

**YAPIŖTIRICI İLE BİRLEŖTİRİLMİŖ PRİZMATİK
GEÇMELİ BAĞLANTILARIN MEKANİK
ANALİZLERİ**

Yük. Müh. Sinan AYDIN

Doktora Tezi

**Makina Mühendisliğı Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Aydın TURGUT**

HAZİRAN-2012

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAPIŞTIRICI İLE BİRLEŞTİRİLMİŞ PRİZMATİK GEÇMELİ
BAĞLANTILARIN MEKANİK ANALİZLERİ

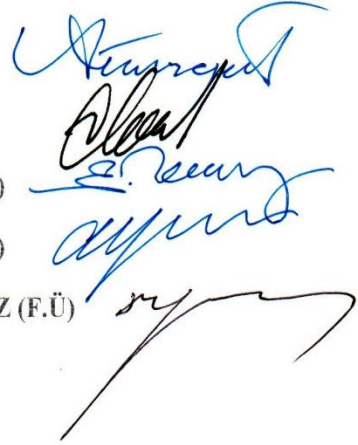
DOKTORA TEZİ

Yük. Müh. Sinan AYDIN

(07220202)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 04 Haziran 2012
Tezin Savunulduğu Tarih : 27 Haziran 2012

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Aydın TURGUT (F.Ü)
Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Vedat SAVAS (F.Ü)
Doç. Dr. Şemsettin TEMİZ (İ.N.Ü)
Yrd. Doç. Dr. Mustafa GÜR (F.Ü)
Yrd. Doç. Dr. M. Yavuz SOLMAZ (F.Ü)



HAZİRAN-2012

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın hazırlanmasında ve doktora öğrenimim boyunca her türlü yardım ve desteğini esirgemeyen çok değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Aydın TURGUT'a, tez izleme komitesi hocalarımdan Sayın Doç. Dr. Vedat SAVAŞ'a ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Mustafa GÜR'e, bulk numunelerinin çekme deneylerinin yapılmasında ve değerlendirilmesindeki desteklerinden dolayı Sayın Doç. Dr. Şemsettin TEMİZ'e, tezimin her aşamasında verdiği bilgi ve destek ile çalışmanın hazırlanmasında büyük katkıları olan Sayın Yrd. Doç. Dr. M. Yavuz Solmaz'a ve manevi desteklerinden dolayı aileme sonsuz teşekkür ederim.

Sinan AYDIN

ELAZIĞ-2012

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	VII
SUMMARY.....	VIII
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	IX
TABLolar LİSTESİ.....	XVI
SEMBOLLER LİSTESİ.....	XVII
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Literatür Çalışması	3
1.2. Yapıştırma ve Yapışma Mekanizması.....	11
1.2.1. Adhezyon Kuvveti.....	11
1.2.1.1. Adhezyon Teorileri.....	12
1.2.1.1.1. Mekanik Teori	12
1.2.1.1.2. Elektrostatik Teori	13
1.2.1.1.3. Difüzyon Teorisi.....	13
1.2.1.1.4. Islatma Teorisi	13
1.2.1.1.5. Kimyasal Bağlar Teorisi.....	13
1.2.1.1.5. Zayıf Sınır Tabaka Teorisi.....	13
1.2.2. Kohezyon Kuvveti.....	14
1.3. Yüzey birleştirme Yöntemleri	14
1.3.1. Mekanik Birleştirme	14
1.3.2. Termal Birleştirme.....	15
1.3.3. Yapıştırıcı ile Birleştirme	15
1.4. Yapıştırıcı ile Birleştirmede Tasarım Esasları.....	16
1.4.1. Yapıştırıcı	17

1.4.2. Yapıştırılacak Malzeme.....	17
1.4.3. Çalışma Ortamı.....	17
1.4.4. Yük	17
1.4.5. Ek Yeri Tasarımı	18
1.5. Yapıştırıcı Bağlantılarının Optimize Edilmesi	20
1.6. Yapıştırma Yüzeylerini Hazırlama ve Ön İşlemler	23
1.6.1. Yapıştırılacak Yüzeylerin Yağdan Arındırılması	24
1.6.2. Mekanik Ön İşlem	25
1.6.3. Aşındırma	25
1.6.4. Yüzey İyonizasyon Ön İşlemi	26
1.6.5. Primerler	26
1.7. Islatılabilirlik Testi	27
1.8. Yapıştırma Bağlantıların Sökülmesi.....	28
1.9. Dayanıklılık	28
1.10. Yapıştırıcı Çeşitleri.....	29
1.10.1. Kimyasal tipleri açısından yapıştırıcılar	29
1.10.1.1. Kimyasal Reaksiyon ile Sertleşen Yapıştırıcılar	29
1.10.1.1.1. Anaerobikler	30
1.10.1.1.2. Siyanoakrilatlar.....	32
1.10.1.1.3. Akrilikler	34
1.10.1.1.4. Silikonlar	35
1.10.1.1.5. Poliüretanlar	37
1.10.1.1.6. Epoksiler.....	37
1.10.1.1.7. Fenolikler.....	38
1.10.1.2. Fiziksel Değişim ile Sertleşen Yapıştırıcılar	38
1.10.1.2.1. Ultraviyole (UV) Yapıştırıcılar	38
1.10.1.2.2. Sıcak Eriyikler	40

1.10.1.2.3. Kauçuk Yapıştırıcılar.....	41
1.10.1.2.4. Polivinil Asetatlar (PVA)	41
1.10.1.2.5. Basınç Gerektirmeyen Yapıştırıcılar	41
1.10.2. Formları Açısından Yapıştırıcılar	41
1.10.2.1. Macun Tipi Yapıştırıcılar	42
1.10.2.2. Film Tipi Yapıştırıcılar	42
1.10.2.3. Düşük Viskoziteli Yapıştırıcılar	42
1.10.2.4. Düşük Yoğunluklu Yapıştırıcılar.....	42
1.10.2.5.Reçineler	43
1.10.2.6. Köpükler	43
1.11. Yapıştırmayı Etkileyen Faktörler	43
1.12. Yapıştırıcı ile Birleştirme Şekilleri.....	44
1.13. Yapıştırma Bağlantılarında Görülen Hasar Tipleri	45
2. MATERYAL VE YÖNTEM	47
2.1. Yapıştırıcı ile Birleştirilen Metal Malzemelerin Mekanik Özellikleri	47
2.2. Kullanılan Yapıştırıcılar ve Özellikleri	50
2.2.1. Devcon A Plastik-Çelik Macun Epoksi.....	50
2.2.2. Devcon Titanyum Plastik-Çelik Macun Epoksi	51
2.2.3. Akfix E300 Suya Dayanıklı Plastik Epoxy Yapıştırıcı	51
2.2.4. Erde GTR.....	52
2.3. Yapıştırıcıların Gerilme-Şekil Değiştirme Özelliklerinin Belirlenmesi	53
2.3.1. Bulk Numunelerin Hazırlanması	53
2.3.2. Bulk numunelerden Yapıştırıcıların Mekanik Davranışının Belirlenmesi	55
2.3.2.1. Devcon A Bulk Numunelerinin Gerilme-Şekil Değiştirme Diyagramı	58
2.3.2.2. Devcon Titanyum Bulk Numunelerinin Gerilme-Şekil Değiştirme Diyagramı.....	59
2.3.2.3. Akfix E300 Bulk Numunelerinin Gerilme-Şekil Değiştirme Diyagramı	60
2.3.2.4. Erde GTR Bulk Numunelerinin Gerilme-Şekil Değiştirme Diyagramı	61

2.3.3. Ansys Sonlu Elemanlar Yazılımı	66
2.3.4. Sayısal Analiz	67
3. ARAŞTIRMA BULGULARI	70
3.1. Giriş	70
3.2. Deneysel Çalışmalardan Elde Edilen Sonuçlar	70
3.3. Sayısal Çalışma (Sonlu Elemanlar Analizi)	86
3.4. Sonlu Eleman Analizlerinden Elde Edilen Sonuçlar	90
3.4.1. Bindirme Uzunluğunun Bağlantı Dayanımı Üzerine Etkisi	91
3.4.2. Yapıştırıcı Kalınlığının Bağlantı Dayanımı Üzerine Etkisi.....	124
3.4.2.1. Akfix E300 Gerilme Dağılımları	124
3.4.2.2. Devcon A Gerilme Dağılımları	136
3.4.2.3. Devcon Titanyum Gerilme Dağılımları.....	148
3.4.2.4. Erde GTR Gerilme Dağılımları	160
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	173
KAYNAKLAR.....	178
ÖZGEÇMİŞ.....	184

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, yapıştırıcı ile birleştirilmiş prizmatik geçmeli bağlantıların mekanik analizlerinin yapılarak; bağlantı mukavemetine yüzey pürüzlülüğünün, yapıştırıcı kalınlığının ve bindirme mesafesinin etkisini tespit etmektir. Bu amaçla, üç farklı bindirme mesafesinde, üç farklı yapıştırma kalınlığında ve üç farklı yüzey pürüzlülüğünde metal numuneler üretilmiştir. Bu numuneler dört farklı yapıştırıcı kullanılarak birleştirilmiştir. Elde edilen bağlantılar ile eksenel çekme deneyleri yapılarak her bir bağlantının bağlantı mukavemeti tespit edilmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak sunulmuştur.

Çalışmanın giriş bölümünde literatür araştırması ile ilgili bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde kullanılan materyaller ve çalışma yöntemi açıklanmıştır. Üçüncü bölümde araştırma bulgularına yer verilmiş ve son bölümde çalışmadan elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

Çalışma deneysel ve sayısal olmak üzere iki kısımda yapılmıştır. Deneysel çalışmanın ilk aşamasında Devcon A, Devcon Titanyum, Akfix E300 ve Erde GTR adlı dört farklı özellikteki yapıştırıcılardan bulk numuneler hazırlanarak yapıştırıcıların gerilme-şekil değiştirme davranışları belirlenmiştir. İkinci aşamada metal numuneler yapıştırıcılar ile birleştirilerek elde edilen bağlantılara çekme deneyi uygulanmıştır.

Çalışmanın sayısal kısmında yapıştırıcılar ve yapıştırılan malzemelerin gerilme-şekil değiştirme davranışları dikkate alınarak lineer ve non-lineer sonlu elemanlar yöntemiyle gerilme analizi yapılmıştır. Deneysel ve sonlu elemanlar analizlerinden elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında sonuçların uyumlu olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak, yüzey pürüzlülüğünün ve bindirme mesafesinin artması ile bağlantı mukavemetinin arttığı ancak bir noktadan sonra bu değerlerin artmasının bağlantının mukavemetine etkisinin olmadığı görülmüştür. Yapıştırıcı kalınlığının artmasının ise bağlantının dayanımını azaltmakla birlikte düzgün bir gerilme dağılımı oluşturduğu görülmüştür. Yapıştırıcılar arasında en yüksek çekme dayanımına sahip Akfix E300 ile birleştirilen bağlantıların dayanımının en fazla olduğu ve en düşük çekme dayanımına sahip non-lineer özellikteki Erde GTR ile birleştirilen bağlantıların dayanımının en az olduğu görülmüştür. Erde GTR'nin gerilme oranlarının çoğunlukla lineer özellikteki diğer üç yapıştırıcıya göre daha fazla olduğu ortaya çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yapıştırıcı, Yüzey pürüzlülüğü, Prizmatik geçmeli bağlantı, Bağlantı mukavemeti.

SUMMARY

The Mechanical Analyses Of The Prismatic Plug-In Joints Combined With Adhesive

The aim of this study is to determine the effects of surface roughness, adhesive thickness and overlap length on joint strength by conducting a mechanical analysis of prismatic plug-in joints bonded by adhesive. For this purpose, metal samples with three different types of adhesive thickness, three different types of surface roughness and three different types of overlap length were produced. These samples were combined by using a total of four different adhesives widely used in metal joint combining, three of which were epoxy-based adhesives, and the other one was an acrylic-based adhesive. The joint strength of each obtained joint was determined by subjecting them to axial tensile tests and the results are presented as a comparison.

Information about the literature research was presented in the introduction section of the study. In the second section, the materials used and the method of the study were explained. The findings of the research were defined in the third section and the results obtained from the study were interpreted in the last section.

The study was conducted in two aspects experimental and quantitative. In the first stage of the experimental study, bulk specimens were prepared from four adhesives with different characteristics, namely Devcon A, Devcon Titanium, Akfix E300 and Erde GTR, and then stress-strain behaviors of the adhesives were determined. In the second stage, tension testing was conducted on the joints obtained by binding the metal samples with adhesives.

In the quantitative aspect of the study, a stress analysis was performed through the linear and non-linear finite elements method, by taking the shape-changing and stretching behaviors of the combined material into consideration. When the results obtained from the experimental and finite elements analyses were compared, it was observed that they were compatible.

In conclusion, it was observed that the joint strength also improves upon increasing the surface roughness and the overlapping distance, but that the increase after a certain point in these values does not affect the joint strength. As a result of the increase in the adhesive thickness, the endurance of the joint decreased and the stress was observed to be uniformly distributed. It was observed that the joints combined with Akfix E300 have the highest tensile strength, whereas the lowest endurance belonged to the joints combined with Erde GTR, a non-linear adhesive with the lowest tensile strength. The stretching rates of Erde GTR were determined to be higher than the other three adhesives that are mostly linear.

Key Words: Adhesive, surface roughness, prismatic plug-in joint, joint strength

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Bindirme uzunluğu ve bindirme genişliğinin hasar yüküne etkisi	6
Şekil 1.2. Kayma dayanımı ve (L/T) arasındaki ilişki	8
Şekil 1.3. Yapıştırma bölgesinde oluşan kuvvetler	11
Şekil 1.4. Yüzey birleştirme yöntemleri gerilme dağılımları	15
Şekil 1.5. Yapıştırma bağlantılarındaki yükler ve gerilme dağılımları	18
Şekil 1.6. Yapıştırma bağlantılarındaki soyulma yüklerinin dönüştürülmesi	19
Şekil 1.7. Yapıştırma alanı artırma örnekleri	20
Şekil 1.8. Yapıştırma bölgesinde eğilme momenti oluşumu	20
Şekil 1.9. Eksantrik kuvvetlerden kaynaklanan problemlerin muhtelif çözümleri	21
Şekil 1.10. Ek yeri genişliği ile kopma yükü arasındaki ilişki	21
Şekil 1.11. Bindirme uzunluğu ile kopma yükü arasındaki ilişki	22
Şekil 1.12. Yapıştırma yüzeylerindeki kirlerin yapıştırma işlemine etkisi	24
Şekil 1.13. Islatılabilirlik testi	27
Şekil 1.14. Anaerobik reaksiyon ile kürleşen yapıştırıcıların kürleşme işlemi	31
Şekil 1.15. Kürleşme hızını etkileyen faktörler	32
Şekil 1.16. Bağlı nemin bir fonksiyonu olarak siyanoakrilat yapıştırıcıların kürleşmesi ..	33
Şekil 1.17. Siyanoakrilatların kürleşme mekanizması	33
Şekil 1.18. Yapıştırıcı ile aktivatörün uygulanış yöntemleri	35
Şekil 1.19. Kürleşme hızı - bağlı nem ilişkisi	36
Şekil 1.20. Silikonla yapıştırılmış tipik ek yeri	36
Şekil 1.21. UV yapıştırıcılarda kürleşme mekanizması	38
Şekil 1.22. UV ürünlerin tipik kürleşme davranışı	40
Şekil 1.23. Yapıştırıcı ile birleştirme şekilleri	45
Şekil 1.24. Yapıştırma bağlantılarında oluşan hasar tipleri	46
Şekil 2.1. Bağlantı parçaları	47

Şekil 2.2. Deney numuneleri ölçüleri	48
Şekil 2.3. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı	49
Şekil 2.4. Bulk numuneler için standart çekme numunesi boyutları	53
Şekil 2.5. Yapıştırıcı bulk numuneleri	54
Şekil 2.6. Bilgisayar kontrollü Shimadzu çekme cihazı	56
Şekil 2.7. Devcon A bulk numunelerinin gerilme-şekil değiştirme diyagramı	58
Şekil 2.8. Devcon Titanyum bulk numunelerinin gerilme-şekil değiştirme diyagramı	59
Şekil 2.9. Akfix E300 bulk numunelerinin gerilme-şekil değiştirme diyagramı	60
Şekil 2.10. Erde GTR bulk numunelerinin gerilme-şekil değiştirme diyagramı	61
Şekil 2.11. Yapıştırma bağlantıları	63
Şekil 2.12. UTEST 15 (1kN) üniversal test cihazı	63
Şekil 2.13. Deney numunesinin test cihazına bağlanması	64
Şekil 2.14. Çekme deneyi sırasında yapıştırma bağlantısının kopması	64
Şekil 2.15. Çekme deneyi verilerinin alınması	65
Şekil 2.16. Çekme deneyi yapılmış numuneler	66
Şekil 2.17. Modellerin perspektif görünüşü	67
Şekil 2.18. Modellerin meshlenmiş hali	68
Şekil 2.19. Yapıştırma bölgeleri ve erkek numunelerin meshlenmiş hali	68
Şekil 3.1. Hasar yükünün $R_a=1.00 \mu m$ için bindirme uzunluğu ve yapıştırıcı kalınlığına bağlı olarak değişimi	73
Şekil 3.2. Hasar yükünün $R_a=3.00 \mu m$ için bindirme uzunluğu ve yapıştırıcı kalınlığına bağlı olarak değişimi	74
Şekil 3.3. Hasar yükünün $R_a=5.00 \mu m$ için bindirme uzunluğu ve yapıştırıcı kalınlığına bağlı olarak değişimi	74
Şekil 3.4. Hasar yükünün $a=10 mm$ için yüzey pürüzlülüğü ve yapıştırıcı kalınlığına bağlı olarak değişimi	75
Şekil 3.5. Hasar yükünün $a=20 mm$ için yüzey pürüzlülüğü ve yapıştırıcı kalınlığına bağlı olarak değişimi	76

Şekil 3.6. Hasar yükünün $a=20$ mm için yüzey pürüzlülüğü ve yapıştırıcı kalınlığına bağlı olarak değişimi	76
Şekil 3.7. Hasar yükünün $t=0.1$ mm için yüzey pürüzlülüğü ve bindirme uzunluğuna bağlı olarak değişimi	77
Şekil 3.8. Hasar yükünün $t=0.3$ mm için yüzey pürüzlülüğü ve bindirme uzunluğuna bağlı olarak değişimi	78
Şekil 3.9. Hasar yükünün $t=0.5$ mm için yüzey pürüzlülüğü ve bindirme uzunluğuna bağlı olarak değişimi	78
Şekil 3.10. Kayma dayanımının $R_a=1.00$ μm için bindirme uzunluğu ve yapıştırıcı kalınlığına bağlı olarak değişimi	79
Şekil 3.11. Kayma dayanımının $R_a=3.00$ μm için bindirme uzunluğu ve yapıştırıcı kalınlığına bağlı olarak değişimi	80
Şekil 3.12. Kayma dayanımının $R_a=5.00$ μm için bindirme uzunluğu ve yapıştırıcı kalınlığına bağlı olarak değişimi	80
Şekil 3.13. Kayma dayanımının $a=10$ mm için yüzey pürüzlülüğü ve yapıştırıcı kalınlığına bağlı olarak değişimi	81
Şekil 3.14. Kayma dayanımının $a=20$ mm için yüzey pürüzlülüğü ve yapıştırıcı kalınlığına bağlı olarak değişimi	82
Şekil 3.15. Kayma dayanımının $a=30$ mm için yüzey pürüzlülüğü ve yapıştırıcı kalınlığına bağlı olarak değişimi	82
Şekil 3.16. Kayma dayanımının $t=0.1$ mm için yüzey pürüzlülüğü ve bindirme uzunluğuna bağlı olarak değişimi	83
Şekil 3.17. Kayma dayanımının $t=0.3$ mm için yüzey pürüzlülüğü ve bindirme uzunluğuna bağlı olarak değişimi	84
Şekil 3.18. Kayma dayanımının $t=0.5$ mm için yüzey pürüzlülüğü ve bindirme uzunluğuna bağlı olarak değişimi	84

Şekil 3.19. Deney numunelerinin çekme deneyi sonucunda oluşan yüzey görüntüleri	85
Şekil 3.20. Prizmatik geçmeli bağlantı kritik bölge (A-C hattı)	87
Şekil 3.21. Ansys analizleri sonucu yapıştırıcı tabakasında oluşan gerilmeler ($\sigma_{eş}$, σ_x , σ_y , σ_z , τ_{xy})	90
Şekil 3.22. a=10 mm bindirme uzunluğu ve sabit t=0.1 mm yapıştırıcı kalınlığında prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan; (a) eşdeğer ($\sigma_{eş}$), (b) normal (σ_x), (c) soyulma (σ_y), (d) normal (σ_z) ve (e) kayma (τ_{xy}) gerilme dağılımları	94
Şekil 3.23. a=20 mm bindirme uzunluğu ve sabit t=0.1 mm yapıştırıcı kalınlığında prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan; (a) eşdeğer ($\sigma_{eş}$), (b) normal (σ_x), (c) soyulma (σ_y), (d) normal (σ_z) ve (e) kayma (τ_{xy}) gerilme dağılımları	98
Şekil 3.24. a=30 mm bindirme uzunluğu ve sabit t=0.1 mm yapıştırıcı kalınlığında prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan; (a) eşdeğer ($\sigma_{eş}$), (b) normal (σ_x), (c) soyulma (σ_y), (d) normal (σ_z) ve (e) kayma (τ_{xy}) gerilme dağılımları	102
Şekil 3.25. a=10 mm bindirme uzunluğu ve sabit t=0.3 mm yapıştırıcı kalınlığında prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan; (a) eşdeğer ($\sigma_{eş}$), (b) normal (σ_x), (c) soyulma (σ_y), (d) normal (σ_z) ve (e) kayma (τ_{xy}) gerilme dağılımları	106
Şekil 3.26. a=20 mm bindirme uzunluğu ve sabit t=0.3 mm yapıştırıcı kalınlığında prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan; (a) eşdeğer ($\sigma_{eş}$), (b) normal (σ_x), (c) soyulma (σ_y), (d) normal (σ_z) ve (e) kayma (τ_{xy}) gerilme dağılımları	109
Şekil 3.27. a=30 mm bindirme uzunluğu ve sabit t=0.3 mm yapıştırıcı kalınlığında prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan; (a) eşdeğer ($\sigma_{eş}$), (b) normal (σ_x), (c) soyulma (σ_y), (d) normal (σ_z) ve (e) kayma (τ_{xy}) gerilme dağılımları	113

Şekil 3.28. a=10 mm bindirme uzunluğu ve sabit t=0.5 mm yapıştırıcı kalınlığında prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan; (a) eşdeğer ($\sigma_{eş}$), (b) normal (σ_x), (c) soyulma (σ_y), (d) normal (σ_z) ve (e) kayma (τ_{xy}) gerilme dağılımları	116
Şekil 3.29. a=20 mm bindirme uzunluğu ve sabit t=0.5 mm yapıştırıcı kalınlığında prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan; (a) eşdeğer ($\sigma_{eş}$), (b) normal (σ_x), (c) soyulma (σ_y), (d) normal (σ_z) ve (e) kayma (τ_{xy}) gerilme dağılımları	120
Şekil 3.30. a=30 mm bindirme uzunluğu ve sabit t=0.5 mm yapıştırıcı kalınlığında prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan; (a) eşdeğer ($\sigma_{eş}$), (b) normal (σ_x), (c) soyulma (σ_y), (d) normal (σ_z) ve (e) kayma (τ_{xy}) gerilme dağılımları	123
Şekil 3.31. Akfix E300 ile birleştirilmiş a=10 mm bindirme uzunluğu ve t=0.1, 0.3 ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan; (a) eşdeğer ($\sigma_{eş}$), (b) normal (σ_x), (c) soyulma (σ_y), (d) normal (σ_z) ve (e) kayma (τ_{xy}) gerilme dağılımları	128
Şekil 3.32. Akfix E300 ile birleştirilmiş a=20 mm bindirme uzunluğu ve t=0.1, 0.3 ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan; (a) eşdeğer ($\sigma_{eş}$), (b) normal (σ_x), (c) soyulma (σ_y), (d) normal (σ_z) ve (e) kayma (τ_{xy}) gerilme dağılımları	132
Şekil 3.33. Akfix E300 ile birleştirilmiş a=30 mm bindirme uzunluğu ve t=0.1, 0.3 ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan; (a) eşdeğer ($\sigma_{eş}$), (b) normal (σ_x), (c) soyulma (σ_y), (d) normal (σ_z) ve (e) kayma (τ_{xy}) gerilme dağılımları.....	136

Şekil 3.34. Devcon A ile birleştirilmiş a=10 mm bindirme uzunluğu ve t=0.1, 0.3 ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan; (a) eşdeğer ($\sigma_{eş}$), (b) normal (σ_x), (c) soyulma (σ_y), (d) normal (σ_z) ve (e) kayma (τ_{xy}) gerilme dağılımları	140
Şekil 3.35. Devcon A ile birleştirilmiş a=20 mm bindirme uzunluğu ve t=0.1, 0.3 ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan; (a) eşdeğer ($\sigma_{eş}$), (b) normal (σ_x), (c) soyulma (σ_y), (d) normal (σ_z) ve (e) kayma (τ_{xy}) gerilme dağılımları.....	144
Şekil 3.36. Devcon A ile birleştirilmiş a=30 mm bindirme uzunluğu ve t=0.1, 0.3 ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan; (a) eşdeğer ($\sigma_{eş}$), (b) normal (σ_x), (c) soyulma (σ_y), (d) normal (σ_z) ve (e) kayma (τ_{xy}) gerilme dağılımları	148
Şekil 3.37. Devcon Titanyum ile birleştirilmiş a=10 mm bindirme uzunluğu ve t=0.1, 0.3 ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan; (a) eşdeğer ($\sigma_{eş}$), (b) normal (σ_x), (c) soyulma (σ_y), (d) normal (σ_z) ve (e) kayma (τ_{xy}) gerilme dağılımları.....	152
Şekil 3.38. Devcon Titanyum ile birleştirilmiş a=20 mm bindirme uzunluğu ve t=0.1, 0.3 ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan; (a) eşdeğer ($\sigma_{eş}$), (b) normal (σ_x), (c) soyulma (σ_y), (d) normal (σ_z) ve (e) kayma (τ_{xy}) gerilme dağılımları	156

- Şekil 3.39. Devcon Titanyum ile birleştirilmiş $a=30$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan; (a) eşdeğer ($\sigma_{eş}$), (b) normal (σ_x), (c) soyulma (σ_y), (d) normal (σ_z) ve (e) kayma (τ_{xy}) gerilme dağılımları 160
- Şekil 3.40. Erde GTR ile birleştirilmiş $a=10$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan; (a) eşdeğer ($\sigma_{eş}$), (b) normal (σ_x), (c) soyulma (σ_y), (d) normal (σ_z) ve (e) kayma (τ_{xy}) gerilme dağılımları..... 164
- Şekil 3.41. Erde GTR ile birleştirilmiş $a=20$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan; (a) eşdeğer ($\sigma_{eş}$), (b) normal (σ_x), (c) soyulma (σ_y), (d) normal (σ_z) ve (e) kayma (τ_{xy}) gerilme dağılımları168
- Şekil 3.42. Erde GTR ile birleştirilmiş $a=30$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan; (a) eşdeğer ($\sigma_{eş}$), (b) normal (σ_x), (c) soyulma (σ_y), (d) normal (σ_z) ve (e) kayma (τ_{xy}) gerilme dağılımları172

TABLolar LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Adhezyon teorileri.....	12
Tablo 1.2. Yüzey iyonizasyon ön işlemleri.....	26
Tablo 2.1. Deney parametreleri	48
Tablo 2.2. Bağlantı parçalarının mekanik özellikleri	49
Tablo 2.3. Devcon A teknik özellikler	50
Tablo 2.4. Devcon Titanyum teknik özellikler	51
Tablo 2.5. Akfix E300 teknik özellikler	52
Tablo 2.6. Erde GTR teknik özellikler	52
Tablo 2.7. Erde GTR gerilme-şekil değiştirme değerleri.....	63
Tablo 2.8. Yapıştırıcıların mekanik özellikleri	62
Tablo 3.1. Numunelerin deneysel olarak belirlenen hasar yükleri ve ortalama kayma gerilmeleri	71
Tablo 3.2. Numunelerin deneysel olarak belirlenen hasar yükleri ve ortalama kayma gerilmeleri	72
Tablo 3.3. Yapıştırıcı ara yüzeyinde oluşan gerilmelerin deneysel sonuçlar ile karşılaştırılması	88
Tablo 3.4. Yapıştırıcı ara yüzeyinde oluşan hasar yüklerinin deneysel sonuçlar ile karşılaştırılması	89

SEMBOLLER LİSTESİ

τ	: Kayma gerilmesi
σ	: Normal gerilme
$\sigma_{eş}$	: Von-Mises eşdeğer gerilmesi
τ_{ort}	: Ortalama Kayma gerilmesi
E	: Elastisite modülü
G	: Kayma modülü
ν	: Poisson oranı
a	: Bindirme mesafesi uzunluğu
t	: Yapıştırıcı kalınlığı
R_a	: Yüzey pürüzlülüğü
AH	: Adhezyon hasarı
KH	: Kohesiv hasar
σ_{ger}	: Gerçek gerilme
ϵ	: Normal şekil değişimi
ϵ_{ger}	: Gerçek şekil değişimi
$\epsilon_{müh}$	: Mühendislik şekil değişimi
P	: Yük
l	: Numune boyu
Δl	: Toplam uzama
b	: Numune genişliği
h	: Numune kalınlığı
A	: Yapıştırma alanı

1. GİRİŞ

Yapıştırıcı ile birleştirme, yapıştırıcı bölgesi boyunca gerilmenin düzenli dağılımı, yapıştırıcı bölgesinde yük transferinin başarılı bir şekilde sağlanması, yüksek mukavemet/ağırlık oranı, yüksek sönüm kabiliyeti, korozyona karşı direnç, dizayn kolaylığı, kolay montaj, ekonomiklik ve farklı malzemelerden imal edilmiş elemanların birleştirilmesi gibi önemli sebeplerden dolayı günümüz klasik bağlantı elemanları yerine tercih edilmekte, endüstriyel birçok alanda özellikle havacılık ve uzay sanayisinde kullanılmaktadır [1].

Yapıştırıcı ile birleştirme, kompozit malzemelerin kullanıldığı durumlarda en çok tercih edilen yöntemlerden biridir. Havacılık ve uzay sanayii uygulamalarında hafifliğin, mukavemetin ve birleştirilecek malzemelerin deforme olmamasının gerektiği durumlarda yapıştırıcı ile birleştirme ön plana çıkmaktadır. Günümüz uçak üretiminde örnek verilecek olursa Boeing 747 uçak yüzeyinin % 62'si yapıştırıcı ile birleştirilmiştir [2].

Yüksek performans gerektiren uygulamalar için bir birleştirme yöntemi olarak yapıştırma bağlantılarının kullanımı gittikçe artmış ve bu uygulamalar içinde esnek yapıştırıcıların yapısal amaçlı kullanımları önem kazanmıştır. Düşük camsı geçiş sıcaklığı, düşük elastisite modülleri ve epoksi gibi yapısal yapıştırıcılarla karşılaştırıldığında hasar anına kadar gösterdikleri büyük şekil değiştirme kabiliyetleriyle karakterize edilen esnek yapıştırıcılar yapısal olmayan birçok alanda (ayakkabı endüstrisi, paketlenme ve sızdırmazlık alanları gibi) sıklıkla kullanılmaktadır. Ancak, esnek yapıştırıcıların bu büyük şekil değiştirme kabiliyetleri ve birleştirilecek elemanlar üzerinde oluşan sıyrma gerilmelerini daha düzgün bir biçimde dağıtabilme özellikleri yapısal amaçlı alanlarda kullanımını artırmıştır. Diğer taraftan, bu tipteki yapıştırıcıların otomotiv sanayi gibi endüstriyel alanlara adaptasyonu mekanik davranışlarının iyi anlaşılmasını gerektirir [3].

Yapıştırıcı bağlantılarında yapılan birçok çalışma tek veya çift bindirme bağlantılarını kapsamaktadır. Basit geometrili olmalarına rağmen gerilme özellikleri çok karışık olan bağlantı tipleridir. Çalışmalar klasik mekanik yaklaşımı ve ardından sonlu elemanlar metodu kullanılarak yapılmıştır.

Yapıştırıcı bağlantılarında, Volkersen [4-5] tarafından ilk olarak klasik mekanik yaklaşımı kullanılarak çalışmalar yapılmıştır.

Goland ve Reissner [6], Volkersen'in çalışmasında eğilme momenti etkisini dikkate alarak düzenlemeler yapmışlardır. Yapıştırıcı tabakasındaki bindirme uzunluğuna paralel kayma gerilmesi ile kayma gerilmesi düzlemine dik olan normal gerilmeyi yırtılma gerilmeleri olarak adlandırmışlardır. Bu çalışma, yapıştırıcı bağlı bindirme bağlantılara ait çok sayıda çalışmaya referans olmuştur. Birleştirilen levhaların genişliği kalınlıklarına göre çok büyük olduğundan problem düzlem zorlanma problemi olarak incelenmiştir. Çalışmalarında birleştirilen levhaların her ikisini de izotropik lineer elastik malzeme olarak ele almışlardır.

Goland ve Reissner'in teorisini kullanarak Muki ve Stenberg [7], Erdoğan ve arkadaşları [8,9], Renton ve Winson [10,11], Hard ve Smith [12,13] çalışmalar yapmışlardır.

Mevcut teorilerle klasik mekanik yaklaşımları kullanılarak yapıştırma bağlantılarında çözüm üretmek bazı sınırlamalar nedeniyle yapıştırıcı bağlantısının tam olarak ifade edilememesine neden olmuştur. Bu sebeple yapıştırma bağlantılarının analizinde sonlu elemanlar yöntemi kullanılmaya başlanmıştır.

Yapıştırma bağlantılarının analizinde sonlu elemanlar yöntemini ilk olarak Wooley ve Carver [14] kullanmıştır. Bunu takiben birçok araştırmacı sonlu elemanlar yöntemi kullanarak analizler yapmışlardır.

Yapıştırıcı ile birleştirilen bağlantılar da eğilme, kayma ve normal gerilmelerin etkisinin dikkate alınması gereklidir.

İlk defa Renton ve Vinson [15] tarafından yapıştırılan iki kompozit plakadaki gerilme dağılımları incelenmiştir. Çalışmaları sonucunda yapıştırıcı tabakasında oluşan dik doğrultudaki normal gerilmelerin yapıştırma bölgesinin uç kısımlarında maksimum değere ulaştığını belirtmişlerdir. Bunu azaltmak için bağlantı bölgesinin uçlarına eğim verilmesine alternatif olarak düşük dirençli yapıştırıcı kullanılmasını ve bindirme boyu artırıldığı zaman yapıştırıcıda oluşan normal ve kayma gerilmelerinin düşeceğini, belirli bir uzunluktan sonra bu etkinin olmayacağını belirtmişlerdir.

1.1. Literatür Çalışması

Yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantıların analizinde yapıştırıcı özelliklerinin lineer elastik veya lineer viskoelastik (zaman bağımlı) oldukları kabul edilmiştir. Yapıştırıcı bağlantılarında malzemelerin non-lineer plastik davranışları karmaşık matematiksel formülasyonlar gerektirdiği ve tam olarak ifade edilemediği için yapıştırıcıların elasto-plastik özellikleri ihmal edilmiştir.

Sonlu elemanlar yöntemi ve sonlu farklar yöntemi ile yapıştırıcıların lineer olmayan özellikleri dikkate alınarak çözümler yapılmaya başlanmıştır. Başlangıçta sonlu elemanlar metodu kullanılarak yapılan çalışmalarda yapıştırıcının geometrik olarak lineer özellikte olduğu kabul edilmiştir. Uygulanan yükün etkisi ile yapıştırılan parçalarının deformasyona uğramasından dolayı eğilme momentinin ortaya çıkması ile problemin geometrik olarak lineer olmayan çözüm yapmayı gerektirmiştir. Yapıştırılan numunelerin elasto-plastik özelliklerini kullanarak Volkersen, Goland ve Reissner'in teorilerini temel alarak bir yöntem geliştiren ilk araştırmacılar Hart ve Smith'tir.

Delale ve arkadaşları [16], kapalı form çözümü ile kullandıkları yapıştırıcıyı non-lineer özellikte, yapıştırma bölgesinin boyutlarının diğer yan boyutlara göre küçük olduğunu ve yapıştırılan malzemenin kalınlığının sabit olduğunu kabul etmişlerdir. Düzlem şekil değiştirme durumu ile yapıştırılan iki farklı malzemenin gerilme durumlarını araştırmışlardır.

Sawyer ve Cooper [17], yapıştırılan malzemelerin kuvvet uygulandığı zaman deforme olduklarını ifade ederek bağlantıda oluşan eğilme momentinin uygulanan yüke bağlı olması sebebiyle yapıştırıcı bağlantısının non-lineer özelliğe sahip olduğunu belirtmişlerdir. Bu sebeple önce lineer bir çözüm oluşturarak lineer olmayan bir çözüm yöntemine yaklaşım yapmışlardır.

Apalak ve arkadaşları [18], sonlu elemanlar yöntemini kullanarak yaptıkları bir çalışmada yapıştırıcıyı lineer elastik bir malzeme kabul ederek yapıştırıcı ile oluşturulmuş köşe bağlantılarında gerilme analizi yapmışlardır. Bağlantının dayanımına kullanılan malzemelerin etkileri ve köşe bağlantısının etkisini araştırmışlardır.

Apalak, başka bir çalışmasında [19], sonlu elemanlar yöntemini kullanarak geometrik non-lineer analiz yapmıştır. Yapıştırıcı ile oluşturulmuş köşe bağlantısında yatay durumda

bulunan parçaya yatay ve düşeyde olmak üzere iki farklı yükleme koşulu kullanarak bağlantıyı oluşturan tüm parçaların lineer elastik özellikleri dikkate alınmıştır. Küçük şekil değiştirme-büyük yer değiştirme teorisini (small strain-large displacement theory) temel olarak kullanmıştır. Sonuçta yükleme koşullarının yapıştırıcıda ve parçalarda oluşan maksimum gerilmelere etkisini göstermiştir.

Li ve Lee-Sullivan [20], geometrik olarak non-lineer 2 boyutlu sonlu elemanlar metodunu kullanarak tekli bindirme bağlantılarında gerilme dağılımını teorik ve deneysel olarak karşılaştıran bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında düzlem gerilme ve düzlem şekil değiştirme durumlarında yapıştırılan iki farklı malzemedeki gerilme dağılımlarını incelemişlerdir.

Aydın ve arkadaşları [21], basit tekli bindirme bağlantısında geometrik olarak yapıştırılan malzemeler ve kullanılan yapıştırıcının lineer olmayan malzeme davranışlarını dikkate alarak gerilme analizi yapmışlardır. Bağlantıların yüzeylerinde iki farklı hasar tipinin ortaya çıktığını ifade etmişlerdir. Yapıştırıcı tabakasının serbest uçlarında oluşan hasara, çekme etkisiyle soyulma gerilmesinin sebep olduğunu, kayma gerilmesinin etkisi ile bindirme bölgesinin merkezinde ise yıkıcı bir hasar oluştuğunu belirtmişlerdir.

Lucas F.M. da Silva ve ark. [22], yapıştırıcı ile birleştirilmiş bindirme levhaların analitik modelini yapmışlar ve geçmişten günümüze kadar yapılan bazı çalışmalarda kullanılan yapıştırıcı malzeme (adhesive) ve birleştirilen malzemelerin (adherend) lineer ve non-lineer olması durumlarını kısaca özetleyen bir çalışma yapmışlardır. Literatürde ki araştırmacıların tamamı öncelikle lineer yapıştırıcılar kullanmışlar, bazılarının ise lineer olmayan yapıştırıcıları da kullanarak karşılaştırma yapmışlardır.

Yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantıların mukavemetine bindirme mesafesi, yapıştırıcı kalınlığı ve yüzey pürüzlülüğü vb. faktörler etki etmektedir.

Ojalvo ve Eidinoff [23], Goland ve Reissner' in çalışmalarını genişleterek yapıştırıcı kalınlığının kısa bindirme mesafelerinde, yapıştırılacak kalın parçalarda ve sert yapıştırıcılarda çok önemli olduğunu belirtmişlerdir.

Srinivas [24], bindirme mesafesinin kayma ve soyulma gerilmelerindeki etkisini araştırdığı çalışmasında, tekli ve ikili bindirme yapıştırıcı bağlantılarını incelemiş, bağlantının orta bölgesine sert yapıştırıcı ve her iki uç noktasına ise esnek yapıştırıcı

kullanmıştır. Sonuçta uzun bindirme mesafeleri için sert yapıştırıcı ve kısa bindirmeler için esnek yapıştırıcı kullanılması gerektiğini belirtmiştir.

Li ve arkadaşları [25], T yapıştırma bağlantılarındaki mekanik özellikleri araştırmışlardır. Çalışmalarında iki çelik malzeme epoksi yapıştırıcı ile birleştirilmiştir. 0.2 mm yapıştırıcı kalınlığı sabit tutulmak üzere 6-8-10-12-14 ve 16 mm bindirme mesafesinin etkisini araştırmışlardır. Maksimum gerilme değerinin 6 mm mesafede çıktığını bindirme mesafesinin artmasıyla bağlantıdaki gerilme değerlerinin azaldığını, 10 mm den sonra gerilme değer değişimlerinin çok az olduğunu belirtmişlerdir. Sonuç olarak bindirme mesafesinin etkisi yapıştırma bağlantısının türüne göre belirli bir mesafeye kadar etkili olduğunu bu mesafeden sonra etkisinin olmadığını ifade etmişlerdir.

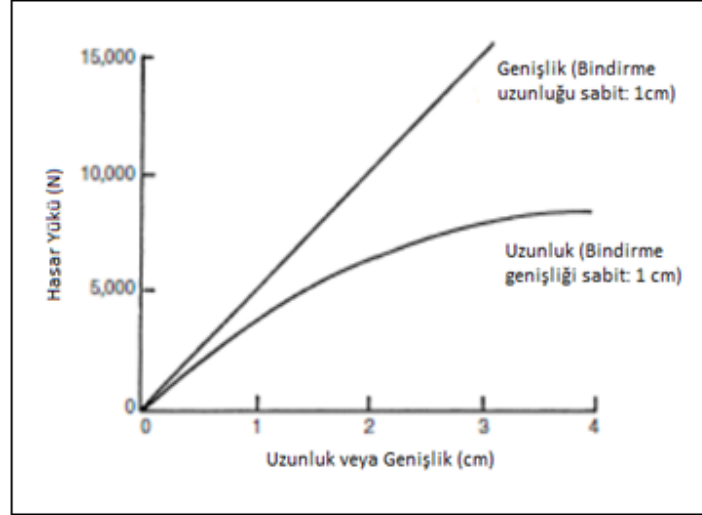
Hosseinzadeh ve Taheri [26], yaptıkları çalışmada tübüler yapıştırma bağlantılarında lineer olamayan özellik gösteren alüminyum ve kompozit malzemelerin bindirme mesafesine bağlı olarak burulma dayanımlarını incelemişlerdir. Çalışmalarında şu sonuçlara varmışlardır.

- Alüminyum-kompozit yapıştırılmış malzemelerin statik burulma kapasiteleri bindirme mesafesinin artması ile artmaktadır. Bu artış bir mesafeye kadar sürmekte ardından sürekli düşüş oluşmaktadır.
- Non-lineer dizayn yaklaşımı benimsendiğinde tavsiye edilen bindirme mesafesinin etkin mesafe olarak sınırlandırılması gerekir. Bindirme mesafesinin artması yüksek rijitlik sağlamasına rağmen istenilen performansı gösterememektedir.

Nemeş ve Lachaud [27] tarafından son zamanlarda yapılan bir çalışmada çift bindirmeli yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantıların mekanik özellikleri araştırılmış ve bindirme mesafesi ile ilgili olarak şu sonuçlara varılmıştır.

- Bindirme mesafesinin artmasının yapıştırıcıda oluşan maksimum kayma gerilmesinin şiddetine etkisi bulunmamaktadır.
- Bindirme mesafesinin ortasına yaklaştıkça kayma gerilmesinin değeri azalmakta ardından tekrar artmaya başlamaktadır.
- Bağlantının uç noktalarında kayma gerilmesi maksimum değer almaktadır.

Shields [28], bindirme uzunluğu ve bindirme genişliğinin yapıştırma bağlantısında oluşan hasar yüküne etkisini Şekil 1.1’de ki gibi ifade etmiştir.



Şekil 1.1. Bindirme uzunluğu ve bindirme genişliğinin hasar yüküne etkisi [28].

Şekil 1.1’de sabit:1 cm bindirme uzunluğunda, hasar yükünün yapıştırma genişliği ile orantılı olarak arttığı görülmektedir. Sabit:1 cm bindirme genişliğinde bindirme uzunluğu ile hasar yükünün değişimi izlendiğinde belirli bir uzunluğa kadar (1 cm) hasar yükünün orantılı arttığı ardından uzunluk artması ile hasar yükünün azaldığı görülmektedir. Yapıştırma bağlantısının dayanımını arttırmak için yapıştırma genişliğinin artırılması yeterli olmaktadır.

Yapıştırıcı kalınlığının etkisinin incelenmesi ilk olarak Bascom ve arkadaşları [29] tarafından yapılmıştır. Daha sonra birçok araştırmacı kırılma mekaniği ve geleneksel gerilme analizine dayalı çalışmalar yapmışlardır.

Kinloch ve Shaw [30] lineer elastik kırılma mekaniği testi ile numunelerin çatlak ilerleme direncini 3 mm kalınlığa kadar incelemiş ve uygun parça kalınlığının 0,5 mm civarında olduğunu tespit etmiştir.

Mall ve Ramamurth [31], DCB (Double cantilever beam) numunelerinde kırılma ve çatlak ilerlemesini periyodik yükler uygulayarak farklı kalınlıklar için incelemiş ve kalın

yapıştırıcı tabakalarında çatlak ilerleme oranının yüksek değerde olduğunu ifade etmişlerdir.

Tamblin ve ark.[32], TAST (Thick adherend shear test) ile 0.4-3 mm yapıştırıcı kalınlığı aralığındaki kayma sonuçlarını sunmuştur. Yapıştırılan parçaların kalınlığının artması ile kayma dayanımının azaldığını açıkça ifade etmiştir.

Taib ve ark. [33] son zamanlarda yaptıkları çalışmada L kesitli yapıştırma bağlantılarında 0.127-0.635-2.54 mm yapıştırıcı kalınlıklarda hasar yükünün 8.27 kN'dan 3.9 kN'a düştüğünü benzer olarak yapıştırılan parça kalınlığının artması ile de analizin düzlem gerilme halinden düzlem şekil değiştirme haline dönüştüğünü kabul etmişlerdir.

Düzlem şekil değiştirme durumu, yükleme sonucu plastik deformasyonun oluşmadığı durumlardır. Bu durumda malzeme elastik davranış gösterir. Kendi düzleminde yüklenen ince ve gevrek malzemelerde kırılma anına kadar çatlak büyümesi ve plastik deformasyon bölgesi ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Bu malzemeler lineer elastik davranış gösterirler ve düzlem şekil değiştirme (plane strain) durumu ortaya çıkar. Eğer malzemede çatlak bölgesi dahil yükleme sonrası plastik (kalıcı) deformasyon ortaya çıkar ve bu durum ihmal edilemezse düzlem gerilme (plane stress) durumu söz konusudur.

Kırılma mekaniği analizlerinde, bazı araştırmacılar [34-36] yapıştırıcı kalınlığının artması ile bağlantıların mukavemetinin arttığını, bazıları [37,378] yapıştırıcı kalınlığının önemli olmadığını ve bazı araştırmacılar [39-41] mukavemetin azaldığını ifade etmişlerdir [42].

Taib ve arkadaşlarının bulduğu sonuçlara benzer bir çalışmada Jary ve Shenoi [43] tarafından yapılmıştır. 0.1 ve 10 mm alın bağlantılı (butt strap) yapıştırma çalışmalarında methacrylate yapıştırıcı kullanmışlar ve yapıştırıcı kalınlığının artması ile hasar yükünün önemli derecede azaldığını ifade etmişlerdir.

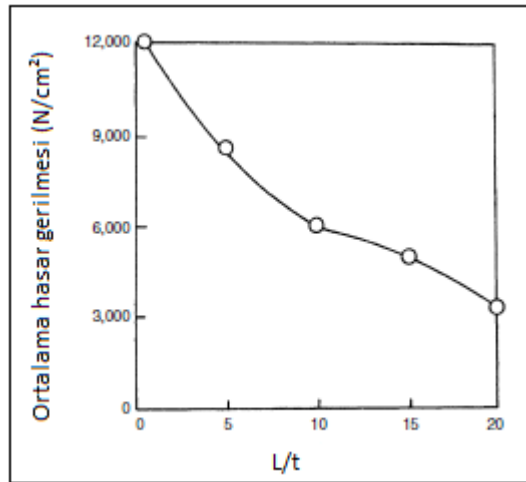
Kawashita ve ark. [36], epoksi yapıştırıcılar ile birleştirilmiş alüminyum parçalarda 0.1-0.25 ve 0.4 mm yapıştırıcı kalınlıklarda elde ettikleri sonuçları sunmuşlardır. Yapıştırıcı kalınlığının artmasıyla elde edilen tokluk artışını, lineer elastik kırılma mekaniği analizi ve deney sonuçları ile uyumlu bulmuşlardır.

Benzer bir çalışmada Grant ve ark. [44] yapıştırıcı kalınlığının 0.1 mm den 0.3 mm' ye çıktığında kayma dayanımının lineer olarak azaldığını ve bunun sebebi olarak kalın yapıştırıcı tabakasında oluşan eğilme gerilmesi olarak kabul etmişlerdir.

Davies ve ark. [45] yapıştırıcı kalınlığının etkisi üzerine bir çalışma yapmışlar ve epoksi yapıştırıcı kullanarak alüminyum parça bağlantılarının özelliklerini çeşitli test teknikleri ile incelemişlerdir. Mekanik analizleri sonucunda yapıştırıcı kalınlığının artması ile önceki çalışmalarda olduğu gibi kopma mukavemetinin azaldığını ve ideal kalınlığın 0,8 mm ve aşağısında olması gerektiğini belirtmişlerdir.

Nemeş ve Lachaud [46] çift bindirmeli bağlantıda yapıştırıcı kalınlığını 0.05-0.1-0.3-0.5-1 mm seçerek yapıştırıcı kalınlığının etkisini araştırmışlardır. Yapıştırıcı kalınlığı arttığında yapıştırıcıdaki maksimum gerilmenin azaldığını, kayma ve soyulma gerilmelerinin uç noktalar hariç tutulmak üzere üniform olarak tüm bindirme mesafesi üzerine dağıldığını ifade etmişlerdir. Yapıştırıcı kalınlığı 1 mm iken kayma gerilmesinin minimum seviyede olduğunu belirtmişlerdir.

Shields [28], bindirme uzunluğunun (L), yapıştırılan malzemelerin kalınlığına (t), oranı (L/t) ile kayma dayanımı arasındaki ilişkiyi Şekil 1.2'de ki gibi ifade etmiştir.



Şekil 1.2. Kayma dayanımı ve (L/T) arasındaki ilişki [28].

Şekil 1.2'de (L/t) oranı arttıkça ortalama kayma dayanımının azaldığı görülmektedir. Buna göre bindirme mesafesinin yapıştırılan malzemelerin kalınlığına göre çok büyük

olması yapıştırma bağlantısının dayanımını azaltmaktadır. Mümkin olduğu kadar yapışan malzeme kalınlıkları dikkate alınarak uygun bindirme mesafesi belirlenerek yapıştırma işlemi gerçekleştirilmelidir.

Venables [47], yüzey pürüzlülüğü ve yüzey özelliklerinin etkisini araştırdığı bir çalışmada yüzeydeki gözenekler ve oksitlenmelerin yapıştırma bağlantılarının dayanımında çok etkili olduğunu vurgulamıştır. Oksit tabakasının bağlantının mukavemetini azalttığını, yüzey pürüzlülüğünün yapıştırıcının tutunmasını sağlayarak yapıştırıcı ve yapıştırılan malzemeler arasında kilitlenmeyi sağladığını ve bağlantının bu sebeple daha dayanıklı olduğunu belirtmiştir.

Yapıştırma bağlantılarında yüzeylerin çok parlak (pürüzsüz) olmaması gerekmektedir. Pürüzsüz yüzeylerde kama etkisi kaybolmakta ve bu da yapıştırıcının yüzeye tutunmasını zorlaştırmaktadır. İdeal yüzey pürüzlülüğü $R_a = 0.8-3.2 \mu m$ aralığında olması gerekmektedir [48].

Tek bindirme yapıştırıcı bağlantılarında yüzey pürüzlülüğünün etkisini araştırmak için Sancaktar ve Gomatam [49] tarafından yapılan bir çalışmada $1.65-2 \mu m$ yüzey pürüzlülüğü aralığında hasar yükü dayanımının en üst seviyede olduğu belirtilmiştir.

Kwon ve Lee [50] tarafından yapılan tübüler bağlantı çalışmasında silindirik çelik malzemeler epoksi yapıştırıcı ile birleştirilmiş ve burulma yorulma testine tabi tutulmuştur. Silindirik parçalardaki yüzey pürüzlülüğünün ve yapıştırıcı kalınlığının yorulma dayanımına etkisi araştırılmıştır. Silindirik parçalardaki yüzey pürüzlülüğü $R_a = 0.56-5 \mu m$ arasında incelenmiş ve yorulma mukavemeti için en uygun pürüzlülük değerinin $0.3 \mu m$ ve yapıştırıcı kalınlığının ise $0.17 mm$ olduğu ifade edilmiştir.

Hitchcock ve ark. [51], yaptıkları bir çalışmada düşük viskoziteli yapıştırıcıların hariç tutulması kaydıyla yüzey pürüzlülüğünün artmasının yapıştırıcının yüzeyi ıslatma kabiliyetini azalttığını ve bunda yapıştırıcı ile yapıştırılacak malzemelerin tam olarak temas etmesine engel olduğunu ifade etmişlerdir.

Sargent [52], alüminyum parçalardaki yüzey pürüzlülüğü ve oksitlenmenin yapıştırıcı bağlantılarındaki etkilerini araştırdığı çalışmada, pürüzlülüğün artış seviyesine bağlı olarak yarıma dayanımının arttığını buna karşın yüzeydeki oksit tabakasının soyulma gerilmesine etkisinin olmadığını belirtmiştir.

Shahid ve Hashim [53], yüzey pürüzlülüğünün yarılma dayanımına etkilerini araştırdıkları çalışmalarında yumuşak çelik malzemeleri zımparalama ve polisaj ile aşındırmışlar yüzey pürüzlülüğü $R_a = 0.04-6.31 \mu\text{m}$ arasında çok sayıda pürüzlülük değeri elde etmişlerdir. Parçaları 0,5 mm yapıştırıcı kalınlığı sabit kalmak şartıyla alın yapıştırma şeklinde birleştirmişler ve şu sonuçları elde etmişlerdir.

- Yüzey pürüzlülüğü çok az olan parlak yüzeylerde normal gerilme dayanımı pürüzlü yüzeylere göre %30'a varan miktarda az olmaktadır.
- Yarılma dayanımı yüzey pürüzlülüğü arttıkça artmaktadır.

Şekercioğlu ve ark. [54], yaptıkları bir çalışmada silindirik geçmeli çelik-çelik yapıştırma bağlantılarında yüzey pürüzlülüğünün etkilerini araştırmışlardır. $R_a = 0.45-6.3 \mu\text{m}$ arasında elde ettikleri yüzey pürüzlülüğü değerlerinde yaptıkları deneysel çalışmada bağlantının mukavemeti açısından ideal yüzey pürüzlülüğünü $R_a = 1.5-2.5 \mu\text{m}$ olduğunu belirtmişlerdir. Çok parlak $R_a < 1 \mu\text{m}$ ve çok pürüzlü $R_a > 2.5 \mu\text{m}$ yüzeylerde düşük kayma gerilmesi değerleri elde etmişlerdir.

Turgut ve Sancaktar, kompozit malzemelerde fiber-matris yapışması üzerine kürleşmenin ve yükleme durumlarının etkilerini incelemişlerdir [55].

Bu tezin amacı, yapıştırıcı ile birleştirilmiş prizmatik geçmeli bağlantılarda birleşen parçaların yüzey pürüzlülüklerinin, bindirme mesafelerinin, yapıştırıcı kalınlıklarının ve farklı özelliğe sahip yapıştırıcı türlerinin eksenel çekme yükü altındaki mekanik davranışlarını belirlemektir.

Bu amaçla kullanılacak olan yapıştırıcılardan bulk numuneleri hazırlanarak bu numuneler eksenel çekme deneyine tabii tutulmuştur. Çekme deneyleri sonucunda yapıştırıcıların gerilme-şekil değiştirme davranışları ve mekanik özellikleri belirlenmiştir.

Deney numunelerinin birleştirilmesinde 4 farklı yapıştırıcı kullanılmıştır. 3 farklı yüzey pürüzlülüğü, 3 farklı yapıştırıcı kalınlığı ve 3 farklı bindirme mesafesi parametreleri ile numuneler birleştirilerek eksenel çekme yükü uygulanmıştır.

Deneysel veriler, yapıştırma bağlantısının lineer ve non-lineer sonlu elemanlar analizleri ile gerilme dağılımlarının belirlenmesi ve hasar yüklerinin tahmin edilmesinde kullanılmıştır.

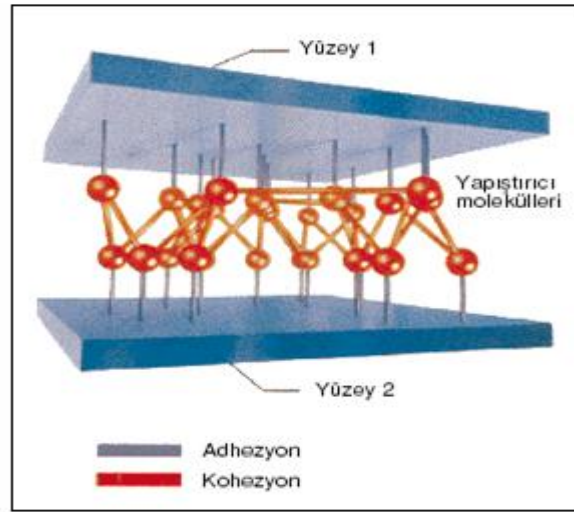
1.2. Yapıştırma ve Yapışma Mekanizması

Yapıştırma; civata, perçin ve kaynak gibi geleneksel metodların yanında kabul gören bir birleştirme tekniğidir. Yapıştırma; kaynak, lehim, perçin vs. yanında endüstriyel bir birleştirme yöntemi olarak kullanılmaya ilk başladığından beri, başarılı bir yapıştırma için en önemli parametreleri bulmak amacıyla birçok araştırma, geliştirme ve mühendislik çalışması yapılmıştır. Yapıştırıcılar, aynı veya farklı malzemeden yapılmış yüzeyler arasında bir çeşit köprü görevi yapmaktadır.

Yapışma mekanizması Şekil 1.3’de gösterilen kuvvetlere bağlıdır.

Bu kuvvetler;

- Yapıştırıcının yüzeye yapışma kuvveti olan adhezyon kuvveti,
- Yapıştırıcının iç kuvveti olan kohezyon kuvvetidir.



Şekil 1.3. Yapıştırma bölgesinde oluşan kuvvetler

1.2.1. Adhezyon Kuvveti

Adhezyon, iki maddenin temas yüzeylerindeki yapışma kuvvetidir. “Van der Waals kuvvetleri” olarak adlandırılan çekim ve yüzeye tutunma fiziksel kuvvetleri yapışmada en önemli faktördür. Eğer yapıştırıcı, mekanik olarak işlenmiş yüzeylerdeki pürüzlere tam olarak temas edemezse, bu moleküller arası kuvvetler oldukça zayıflar. Bu nedenle

yapıştırıcının yüzey pürüzlerine tam olarak nüfuz etmesi ve bütün yüzeyi ıslatması gerekir. Dolayısıyla, yapıştırmanın kuvveti hem yüzeyin ıslatılmasına (maksimum moleküller arası temas için), hem de yüzeyin yapışma özelliklerine bağlıdır. Belirli bir yapıştırıcı yüzey gerilimi için ıslatma, yapıştırıcı sürülen yüzeyin yüzey gerilimine ve yapıştırıcının viskozitesine bağlıdır. Yüzeyde kirlerin bulunması da ıslatmayı olumsuz etkiler.

1.2.1.1. Adhezyon Teorileri

Tarihsel olarak, mekanik kilitleme, elektrostatik, difüzyon ve adsorpsiyon / yüzey reaksiyon teorileri yapışma mekanizmalarını tanımlamak için ileri sürülmektedir. Bu teorilere son zamanlarda kimyasal bağlar ve zayıf sınır tabakası teorileri eklenmiştir. Teorilerin yapıştırma mekanizmaları Tablo 1.1’de verilmektedir.

Tablo 1.1. Adhezyon teorileri

Geleneksel Teoriler	Son Teoriler	Ölçek
Mekanik Kilitleme	Mekanik kilitleme	Mikroskobik
Elektrostatik	Elektrostatik	Makroskobik
Difüzyon	Difüzyon	Moleküler
Adsorpsiyon / yüzey reaksiyon	Islanabilirlik	Moleküler
	Kimyasal Bağlar	Atomik
	Zayıf Sınır Tabakası	Moleküler

1.2.1.1.1. Mekanik Teori

Bu teoriye göre yapışma; gözenekler, boşluklar ve diğer yüzey düzensizliklerinin içine yapıştırıcının girmesi ile gerçekleşir. Böylece bir yapıştırıcı ve iki malzeme yüzey pürüzlülüğü sayesinde bağlanmaktadır. Yapıştırıcılar sık gözenekli aşınmış yüzeylerde pürüzsüz yüzeylere göre daha güçlü bağlar oluştururlar [56].

1.2.1.1.2. Elektrostatik Teori

Bu teori yapışmanın, yapıştırıcı ve yapıştırılan malzeme arasında elektrostatik etkiler nedeniyle gerçekleştiğini belirtmektedir [57-60]. Bu teoriye göre; farklı iki malzeme birbirine temas ettiğinde aralarında oluşan elektriksel birikimden dolayı çekim kuvveti oluşmaktadır.

1.2.1.1.3. Difüzyon Teorisi

Bu teoriye göre yapışma; yapıştırıcı ve yapıştırılan malzemeler arasında molekül alışverişi ile gerçekleşmektedir. Bu molekül geçişleri polimerler arasında gerçekleşmesine rağmen metal-polimer ara yüzeylerinde pek görülmemektedir [61].

1.2.1.1.4. Islatma Teorisi

Bu teoriye göre yapışma; iki malzemenin yüzey kuvvetleri tarafından sağlanan moleküler bağlantı ile gerçekleşmektedir. Yapıştırıcının yapıştırılacak malzemenin yüzeyini tam olarak kaplaması ve aralarında hava boşluğunun kalmaması için malzemenin yüzey pürüzlülüğünün çok fazla olmaması gerekmektedir. Pürüzlü yüzeylerde yapıştırıcı ile yapıştırılan malzemenin teması tam olarak gerçekleşmemektedir [61].

1.2.1.1.5. Kimyasal Bağlar Teorisi

Bu teoriye göre yapışma, yüzeydeki kimyasal kuvvetler tarafından gerçekleşmektedir. Hidrojen, iyonik ve kovalent bağlar yapıştırıcı ile yapıştırılan malzemeler arasında güçlü bir birleşme oluşturmaktadır.

1.2.1.1.5. Zayıf Sınır Tabaka Teorisi

Bu teoriye göre, yapıştırma bağlantısında meydana gelen hasar, zayıf sınır tabakası nedeniyle oluşmaktadır. Zayıf sınır tabaka yapıştırıcı, yapıştırılan malzeme, çevre veya bu faktörlerin herhangi bir kombinasyonu kaynaklı olabilir. Polietilen ve metal oksitler, doğal olarak zayıf sınır tabakaları içerebilmektedir. Yapışma yüzeyine yakın bir kirlilik konsantreleri ve ek yüzey formları zayıf sınır tabakaları oluşturmaktadır [62].

1.2.2. Kohezyon Kuvveti

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

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

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

1.3. Yüzey birleştirme Yöntemleri

Üç temel yüzey birleştirme yöntemi bulunmaktadır. Bunlar:

- **Mekanik** - civata, vida ve perçin ile
- **Termal** - kaynak, pirinç lehim ve lehim ile
- **Kimyasal** - yapıştırıcı ile birleştirmedir.

1.3.1. Mekanik Birleştirme

Sık ve kolay sökölme gerekiyorsa, civata kullanımı ideal ve genellikle de çok güvenilir bir birleştirme yöntemidir. Fakat bazı durumlarda civatalar gevşeyebilir ve bir şekilde emniyete alınmaları gerekir.

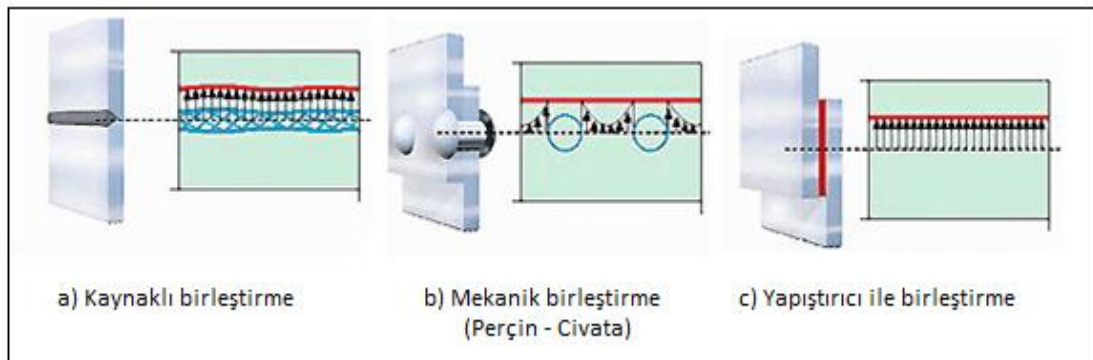
Civata veya perçin kullanmak için delik açılması gerekir, bu da parçaları zayıflatır. Birleşim yük altına girdiğinde, açılan deliklerin etrafında gerilim yoğunlaşması meydana gelir. Bu durum erken malzeme yorgunluğuna neden olabilir (Şekil 1.4b). Dolayısıyla, bu tür bağlantı elemanları kullanıldığında sağlamlığın sağlanabilmesi için malzeme kalınlığının artırılması gerekir. Ayrıca, civata veya perçin delikleri korozyon tehlikesini artırır. Bu sebepten çoğunlukla karmaşık ve pahalı olan yalıtım veya yüzey koruma işlemlerine gerek duyulur. Eğer farklı metaller birleştiriliyorsa, galvanik korozyon ve farklı genleşme görülebilir.

1.3.2. Termal Birleştirme

Kaynak ve lehim normalde yalnızca benzer malzemelerde mümkündür. Sökme mümkün değildir veya çok zordur. Kaynak ve lehim işlemi sırasında oluşan yüksek sıcaklık istenmeyen gerilmelere neden olur, bunun sonucunda parça yorgunluğu (Şekil 1.4a) ve parçaların metal yapısında bozulma meydana gelebilir.

1.3.3. Yapıştırıcı ile Birleştirme

Malzemelerin yapıştırıcı kullanılarak birleştirilmesi, mekanik bağlantı elemanları kullanılmasına kıyasla önemli avantajlar sağlar. Yapıştırıcı yük ve gerilimi tüm birleşim yüzeyine yayarak statik ve dinamik yüklerin düzgün dağılmasını sağlar, gerilimin belli noktalarda yoğunlaşmasını engeller. Dolayısıyla yapıştırıcı ile gerçekleştirilmiş bir bağlantı, bükülme ve titreşime, mekanik yöntemle (örneğin perçin) yapılan bir bağlantıdan daha dayanıklıdır (Şekil 1.4c).



Şekil 1.4. Yüzey birleştirme yöntemleri gerilme dağılımları

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

Yapıştırıcı kullanımına karar vermeden önce dikkate alınması gereken bazı ilave faktörler vardır. Örneğin, yapıştırıcı yapıştırılacak malzemelere uygun olmalı, imalat

yöntemiyle uyushmalı, hesaplanan çalışma yüklerine ve çalışma ortamına dayanmalıdır. Ayrıca, yüzey hazırlığı, uygulama yöntemi, küreleşme sistemi ve bunların süre ve maliyetleri de dikkate alınmalıdır.

Yapıştırma, aşağıda verilen birçok avantajıyla imalat alanlarını genişletmektedir:

- **Düzgün gerilim dağılımı:** Açılan delikler nedeniyle meydana gelen gerilim yoğunlaşmaları engellenir.
- **Yapısal değişim olmaması:** Kaynak yönteminde olduğu gibi malzemelerin özellikleri bozulmaz.
- **Şekil bozukluğu olmaması:** Kaynak yönteminde olduğu gibi parçalar ısıtılmadığı için farklı kütle ve boyuttaki parçalar kolaylıkla birleştirilebilir.
- **Farklı malzemelerin birleştirilmesi:** Farklı malzemelerin üstünlüklerinden en iyi şekilde faydalanacak şekilde malzeme seçimi ve birleştirilmesine imkân verir.
- **Sızdırmazlık:** Yapıştırıcılar aynı zamanda conta vazifesi görür. Civata ve perçinli bağlantılar ise genellikle sızdırmazlık sağlamak için ilave işçilik ve maliyet gerektirir.
- **Elektriksel Yalıtım:** Farklı elektro-kimyasal özellikteki metaller birleştirilebilir. Korozyon ve sürtünme nedeniyle aşınma ortadan kalkar.
- **Parça adedinde azalma:** Pim, civata, perçin, kelepçe vs. gereksiz hale gelir.
- **Ürün görünümünde iyileşme:** Yapıştırılmış bağlantılar daha düzgündür. Birleştirme sonrasında, kaynakta olduğu gibi ek yeri görünmez. Bu avantaj, tasarımcılara ürün görünümünün iyileştirilmesi için birçok olanak sağlar.

1.4. Yapıştırıcı ile Birleştirmede Tasarım Esasları

Yapıştırılmış bir bağlantının kuvveti ve dayanıklılığı başlıca şu parametrelerce belirlenir:

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

1.4.1. Yapıştırıcı

Bir yapıştırıcının fiziksel ve kimyasal özellikleri, onun kohezyon (iç-yapışma) ve adhezyon (yüzeylere tutunma) kuvvetini belirler. Yapıştırma bağlantının dayanıklılığı da yapıştırıcının özelliklerine bağlıdır. Farklı yapıştırıcı teknolojileri, kuvvet, yüzeye tutunma özellikleri ve Young modülü (esneklik) yönünden değişik alternatifler sağlar.

1.4.2. Yapıştırılacak Malzeme

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

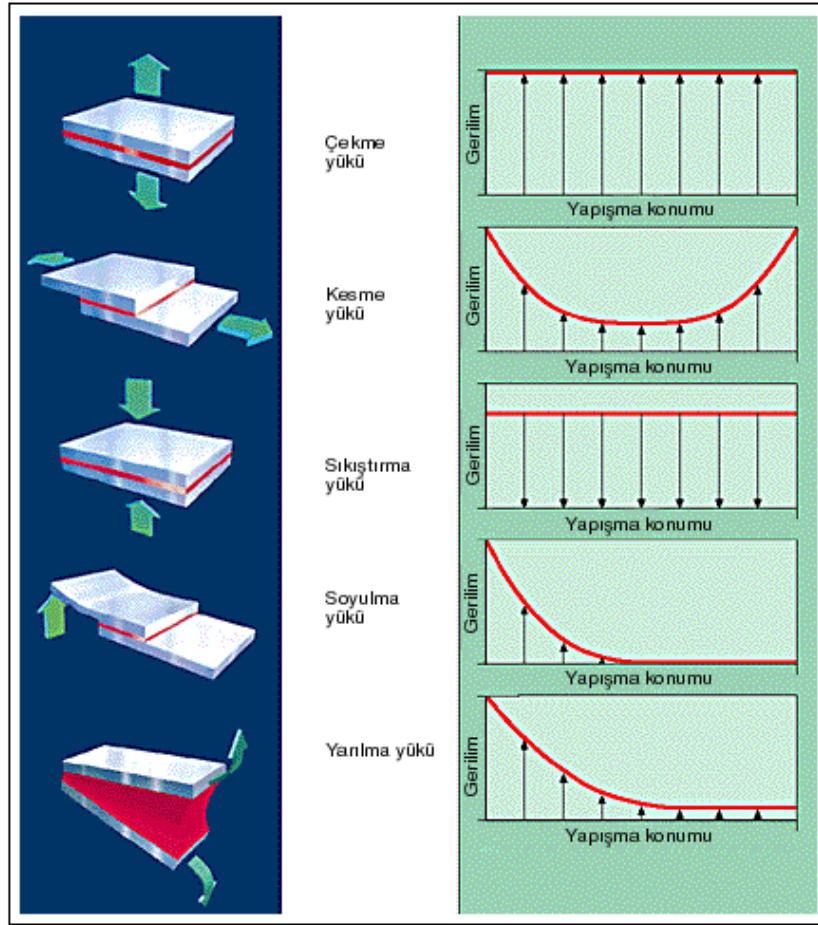
1.4.3. Çalışma Ortamı

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

1.4.4. Yük

Bir yapıştırma bağlantıya etki eden yükler farklı türde gerilimlere neden olur. Gerilimler genel olarak N/mm^2 cinsinden ifade edilir. Yalnızca çekme veya yalnızca sıkıştırma yüklerinde, yapışma çizgisinde gerilim dağılımı düzgündür. Dolayısıyla yapışma çizgisinin her noktası aynı yükü taşır, ve gerilimi hesaplamak için etki eden kuvvet yapışma alanına bölünür. Gerçek hayatta, yalnızca çekme ve yalnızca sıkıştırma yükleri çok enderdir ve daha çok kesme, yarıлма ve soyulma yükleriyle karşılaşılır.

Ek yeri gerilim dağılımı, yani gerilimlerin yapışma çizgisindeki konumu, değişkendir ve hesaplaması daha zordur. Kesme gerilimleri, bazı noktalarda yoğunlaşmalar olacak şekilde yapışma yüzeyine dağılır. Yapışma alanının kenarları, orta noktaya göre daha yüksek gerilime dayanmak zorundadır. Bir ek yerine yarıлма veya soyulma kuvveti uygulandığında, gerilimin çoğu bir kenarda yoğunlaşır (Şekil 1.5).



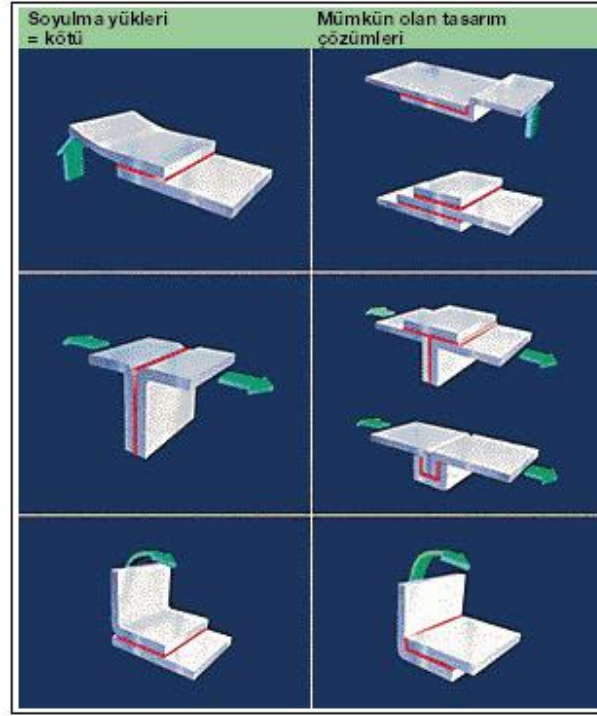
Şekil 1.5. Yapıştırma bağlantılarındaki yükler ve gerilme dağılımları

1.4.5. Ek Yeri Tasarımı

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

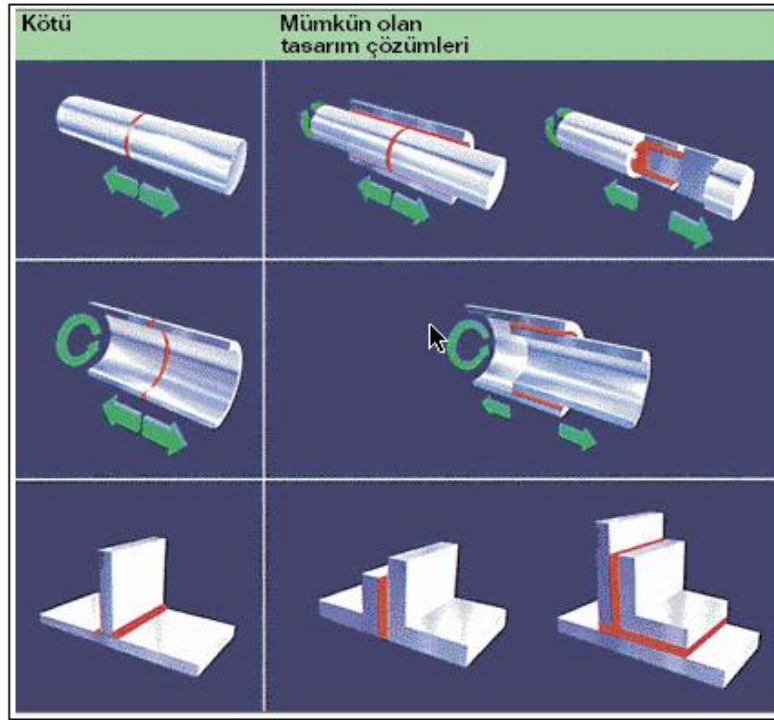
Yapıştırıcıyla birleştirmede, optimum tasarımın hedefi en düzgün gerilim dağılımını elde etmektir. Dolayısıyla mühendisler, kuvvet uygulanan bir ek yerinde gerilimin nasıl dağıldığını iyi anlamalıdır. Yapıştırılacak bir ek yerinin tasarımında dikkate alınması gereken kurallar vardır.

- **Soyulma ve yarıлма yükleri en aza indirilmelidir:** Şekil 1.5’de ki gerilim dağılım eğrilerine bakıldığında, soyulma ve yarıлма yüklerinden mümkün olduğunca kaçınılması gerektiğini görölmektedir. Şekil 1.6’da, soyulma ve yarıлма kuvvetlerinin daha çok tercih edilen yüklere nasıl dönüştürülebileceğine dair bazı tavsiyeler görölmektedir.



Şekil 1.6. Yapıştırma bağlantılarındaki soyulma yüklerinin dönüştürölmesi

- **Yapışma alanı artırılmalıdır:** Bir ek yerini iyileştirmenin veya bir tasarımı yapıştırmaya uygun hale getirmenin diğeri bir basit fakat çok önemli yolu da yapışma alanını artırmaktır. Eğer yapışma alanı çok küçükse, genellikle çok yüksek soyulma veya yarıлма gerilimleri doğar. Yapıştırıcı ve parçaların sertliğı ek yerinin kopma yükünü etkiler. Genellikle, parçalar ne kadar sert ise, ek yerinin kuvveti parçaların şeklinden o kadar az etkilenir. Yapıştırma alanını artırma örnek çözümleri Şekil 1.7’de verilmiştir.

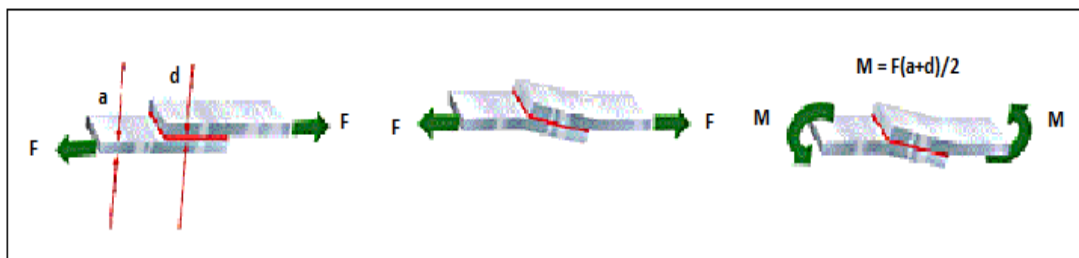


Şekil 1.7. Yapıştırma alanı artırma örnekleri

1.5. Yapıştırıcı Bağlantılarının Optimize Edilmesi

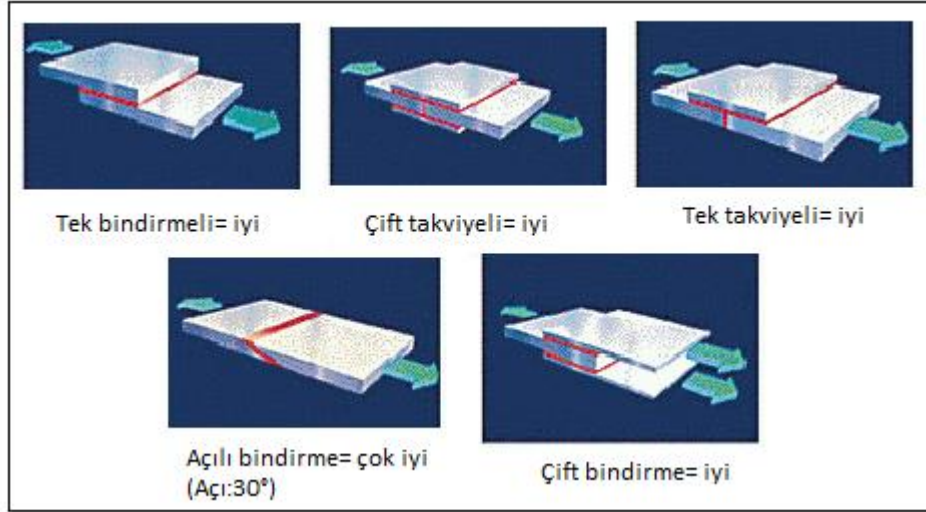
Yapıştırıcı bağlantılarında üst üste binen ek yerlerinin optimize edilmesi için bazı hususlara dikkat edilmesi gerekir. Bunlar:

- **Eksantrik kuvvetlerden kaçınılmalıdır:** Üst üste binen bir ek yerinin düzgün kesme gerilim dağılımı göstermemesi için birçok neden vardır. Sebeplerden biri, böyle bir ek yerine etki eden eksantrik kuvvetlerin eğilme momentine yol açmasıdır (Şekil 1.8).



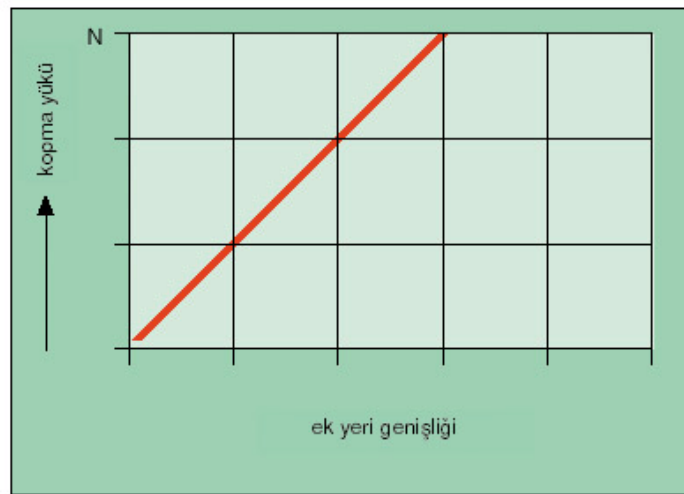
Şekil 1.8. Yapıştırma bölgesinde eğilme momenti oluşumu

Bu eğilme momenti, özellikle yapışma alanının kenarlarında ilave çekme gerilimleri doğurur. Şekil 1.9’da görüldüğü gibi, yapışma çizgisine etki eden eksantrik kuvvetlerin yol açtığı eğilme momentinin olumsuz etkilerini en aza indirmenin çeşitli yolları vardır.



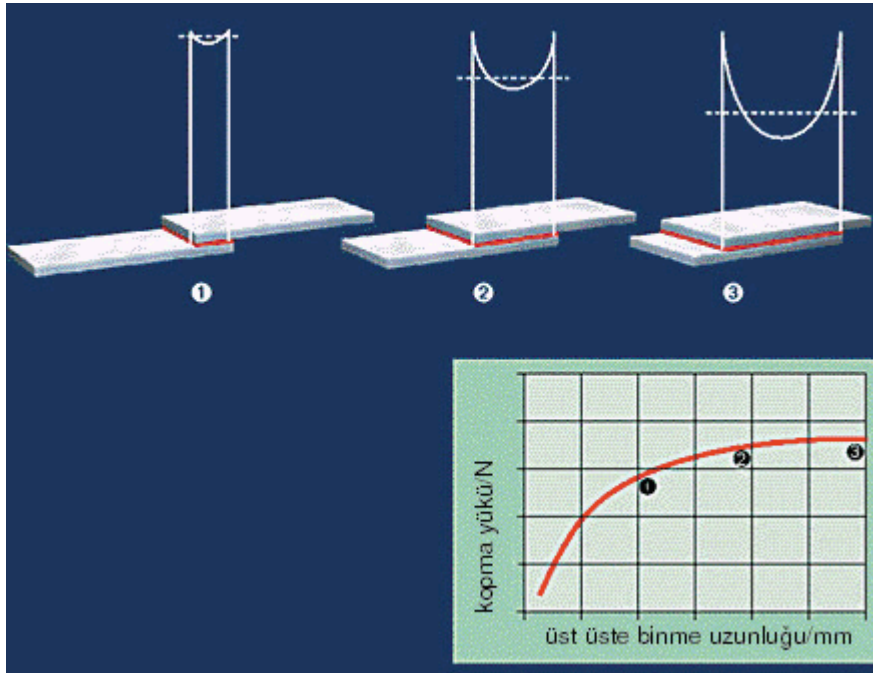
Şekil 1.9. Eksantrik kuvvetlerden kaynaklanan problemlerin muhtelif çözümleri

- **Ek yeri genişliği artırılmalıdır:** Ek yeri genişliğini artırmakla kesme gerilim dağılımı değişmez. Yani bindirmeli ek yerlerinin kopma yükü, ek yeri eniyle aynı oranda artar. Şekil 1.10’da görüldüğü gibi, ek yeri eni iki katına çıktığında kopma yükü de iki kat artmaktadır



Şekil 1.10. Ek yeri genişliği ile kopma yükü arasındaki ilişki

- **Ek yeri bindirmesi optimize edilmelidir:** Ek yeri bindirmesinin optimize edilmesi yalnızca ek yeri uzunluğunun olabildiğince uzatılması anlamına gelmemektedir, çünkü kopma yükü ek yeri uzunluğu veya yapışma alanıyla orantılı olarak artmamaktadır. Kesme gerilim dağılımı eğrisinden, yapışma bölgesi kenarlarının ortaya oranla daha yüksek gerilime dayanması gerektiği görülmektedir. Üst üste bindirme uzunluğu çok artırılırsa, kopma yükünde az veya ihmal edilebilir miktarda değişiklik olabilir. Bunun nedeni ek yerinin, yapıştırıcının kohezyon (iç yapışma) ve adhezyon (yüzeylere tutunma) kuvvetlerinin aşıldığı, bindirmenin kenarındaki gerilim tepelerinde kopmaya başlamasıdır. Şekil 1.11’de kesme gerilimi ortalama değerinin, üst üste binme uzunluğu arttıkça düştüğü, bunun neticesinde kopma yükünde orantısız bir artış meydana geldiği görülmektedir. Eğer yükü taşımak için yapışma yüzeyini artırmak gerekiyorsa, üst üste bindirme yerine ek yeri enini artırmak daha iyi bir çözüm olmaktadır. Üst üste bindirme uzunluğunun artması ile, kopma yükünde meydana gelen artışın orantılı olmadığı görülmektedir.



Şekil 1.11. Bindirme uzunluğu ile kopma yükü arasındaki ilişki

- **Yapışma çizgisi kalınlığı artırılmalıdır:** Daha kalın bir yapışma çizgisi ek yerini kesme gerilimine daha dayanıklı hale getirir. İlave kalınlık, kesme uzamasını daha geniş bir boyuta yayar ve yapıştırıcı üzerindeki birim deformasyonu azaltır ve

dolayısıyla gerilim yoğunlaşmaları azalır. Bu, daha düşük esneklik modülüne sahip bir yapıştırıcı kullanmaya benzer; her iki durumda da daha dayanıklı bir ek yeri elde edilir.

1.6. Yapıştırma Yüzeylerini Hazırlama ve Ön İşlemler

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

Yüzey hazırlama, yapıştırıcı ile birleştirme işleminde en kritik aşamadır. Tatmin edici bir yüzey hazırlığı yapılmadığı takdirde, bağlantı yapıştırıcı-yüzey temas seviyesinde ve önceden tahmin edilemez biçimde kopacaktır. Doğru yüzey hazırlama yapıldığında, yapıştırıcı ve/veya astardan beklenen kuvvet elde edilebilecek ve kopmalar yapıştırıcının kohezyon kuvvetinin aşılması ve yapıştırıcı tabakasının ikiye ayrılması şeklinde olacaktır. Yüzey hazırlama, yalnızca yapıştırma bağlantısının ilk kuvveti için değil, daha da önemlisi, uzun vadedeki dayanımı için de çok önemlidir.

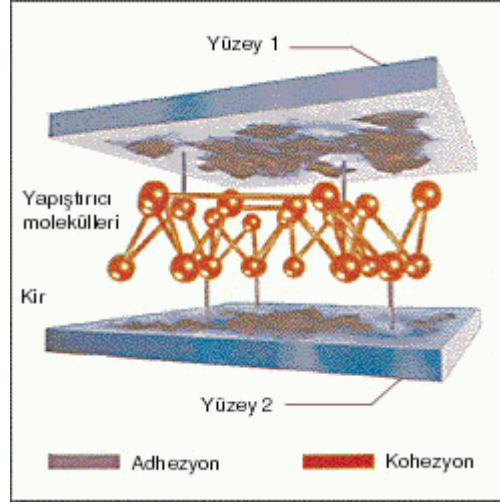
Yüzey hazırlama yöntemleri en azından, yağı, gresi ve yüzeye tutunma kuvveti yapıştırıcınınkinden az olabilecek kaplamaları temizlemelidir. Birçok plastik ve metal malzemede basit zımparalama veya solventle temizleme kullanılır. Ancak bazı metallerde, iyi bir yapışma veya uzun vadeli ortam şartlarına dayanım elde etmek için bu basit yüzey hazırlama yöntemleri yeterli olmayabilir.

En iyi yapışma için iyi bir ön işlem gereklidir. Yapışma kuvveti büyük ölçüde yapıştırılacak yüzeyler ile yapıştırıcı arasındaki adhezyon kuvveti tarafından belirlenir. Yüzeyler iyi temizlendiği ve ön-işlem yapıldığı oranda yapışma kuvvetinin artacağı iyi anlaşılmalıdır (Şekil 1.12).

Adhezyon kuvveti şu şekilde artırılabilir:

- Yağ alma veya mekanik aşındırma ile istenmeyen yüzey tabakalarının temizlenmesi
- Primer ile kaplayarak yeni, aktif bir yüzey oluşturulması

- Aşındırma, korona işlemi, düşük plazma işlemi vs. ile yüzey aktivitesinin değiştirilmesi



Şekil 1.12. Yapıştırma yüzeylerindeki kirlerin yapıştırma işlemine etkisi

1.6.1. Yapıştırılacak Yüzeylerin Yağdan Arındırılması

Mümkün olan en iyi yapışmayı elde etmek için yapıştırılacak yüzeylerden yağ, gres, toz ve diğer kalıntıların tamamen temizlenmesi gerekir. Kalıntı bırakmadan buharlaşan solventler buna uygundur.

Alkalin veya asit bazlı sulu temizleyiciler her zaman korozyon önleyici içerirler. Bunlar eğer temizleme sonrası yüzeyde kalırsa, yapışma kuvvetini azaltabilir veya yapıştırıcının kürleşmesini engelleyebilir. Eğer bu tür temizlik sistemleri kullanılacaksa, mutlaka önceden testler yapılmalıdır. Her durumda tüm yüzeyler iyice durulanmalı veya silinmelidir.

Eğer yüksek miktartlı imalatlar için özel yağ alma banyoları kullanılıyorsa, temizlik banyosunun kirlenmemesi için çok kirli yüzeylere ön-temizlik yapılması tavsiye edilir. Buharlı yağ alma sistemleri çok sık kullanılır. Bu yöntemde solvent kaynama noktasına kadar ısıtılır ve buharlaştırılır. Soğuk parçalar buharlaşmış temizleyici ile temas ettiğinde, temizleyici yüzeyler üzerinde yoğunlaşarak oluşan sıvı yüzeylerde kalmış kir ve gres parçacıklarını temizler.

Yağ alma, çoğunlukla tamamen kapalı makinalarda, yağ alma solventleri ile yapılır. Birçok uygulamada yüzeylere hızlı etkili bir temizleyici ile ön-işlem yapılması yeterlidir. Bu şekilde yüzeyler yağ, gres, kir ve diğer kalıntılardan temizlenir ve yapıştırma için hazır olur. Solventler ile temizlik yapılırken daha iyi netice almak için, yüzeylerden kiri ayıran kimyasal işlem mekanik olarak desteklenebilir (bezi ile ovalamak, fırçalamak gibi)

1.6.2. Mekanik Ön İşlem

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

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

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

1.6.3. Aşındırma

Yüzeyleri aşındırmakta nispeten aşındırıcı olan kimyasallar kullanılır. Yüzeye bağlı olarak çok asidik veya kuvvetli alkalin ürünler tercih edilir. Aşındırma sonucunda, malzeme yüzeyine reaktif gruplar eklenmesi ve yapıştırıcının mekanik olarak kenetlenebileceği gözenekler açılması nedeniyle yüzeyde değişim meydana gelir. Bu

işlemin neticesi malzemeden malzemeye değişebilir. Aşındırıcı çözeltilerin uygulama ve atık yönünden giderek pahalı olması nedeniyle bu yöntemin sanayide kullanımı sınırlıdır.

1.6.4. Yüzey İyonizasyon Ön İşlemi

Yüzey iyonizasyon ön işlemi, ıslak kimyasal ön işleme benzer biçimde yüzeylerin polaritesini ve enerjisini değiştirir. Malzemeye, parçanın şekline, imalat akışına ve parça adedine bağlı olarak Tablo 1.2’de yer alan işlemler uygulanır.

Tablo 1.2. Yüzey iyonizasyon ön işlemleri

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

1.6.5. Primerler

Primerler genellikle solvent içerisinde seyreltilmiş reaktif kimyasallardan oluşur. Primer, malzeme yüzeyine fırça ile sürülerek veya sprey halinde sıkılarak kullanılır. Taşıyıcı solventin uçması beklenir, geride aktif kimyasallar kalır. Primer çeşidine bağlı olarak -siyanoakrilatlar için poliolefin primerleri gibi- yüzey anında yapıştırma işlemine hazır hale gelebilir.

Yüzey primerleri genellikle, yüzey ile yapıştırıcı arasında kimyasal köprü oluşturarak yapışabilme özelliğini artırır. Genel olarak bir primerdeki reaktif maddeler çok

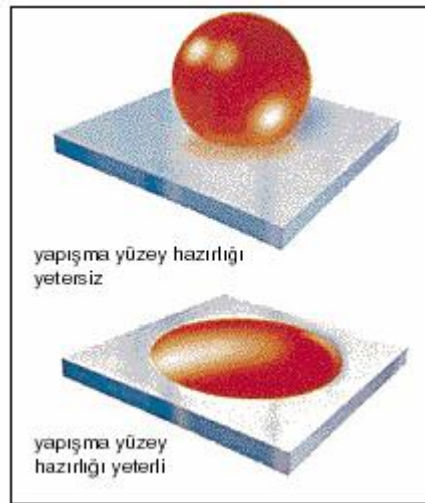
fonksiyonludur, bir dizi reaktif gurup yüzey ile reaksiyona girerken ilave guruplar yapıştırıcı ile uyumu sağlar. Primerler, yapıştırma işleminde adhezyonun kuvvetli ve uzun ömürlü olması için kullanılırlar, fakat yapıştırıcının kürleşmesine katkıları yoktur. Primerler, malzeme yüzeyi ile yapıştırıcı arasında bir köprü olduklarından, tüm yapıştırıcılar ile kullanılacak genel bir primer bulunmamaktadır.

1.7. Islatılabilirlik Testi

Yüzey hazırlıkları “su kopma testi” ile değerlendirilebilir. Temizlenmiş yüzeylere saf su damlaları bırakılır. Yetersiz temizlenmiş yüzeyde damlanın küresel şekli büyük ölçüde korunur ve yüzeyin tekrar temizlenmesi gerektiğini gösterir. Eğer su yüzeyde akıyorsa ıslatma başarılıdır; yüzey yeterli temizlenmiştir (Şekil 1.13).

Bu yöntem alüminyum ve magnezyum üzerindeki anodik kaplamalar için uygun değildir. Su kopma testinin avantajı, “test sıvısı” olan suyun kolay bulunabilmesidir. Fakat avantajı bununla sınırlı kalır, çünkü suyun sertliği yüzey gerilimini etkiler.

Bazı durumlarda, damıtılmış su bile su kopma testinde güvenilir sonuç vermez. Bu nedenle kritik uygulamalarda, belirli yüzey gerilimlerine sahip yüzey gerilim sıvıları kullanılmalıdır. Dikkat edilmesi gereken nokta, bu testin yalnızca ıslatılabilirliği gösterdiği, yapıştırılma kabiliyetini ölçmediğidir.



Şekil 1.13. Islatılabilirlik testi

1.8. Yapıştırma Bağlantıların Sökülmesi

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

1.9. Dayanıklılık

Özel bir uygulama için yapıştırıcı seçimi yapılırken en önemli kriterlerden biri, ortam veya çevre şartlarıdır. Doğal olarak, ek yerine etki edecek kuvvet birinci derecede önemlidir, ve yapıştırıcı tahmin edilen maksimum kuvvete (aşırı uzama olmaksızın), yorulma veya periyodik gerilimlere dayanmalıdır. Periyodik gerilimler, özellikle yavaş olanlar, bir yapıştırıcı için sürekli gerilimlerden çok daha zararlıdır. Özel bir uygulama için seçilen yapıştırıcı bu yüklere ve gerilimlere yalnızca başlangıçta değil, yapıştırılan ek yerinin ömrü boyunca karşılaşacağı en güç ortam şartlarına maruz kaldıktan sonra da dayanmalıdır.

Yapıştırılmış bağlantıların çoğu için ısı ve nem en zararlı çevre faktörleridir. Çok farklı termal genleşme katsayılarına sahip farklı malzemeler arasında oluşan termal genleşme gerilimleri, örneğin yapıştırılmış bir plastik-metal bağlantısı, düşük modüllü (kırılgan olmayan) yapıştırıcılar gerektirir. Yapışmanın dayanıklılığını etkileyen diğer faktörler solventler ve ultraviyole ışığıdır. Her zaman bu faktörlere dayanıklı bir yapıştırıcı seçilmeli; yapıştırılan ek yeri, muhtemelen çatlayacak, zamanla nem ve solventleri geçirebilecek “koruyucu” malzemelerle kaplanmamalıdır.

1.10. Yapıştırıcı Çeşitleri

Yapıştırıcılar, en az iki malzemenin birbirine yapıştırılarak birleştirilmesinde istenilen tasarım özelliklerini veren epoksi, fenolik, polyamid, polyimid ve silikon gibi malzemelerin kimyasal olarak birleştirilmesinden oluşan karışımdır [63].

Yapıştırıcı formülasyonlarında kullanılan maddelerin çokluğu ve çeşitliliği değişik özelliklere sahip yapıştırıcıların formüle edilmesini sağlamakta ve ayrıca yapıştırıcıların sınıflandırılmasını zorlaştırmaktadır. Buna rağmen, yapıştırıcının seçimini ve kullanımını kolaylaştırmak maksadıyla çeşitli sınıflandırmalar yapılmaktadır [64].

Günümüzde kullanılan modern yapıştırıcılar, kimyasal tipleri ve formları açısından iki ana grup olarak sınıflandırılmaktadır [65].

- a) Kimyasal tipleri açısından yapıştırıcılar (anaerobik, siyanoakrilat, epoksi vs.)
- b) Formları açısından yapıştırıcılar (macun, film, reçine vs.)

1.10.1. Kimyasal tipleri açısından yapıştırıcılar

Kimyasal tipleri açısından yapıştırıcılar;

- a) Kimyasal reaksiyon ile sertleşen yapıştırıcılar
- b) Fiziksel değişim ile sertleşen yapıştırıcılar olmak üzere iki grupta incelenir.

1.10.1.1. Kimyasal Reaksiyon ile Sertleşen Yapıştırıcılar

Kimyasal reaksiyon sertleşen yapıştırıcılar en güçlü yapıştırıcılardır. Bu tip yapıştırıcılara, yapısal yapıştırıcılar da denir. Yapısal yapıştırıcılar, yük taşıyabilen, esnek, ısıya dayanıklı yüksek kayma mukavemetine sahip yapıştırıcılardır. Yapısal yapıştırıcılar, uzay sanayi, otomotiv endüstrisi, gemicilik vb. birçok alanda sıklıkla kullanılmaktadır. Günümüzde kullanılan kimyasal reaksiyon ile sertleşen kimyasal yapıştırıcı tipleri aşağıda verilmiştir.

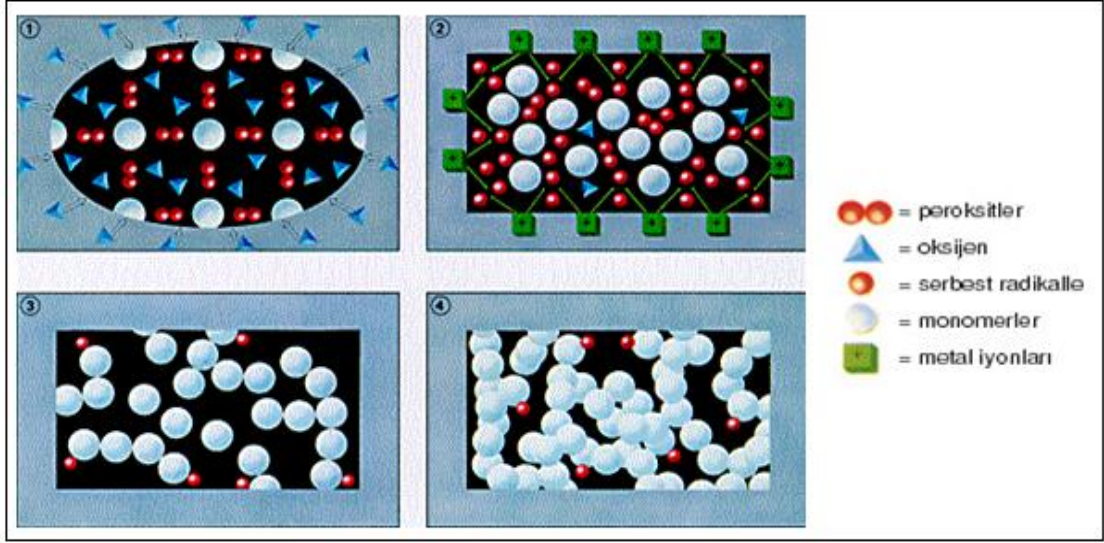
1.10.1.1.1. Anaerobikler

Anaerobik yapıştırıcılar, oksijenle temasları kesildiğinde oda sıcaklığında katılaşıp tek-bileşenli malzemelerdir. Sıvı haldeki yapıştırıcının içinde bulunan kürleştirici bileşen, havadaki oksijenle temasta olduğu sürece etkisiz kalır. Eğer yapıştırıcının oksijen ile teması kesilirse, örneğin yapıştırılacak yüzeyler arasında hapsedildiğinde, kürleşme hızla gerçekleşir aynı zamanda metalle temas söz konusu ise kürleşme daha da hızlanır. Kürleşme aşağıdaki şekilde düşünülebilir. Oksijenle temas kesildiğinde serbest radikaller oluşur ve metal iyonlarının (Cu, Fe) etkisiyle bu serbest radikaller polimerizasyonu başlatır (Şekil 1.14).

Kılcallık etkisiyle sıvı yapıştırıcı en küçük boşluklara girerek ek yerini doldurur. Bu şekilde, kürleşen yapıştırıcı yüzey pürüzlerinin tam şeklini almış olur. Kürleşme işlemi ayrıca, bir katalizör vazifesi gören metal yüzey ile yapıştırıcının teması ile de hızlanır. Pasif malzemelerin katalizör etkisi azdır veya hiç yoktur, böyle durumlarda hızlı ve tam kürleşme için aktivatör kullanılması gereklidir. Sıvı haldeki aktivatör, yapıştırıcı sürülmeden önce yapıştırılacak yüzeylerden birine veya ikisine uygulanır. Aktivatör ile yapıştırıcının karıştırılması söz konusu olmadığı için, açıkta bekleme süresi gibi bir kaygı yoktur.

Anaerobik reaksiyon ile katılaşıp yapıştırıcıların genel özellikleri şunlardır:

- Çok yüksek kesme mukavemeti
- Yüksek sıcaklık dayanımı (-55 °C'den maksimum +230 °C'ye kadar)
- Hızlı kürleşme
- Parça yüzeylerinin parlatılması gerekmez
- Yapıştırmanın yanında sızdırmazlık ve mükemmel kimyasal dayanım
- Yüksek titreşim mukavemeti
- Yüksek dinamik yük mukavemeti



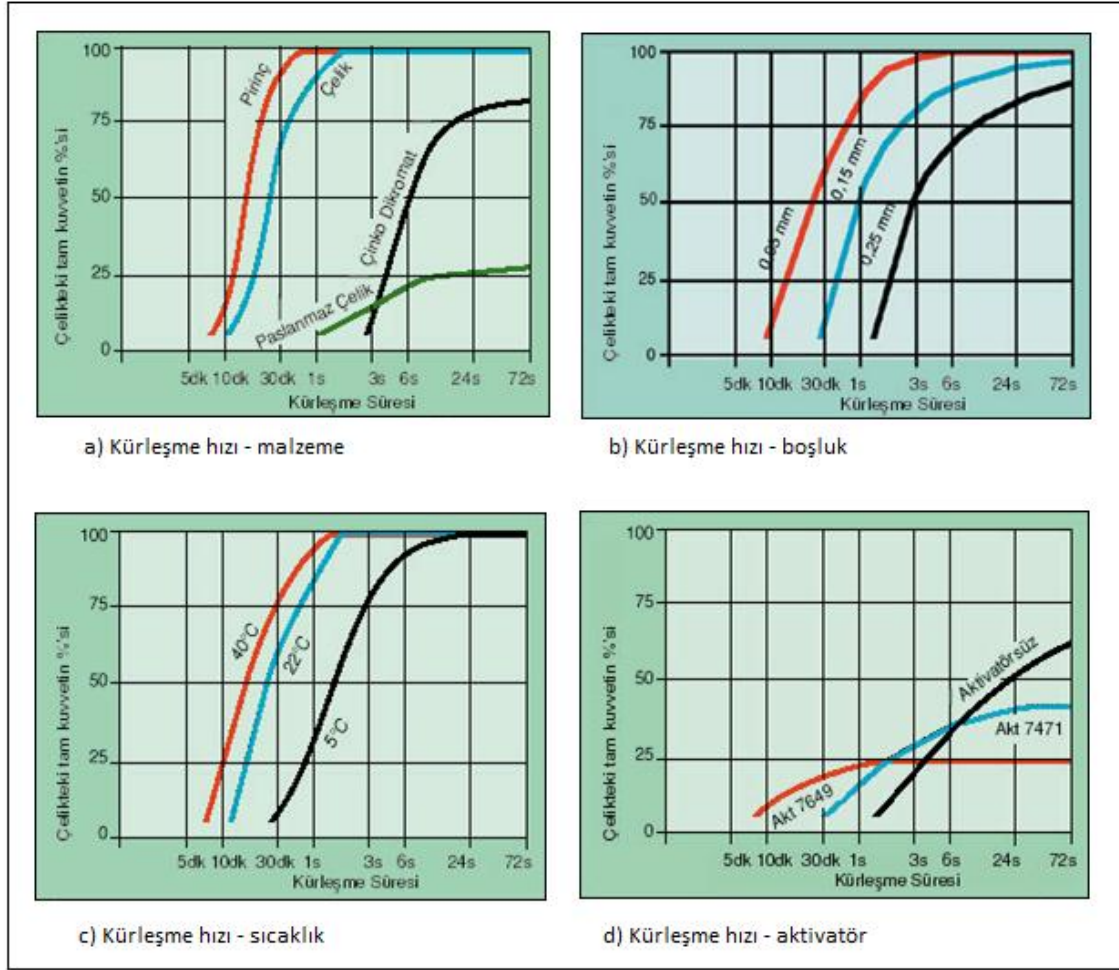
Şekil 1.14. Anaerobik reaksiyon ile kürleşen yapıştırıcıların kürleşme işlemi

Şekil 1.14’de verilen anaerobiklerin kürleşme mekanizmasında;

1. aşamada sıvı haldeki yapıştırıcı oksijenle temas halinde olduğu için bir reaksiyon meydana gelir.
2. aşamada yapıştırıcı yapıştırma boşluğuna doldurulduğunda oksijen ile teması kesilir ve metal iyonlarıyla reaksiyon sonucu peroksitler serbest radikallere dönüşür.
3. aşamada serbest radikaller polimer zincirleri oluşumunu başlatır.
4. aşamada kürleşmiş hal, birbirine kenetlenmiş polimer zincirleri ile katı bir yapı oluşturur.

Anaerobik ürünlerin kürleşme hızı aşağıdaki parametrelere bağlıdır:

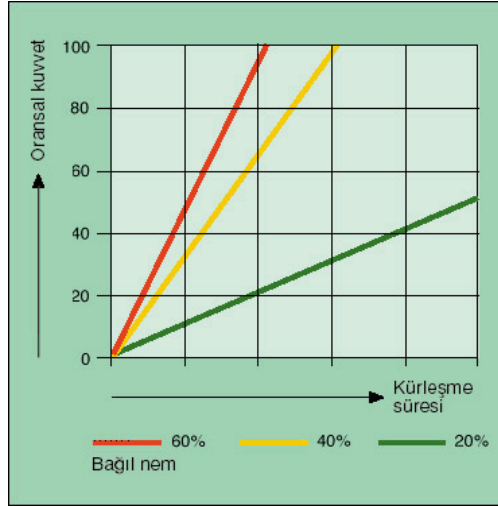
- Yapıştırılacak malzemeler (Şekil 1.15a.)
- Yapıştırılacak parçalar arasındaki boşluk (Şekil 1.5b.)
- Sıcaklık (Şekil 1.15c.)
- Aktivatör (Şekil 1.15d.)



Şekil 1.15. Kürleşme hızını etkileyen faktörler

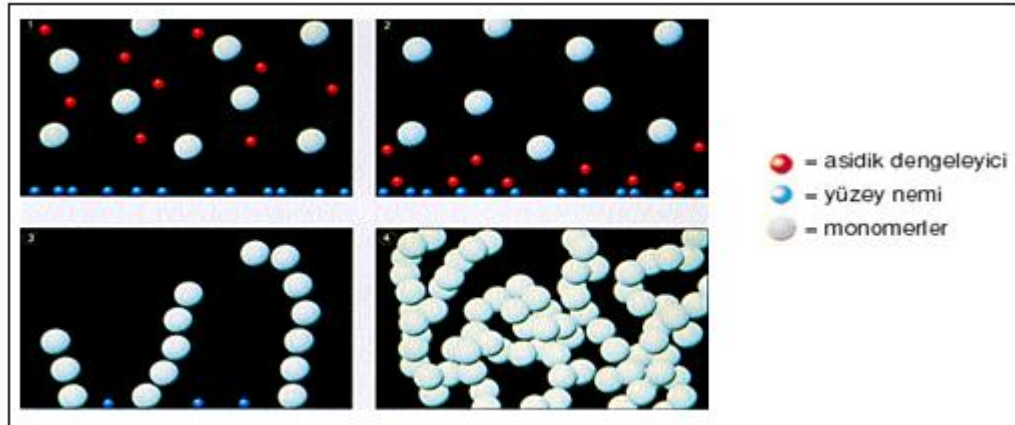
1.10.1.1.2. Siyanoakrilatlar

Tek bileşenli siyanoakrilat yapıştırıcılar, hafifçe alkalın özellik gösteren yüzeyler ile temas ettiklerinde kürleşirler. Genel olarak havadaki ve yapıştırılacak yüzeydeki ortam nemi kürleşmeyi birkaç saniye içinde başlatmak için yeterlidir. Yapıştırılacak yüzey üzerindeki nem, yapıştırıcının içindeki dengeleyiciyi nötralize eder, böylece polimerizasyon bir yüzeyden diğerine gerçekleşir. En hızlı ilk kürleşmeyi elde etmek için tercihan “sıfır boşluk” gereklidir. Çalışma ortamında, oda sıcaklığında % 40 ila % 60 bağıl nem bulunması halinde en iyi netice elde edilir. Düşük nem kürleşmeyi yavaşlatır, yüksek nem ise hızlandırır fakat yapıştırıcının en son tutma kuvvetini olumsuz etkiler (Şekil 1.16).



Şekil 1.16. Bağıl nemin bir fonksiyonu olarak siyanoakrilat yapıştırıcıların kürleşmesi

Kuru hava genellikle yapıştırıcının kuvvetini olumsuz etkilemez. Fakat kürleşme süresinin uzaması imalatı yavaşlatır. Bir hava şartlandırma sistemi ile yapıştırma yapılan yerde tercih edilen nem seviyesi sabit tutulabilir. Asidik yüzeyler ($\text{pH} < 7$) kürleşmeyi yavaşlatır veya engeller, buna karşılık alkalın yüzeyler ($\text{pH} > 7$) kürleşmeyi hızlandırır (Şekil 1.17).



Şekil 1.17. Siyanoakrilatların kürleşme mekanizması

Şekil 1.17'de verilen siyanoakrilatların kürleşme mekanizmasında;

1. aşamada kırmızı ile gösterilen asidik düzenleyici moleküllerin reaksiyona girmesini engelleyerek sıvı halde kalmasını sağlamaktadır.

2. aşamada yüzeye yapıştırıcı uygulandığında, mavi ile gösterilen yüzeydeki nem, asidik düzenleyiciyi nötr hale getirmektedir.

3. aşamada polarizasyon başlamaktadır.

4. aşamada reaksiyon tamamlandığında yüzeyde nem ve asidik düzenleyici kalmadığı için polimer zincirleri birbiri içerisine örülmüş gibi şekillenmektedir.

Yapıştırıcı uygulandıktan sonra polimerizasyon birkaç saniye içinde başladığı için parçalar hemen birleştirilmelidir. Yapıştırıcının açıkta kalma süresi, bağıl neme, yapışma yüzeylerindeki neme, yapıştırıcıya ve ortam sıcaklığına bağlıdır. Çok hızlı kürleştikleri için, siyanoakrilat yapıştırıcılar özellikle küçük parçaların yapıştırılması için uygundur. Siyanoakrilat yapıştırıcılar yalnızca bir yüzeye sürülmelidir. En iyi yapışma için boşluğu dolduracak kadar yapıştırıcı uygulanması şarttır.

Yukarıda açıklandığı gibi, kürleşme hızı yapıştırılacak yüzeylerdeki neme bağlıdır. Kürleşmeyi hızlandırmak veya ortam neminden bağımsız hale getirmek için aktivatörler kullanılabilir. Taşan yapıştırıcı veya açıktaki yapıştırıcı damlası da aktivatörler kullanılarak saniyeler içinde kürleştirilir.

Siyanoakrilat yapıştırıcıların genel özellikleri şunlardır:

- Çok yüksek kesme ve çekme mukavemeti
- Çok yüksek kürleşme hızı (saniyeler içinde tutar)
- Hemen hemen tüm malzemeleri yapıştırır
- Yaşlanmaya dayanıklıdır

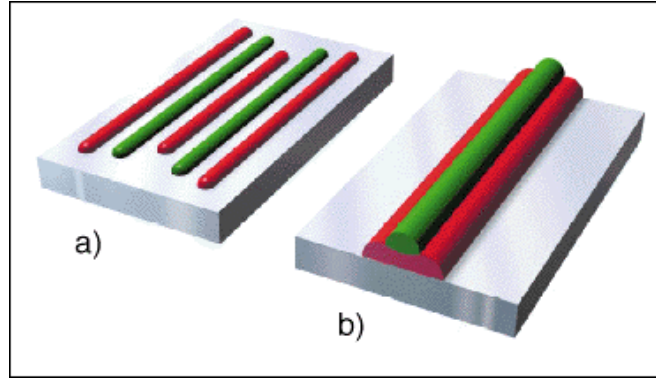
1.10.1.1.3. Akrilikler

Bu yapıştırıcılar oda sıcaklığında aktivatör ile kürleşir. Yapıştırıcının türüne göre, yapıştırıcı ve aktivatör yapıştırılacak yüzeylere ayrı ayrı uygulanabilir veya hemen uygulama öncesinde bir mikserde karıştırılabilir. Bazı yapıştırıcılar düşük viskoziteli bir aktivatör ile kullanılır. Bu yapıştırıcılar hiçbir zaman aktivatörle karıştırılmamalıdır. Yapıştırıcı ve aktivatör her zaman ayrı ayrı tatbik edilmelidir. İki parça birbirine temas ettiğinde yapıştırıcı kürleşmeye başlar.

Sıvı aktivatörü ortadan kaldıran, yapıştırıcı ile aktivatörün aynı kıvamda olduğu akrilik yapıştırıcılar da vardır. Bunlar iki bileşenli sistemlerdir ve yapıştırıcı ile aktivatör yan yana (Şekil 1.18a) veya üst üste şeritler halinde (Şekil 1.18b) uygulanır. Yapıştırılacak parçalar birleştirilirken yapıştırıcı da karışmış olur. Eğer karışmış haldeki yapıştırıcı 5 dakika veya daha uzun bekleyebiliyor ise bir statik mikser de kullanılabilir. Statik mikser tarafından önceden karıştırılmış yapıştırıcı kullanmanın avantajı, karışmanın parçaları birleştirme esnasındaki harekete bağımlı olmamasıdır.

Modifiye akrilik yapıştırıcıların genel özellikleri şunlardır:

- Çok yüksek kesme ve çekme mukavemeti
- Yüksek darbe mukavemeti
- Geniş çalışma sıcaklık aralığı (-55 °C ila +120 °C)
- Hemen hemen tüm malzemeler yapıştırılabilir
- Yüksek boşluk doldurma kabiliyeti (özellikle önceden karıştırılan akrilikler)
- Ortam şartlarına yüksek dayanım

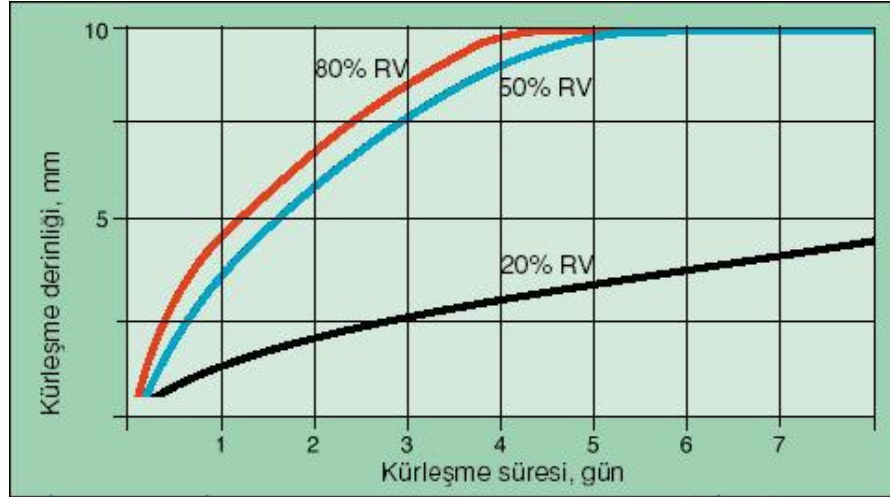


Şekil 1.18. Yapıştırıcı ile aktivatörün uygulanış yöntemleri

1.10.1.1.4. Silikonlar

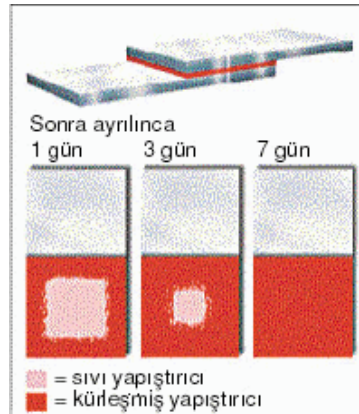
Bu malzemeler oda sıcaklığında ortam nemi ile vulkanize olurlar RTV(Room Temperature Vulcanising). Siyanoakrilatlarda dengeleyicinin nem tarafından nötralize edildiği aniyonik reaksiyona karşılık, silikonlarda kenetlenme için su molekülleri kullanılır. Bu nedenle, suyun silikonun içine, vulkanizasyonun gerçekleştiği bölgeye nüfuz etmesi gerekir.

Su molekölü silikon molekölleeri zincirine eklendiği zaman bir yan ürün açığa çıkar. Kürleşmenin kimyasal özelliğine bağlı olarak yan ürün asidik olabilir. Bu yapıştırıcıların kürleşme hızı öncelikle bağlıl neme bağlıdır (Şekil1.19).



Şekil 1.19. Kürleşme hızı - bağlıl nem ilişkisi

Kürleşme mekanizmasının tabiatı gereği, silikonlar yapışma sathının dış kenarlarından içeriye doğru vulkanize olur. Nemin, vulkanizasyonun gerçekteştiği her noktaya ulaşması gerektiği için, kürleşme derinliği 10- 15 mm ile sınırlıdır (Şekil1.20).



Şekil 1.20. Silikonla yapıştırılmış tipik ek yeri

Silikon elastomerlerin (veya kürleşmiş silikon) genel özellikleri şunlardır:

- Mükemmel sıcaklık dayanımı (230 °C'den fazla)
- Esnek, dayanıklı, uzama katsayısı yüksek
- Düşük ile orta sertlik
- Birçok akışkan için etkili sızdırmazlık
- Mükemmel boşluk doldurma

1.10.1.1.5. Poliüretanlar

Poliüretanlar (genellikle) suyun, izosiyanat grupları içeren bir katkı maddesi ile reaksiyonu neticesinde oluşurlar. Silikonlarda olduğu gibi, su molekülünün yapıştırıcının içine nüfuz ederek yapıştırıcı bağlarının olduğu her noktaya ulaşması gerekir. Bunun sonucunda silikonlar ile aynı kürleşme hadisesi meydana gelir, fakat yan ürün açığa çıkmaz. Kürleşme hızı yine ortamın bağıl nemine bağlıdır.

Poliüretanların genel özellikleri şunlardır:

- Mükemmel dayanıklılık
- Esneklik, yüksek uzama yeteneği
- Mükemmel boşluk doldurma
- Kürleştikten sonra boyanabilme
- Mükemmel kimyasal direnç

En iyi ve uzun ömürlü yapışma için uygun temizleyici ve primerlerin (yapışma başlatıcı) kullanılması tavsiye edilir. Yapıştırılacak yüzeye göre farklı primerler kullanılır.

1.10.1.1.6. Epoksiler

Epoksi yapıştırıcılar, epoksi reçine ile sertleştiriciden oluşur. Epoksi yapıştırıcılar ile son derece mukavemetli yapışmalar elde edilir. Çok farklı tipte malzemeleri yapıştırmak için kullanılabilirler. Tek bileşenli, iki bileşenli ve film olarak üç farklı formdadırlar. Her iki bileşen birleştirildiğinde kovalent bağlar oluşur ve termoset polimer halini alır. Katalizör ilavesi yada ısı sertleşme zamanını hızlandırabilir. Yüksek sıcaklıklarda sertleşen epoksiler daha yoğun çapraz bağlar oluşturduklarından dolayı daha mukavemetli yapışmalar elde edilir. Derinliğine sertleşme miktarı çok iyidir. Çok farklı tipteki

malzemelerin yapıştırılmasında kullanılabilirler [48]. Epoksiler avantajlarının çokluğu ve tüm elyaf malzemelerde kullanılabilme nedeniyle, havacılık sanayide yaygın bir kullanım alanına sahiptirler. Genellikle karbon elyaflar ile birlikte kullanılırlar [66].

1.10.1.1.7. Fenolikler

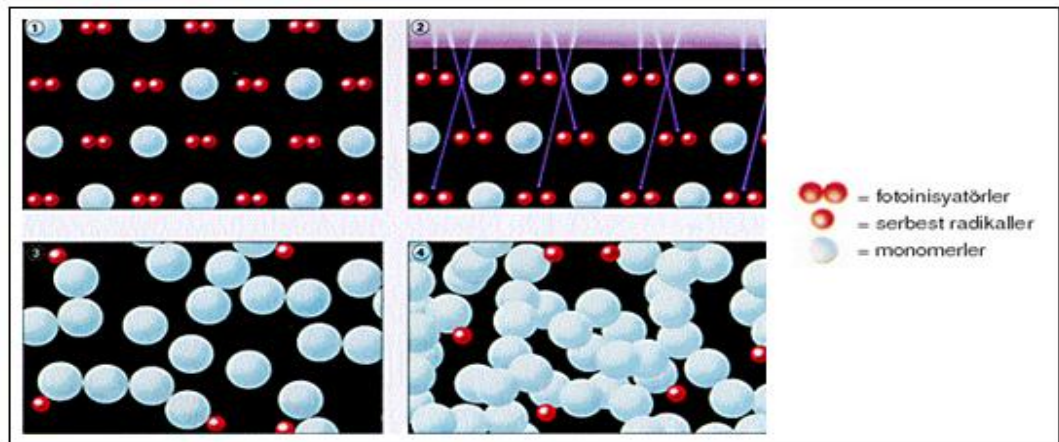
Yüksek mukavemet gerektiren metal ile metal, metal ile ağaç ve metal ile kompozit esaslı fren pabucu yapışmaları için oldukça iyidir. Sertleşmesi için, ısı ve basınç uygulamak gerekir.

1.10.1.2. Fiziksel Değişim ile Sertleşen Yapıştırıcılar

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

1.10.1.2.1. Ultraviyole (UV) Yapıştırıcılar

Bu yapıştırıcıların kürleşme süresi UV ışığının şiddetine ve dalga boyuna bağlıdır. Polimerizasyon UV ışığı tarafından başlatılır, dolayısıyla mutlaka uygun ışık kaynağı ve doğru tatbikat gereklidir. Fotoinisyatörler UV tarafından parçalanır. Oluşan serbest radikaller de polimerizasyonu başlatır (Şekil1.21).



Şekil 1.21. UV yapıştırıcılarda kürleşme mekanizması

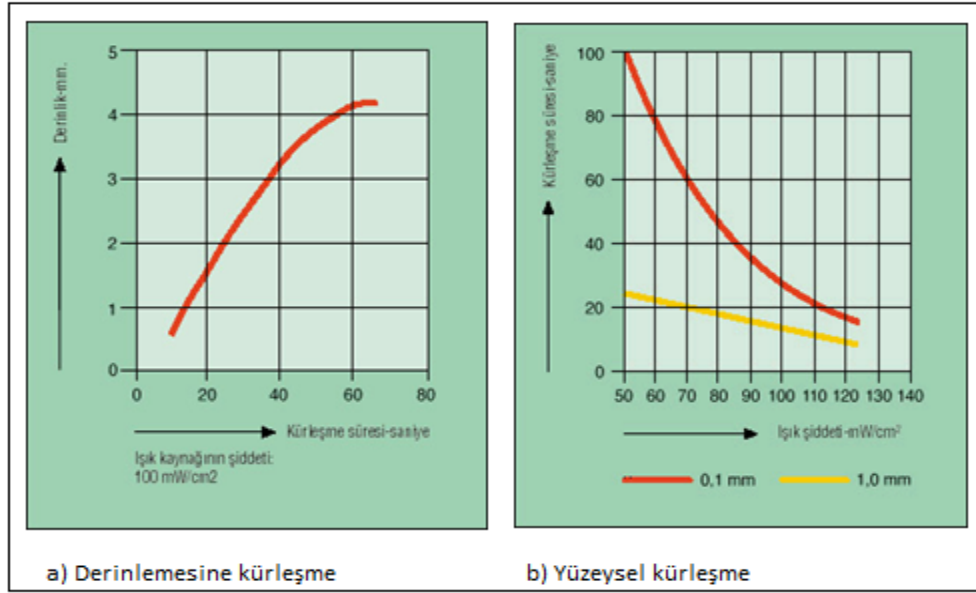
Şekil 1.21’de verilen UV yapıştırıcılarda kürleşme mekanizmasında;

1. aşamada monomer ve fotoinisyatörler birbirini etkilemeden bir arada bulunurlar.
2. aşamada yapıştırıcıya UV ışığı uygulandığı zaman fotoinisyatörler serbest radikallere dönüşür.
3. aşamada serbest radikaller monomer zincirlerinin oluşumunu başlatır.
4. aşamada çapraz olarak kenetlenmiş polimer zincirleri oluşarak kürleşme tamamlanır.

Başlıca üç tip UV ile kürleşme ihtiyacı vardır:

- UV ışığı ile derinlemesine kürleşme
 - UV ışığı ile yüzeysel kürleşme
 - İkincil kürleşme sistemleri
- **Derinlemesine kürleşme:** Yapıştırıcıyı maksimum derinlikte kürleştirmek için, 300 ila 400 nm (uzun UV dalga boyları, UVA-ışığı) aralığında dalga boyu yayan, yüksek ışık şiddetinde ultraviyole kaynaklarına ihtiyaç vardır (Şekil 1.22a).
 - **Yüzeysel kürleşme:** Özellikle UV malzemeler ile dolgu veya yapıştırma yapılırken yüzeysel kürleşme önemlidir. Eğer yetersiz UV lambaları kullanılırsa yapışkan bir yüzey kalabilir. Bunu önlemek için, UV ışık kaynağı (UVC-ışığı) 280 nm’nin altında yüksek şiddette ışık yaymalıdır. Bu husus, yapıştırıcı yüzeyinin temas halinde olduğu havadaki oksijenin kürleşmeyi engelleyici etkisini ortadan kaldırmakta çok etkilidir (Şekil 1.22b).
 - **İkincil kürleşme sistemleri:** Birçok uygulamada UV ışığı yapıştırıcı tarafından ısıtılan tüm bölgelere ulaşamaz. Bu nedenle UV ışığı alamayan alanlar için ikincil kürleşme sistemi olan; anaerobik kürleşme, ısı, ortam nemi ve aktivatörler gibi yapıştırıcılar geliştirmiştir. UV yapıştırıcının kürleşmesi yapışma çizgisine ulaşan ışığın dalga boyu ve şiddetine bağlıdır. Bu nedenle, en uygun yapıştırıcının seçiminde farklı malzemelerin UV geçirgenliği önemli bir kriterdir. PC (Polikarbonat), PVC (Polivinil klorid) veya benzeri malzemelerden yapılmış parçaları yapıştırmak için, “görünür ışıkla kürleşen” yapıştırıcılar geliştirilmiştir. Bu yapıştırıcılar UVA-ışığı ile kürleşebilirler, 420

nm (görünür ışık) civarında yüksek şiddette ışığa tabi tutulduklarında çok daha iyi kürleşme performansı gösterirler.



Şekil 1.22. UV ürünlerin tipik kürleşme davranışı

UV ışığı ile kürleşen yapıştırıcıların genel özellikleri şunlardır:

- Yüksek kuvvet
- Yüksek boşluk doldurma kabiliyeti
- Çok kısa ilk kürleşme süresi
- Ortam şartlarına iyi / çok iyi dayanım
- Tek bileşenli oldukları için otomatik tatbik sistemlerine uygunluk

1.10.1.2.2. Sıcak Eriyikler

Yapıştırıcıların en eski tiplerinden olan sıcak eriyikler polimer esastır. Kağıt, plastik ve ahşap yapıştırmak için kullanılır. Oda sıcaklığında katı halde bulunurlar. Kullanılmadan önce ısıtılarak sıvı hale getirilerek yapıştırılacak yüzeye uygulanırlar. Yapıştırıcı soğuduğu zaman ilk halini alarak yapıştırma tamamlanmaktadır. Katı halden sıvı hale geçiş tersinir olduğu için sıcaklık kontrol altında tutulmalıdır.

1.10.1.2.3. Kauçuk Yapıştırıcılar

Eriyik esaslı kauçuk yapıştırıcılar, su ortamının ya da çözülmenin kaybolması ile sertleşirler. Devamlı yüke maruz kalan yapıştırma işlemleri için uygun değildir.

1.10.1.2.4. Polivinil Asetatlar (PVA)

Bu tip yapıştırıcılarda temel bileşen vinil asetattır. Küçük boyutlu asetat damlalarının su içerisinde çökeltilmesi yöntemine dayanılarak üretilirler. Nem kaybetmeye başladıklarında damla halinden değişime uğrarlar ve sertleşip termoset halini alırlar. Sertleşme süresi neme ve yapıştırıcı kalınlığına bağlıdır. Düşük neme ve ince film tabakası kullanılması durumunda yaklaşık olarak 15 dakikada sertleşme sağlanır. Ağaç ve karton gibi gözenekli malzemelerin yapışması için uygundur. Endüstride oldukça geniş kullanım alanına sahiptirler.

1.10.1.2.5. Basınç Gerektirmeyen Yapıştırıcılar

Teyp ve etiket için uygun olan bu tip yapıştırıcılar sertleşmemelerine rağmen çevre şartları durumlarını değiştirebilirler. Yüke maruz kalan yapışmalar için uygun değildir.

1.10.2. Formları Açısından Yapıştırıcılar

Modern yapıştırıcılar, kullanılmadan önce film, macun, sıvı ve toz gibi çeşitli formlarda olabilirler. Kullanım yerleri olarak, yani formu bakımından yapıştırıcılar çeşitli gruplarda değerlendirilebilir. Bu gruplar:

- Macun tipi yapıştırıcılar
- Film tipi yapıştırıcılar
- Düşük viskoziteli yapıştırıcılar
- Düşük yoğunluklu yapıştırıcılar
- Reçineler
- Köpükler

1.10.2.1. Macun Tipi Yapıştırıcılar

Metal ya da kompozit parçaları birleştirmek için kullanılan iki bileşenli, oda sıcaklığında sertleşen yapıştırıcılardır. Bu yapıştırıcıların yüksek viskoziteye sahip olanları, mükemmel yakın yapışma sağlar. Bu yapıştırıcılar 800°C'nin altındaki sıcaklıklarda sertleşir. Sabit ısıtma gerektiğinde ısı yorgani kullanmak gerekir. Yapıştırıcı kalınlığının 0,1 ile 0,2 mm arasında olması, yapışma için yeterlidir. Karışım oranlarına dikkat edilmez ise, uygulama süresi göreceli olarak düşer. Bu yapıştırıcıların viskoziteleri düşük olduğundan düşey yüzeylerde ya da düşey yapışmalarda kullanılmazlar.

1.10.2.2. Film Tipi Yapıştırıcılar

Film tipi yapıştırıcılar, metalik ya da kompozit malzemelerin yapıştırılması ya da yapışmasına yardım etmesi için kullanılan epoksi esaslı malzemelerdir. Çok geniş kullanım alanına sahiptirler. Kompozit malzemelerin tamirleri için kalın filmler (300 gr/m²), metal parçaların tamirleri için ise ince filmler (150 gr/m²) kullanılır.

1.10.2.3. Düşük Viskoziteli Yapıştırıcılar

Bu yapıştırıcılar, epoksi reçine esaslıdır. Oda sıcaklığında ya da yüksek sıcaklıklarda (120-1800C) sertleşir. Düşük viskoziteli yapıştırıcılar, petek yapıları veya sandviç levhaların kenarlarını doldurmak için kullanılırlar. Bu yapıştırıcılar, birleşmeler içindeki süreksizliklere karşı daha fazla kayma mukavemetine sahip olmalarından dolayı, yapısal bütünlüğü korurlar. Kuruma süresi içinde köpürmez ve genişlemezler. Bu yüzden bu yapıştırıcıları belli bir yerde hapsetmek için özel bir aparata veya korumaya gerek yoktur.

1.10.2.4. Düşük Yoğunluklu Yapıştırıcılar

Düşük yoğunluklu yapıştırıcılar; iki bileşenli, oda sıcaklığında sertleşebilen yapıştırıcılardır. Bu yapıştırıcılar

- Göçük ya da dolgu tipi tamiri
- Kompozit kumaş tabakalarının yapıştırılması
- Mükemmel yapışması istenen iki parçanın yapıştırılması

için kullanılır. Optimum yapışma, kuruma eğrisine göre, sertleşme işlemi sona erdikten sonra yapılabilir. Karışma oranı yanlış yapılırsa, yapıştırıcının uygulama süresi göreceli olarak düşer.

1.10.2.5.Reçineler

Kompozit kumaşların emdirilmesi için kullanılan, iki parçalı düşük viskoziteli epoksi reçinelerdir. Optimum yapışma kuruma eğrisine göre sertleşme işlemi tamamen sona erdikten sonra elde edilebilir. Karışma oranı yanlış yapılırsa uygulama süresi göreceli olarak düşer.

1.10.2.6. Köpükler

Köpükler, kuruma süresince genişleyen epoksi esaslı yapıştırıcılardır. Bu yapıştırıcılar birleşmedeki boşlukları doldurur ve birleşen parçalarının tümünü birbirine kuvvetlice yapıştırır. Köpük kalınlığının en az 2 mm olması istenir.

1.11. Yapıştırmayı Etkileyen Faktörler

Bazı fiziki ve kimyasal faktörlerin etkisiyle, yapıştırıcı formülasyonunda yer alan yapıştırmadan sorumlu polimerik maddeler, yapışmayı sağlamaktadır. Aşağıda yapıştırmayı etkileyen faktörlerin en önemlileri yer almaktadır.

Yapışmanın gerçekleşmesinde faktörlerden biri veya birden fazlası etkili olabilmektedir. Bir yapıştırıcı için etkili olan faktör diğeri için geçerli olmayabilir. Bu sebeple, yapıştırıcıların yapıştırma fonksiyonlarını yerine getirmesinde yapışmayı sağlayan polimerik madde kadar yapışmadan sorumlu olan fiziksel ve kimyasal faktörlerde önemlidir. Yapıştırmayı etkileyen faktörler;

- **Sıcaklık:** Yapıştırıcıların çoğu oda sıcaklığında etkili olurlar. Ancak yüksek sıcaklıkla yapıştırıcı daha etken olur ve yapışma süresi kısalmır. Birçok kimyasal reaksiyonda olduğu gibi sıcaklıkla reaksiyon hızında artış olur. Ancak sıcaklığın kontrolü yapılmalıdır. Aksi halde yapıştırıcıyı oluşturan polimerik maddenin bozulması ihtimaliyle karşılaşılır.

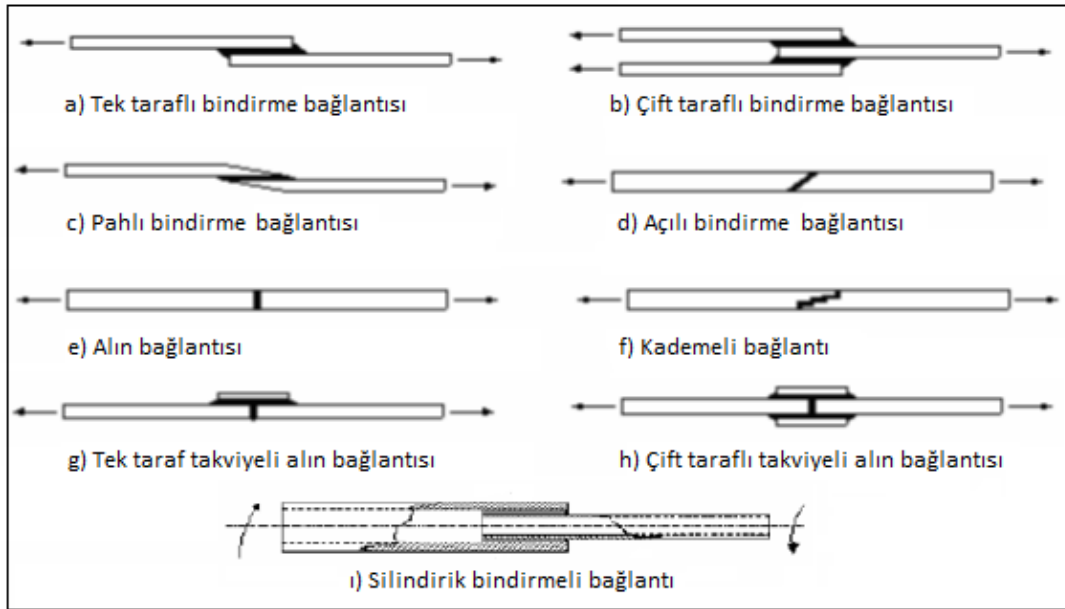
- **Basınç:** Film ve bant halinde olan yapıştırıcılar kullanıldıkları zaman hem bulundukları yerin şeklini almaları hem de yapışmalarını sağlamak maksadıyla hafif bir baskı uygulanması etkin olmalarını sağlamaktadır. Basınç uygulaması yapışmanın kısa zamanda olmasını sağlar.
- **Zaman:** Yapıştırıcının kuruyarak, pişerek etkin hale gelmesi için birkaç saniyeden birkaç güne varan bir sürenin geçmesi gerekir. Geçen bu süre yapıştırıcının etkin olma süresidir. Bu süre basınç ve sıcaklıkla düşürülebilir.
- **Katalizör:** Bazı yapıştırıcıların etkin olmaları için katalizör gibi reaksiyon artırıcı başlatıcı ve hızlandırıcı maddelerin formülasyonda olması gerekir. Bu maksatla kullanılan kimyasal maddelerin her biri değişik sıcaklıkta etkinliklerini göstererek yapışmayı sağlarlar. Termoset ve elastomerik yapıştırıcı türlerinde olduğu gibi tek ve iki bileşenli yapıştırıcılarda katalizörler büyük önem taşımaktadır.
- **Oksijen:** Bazı yapıştırıcılar etkinliklerini ortamda oksijen olmadığı zaman gösterirler ve oksijensiz ortamlarda yapışırlar. Oksijenin bulunduğu ortamda bozulmadan uzun süre saklanabilirler.
- **Çözücü:** Su veya organik esaslı çözücüler kullanılarak hazırlanan yapıştırıcılar, yapışmayı, ortadan çözücü maddenin oda sıcaklığında veya yüksek sıcaklıkta buharlaşarak ayrılması sonucu sağlar.
- **Nem ve Su:** Poliüretan siyanoakrilat ve silikon türü yapıştırıcılar havada bulunan nem veya tatbik edildikleri yerdeki su ve nem vasıtasıyla reaksiyona girerler ve yapışmayı sağlarlar.
- **Ultraviyole Işınlr:** Son zamanlarda geliştirilen bazı yapıştırıcılar ultraviyole ışıklardan etkilenecek yapışmayı sağlamaktadırlar. Tek bileşenli bazı akrilik türü yapıştırıcılar ultraviyole ışınları ile kürleşmektedir [64].

1.12. Yapıştırıcı ile Birleştirme Şekilleri

Yapısal mühendislik tasarımlarının temeli, bir yükleme durumunda yükleri belirleyebilmek ve oluşacak gerilmeleri hesaplamak olmalıdır. Yükleme sistemi genellikle bir fonksiyon ile tanımlanır ama tasarımcı en uygun ve maliyet açısından en etkili çözüme ulaşacak en iyi malzeme ve tasarım tekniğini kullanma becerisine sahip olmalıdır. Bu da sürekli olarak teknolojiye ilerlemeyi gerektirir ve yapısal yük ve gerilmeleri ölçecek modern mühendisliğin önemini artırmaktadır [67].

Uygun bir tasarım, yapıştırıcı bağlantılarındaki gerilme dağılımı ve bağlantının hasar mukavemeti hakkında yeterli bilgiye sahip olmayı gerektirmektedir. Bağlantının davranışı, geometri ve malzeme davranışı gibi birçok parametreye bağlıdır. Bu bağıllık bağlantının ortalama mekanik davranışını tahmin etmeyi zorlaştırmaktadır. Karşılaşılan zorluklar özellikle yapıştırıcıların kontrol mekanizmalarının karşılaştırılmalarındaki eksikliklerden kaynaklanmaktadır [68].

Yaygın olarak kullanılan yapıştırıcı ile birleştirme şekilleri aşağıda verilmiştir (Şekil 1.23).



Şekil 1.23. Yapıştırıcı ile birleştirme şekilleri[69].

1.13. Yapıştırma Bağlantılarında Görülen Hasar Tipleri

Farklı yükleme durumlarında yapıştırma bağlantılarının ya da yapıştırıcının mekanik özelliklerinin tamamıyla anlaşılabilmesi için, hasar tiplerinin karakterize edilmesi gerekir. Genel olarak yapıştırma bağlantılarında adhezyon ve kohezyon olmak üzere iki tip hasar modeliyle karşılaşılır.

Yapıştırıcı ve yapıştırılan malzeme ara yüzeyinde meydana gelen ayrılmadan kaynaklanan kopma olayı adhezyon hasarı olarak adlandırılırken, yapıştırıcı veya

yapıştırılan malzemedeki hasardan dolayı meydana gelen kopma olayı ise kohezyon hasarı olarak adlandırılır.

Temel hasar modelinin belirlenmesi, bir yapıştırma bağlantısına uygulanan herhangi bir mekanik testin sonuçlarının daha iyi anlaşılmasını ve hasar çeşitlerinin sınıflandırılmasını sağlar. Yapıştırma bağlantılarında oluşan temel hasar tipleri Şekil 1.24’de gösterilmiştir.

Yapıştırılan malzemede meydana gelen hasarlar	Yapıştırıcıda meydana gelen hasarlar
 Yapıştırılan malzemelerin birinde veya ikisinde de hasarın oluşması	 Kohezyon hasarı
 Kohesiv yapıştırılan malzeme hasarı	 Özel kohezyon hasarı
 Kalkma (Deleminasyon) şeklinde hasar	 Adhezyon hasarı

Şekil 1.24. Yapıştırma bağlantılarında oluşan hasar tipleri (ISO10365).

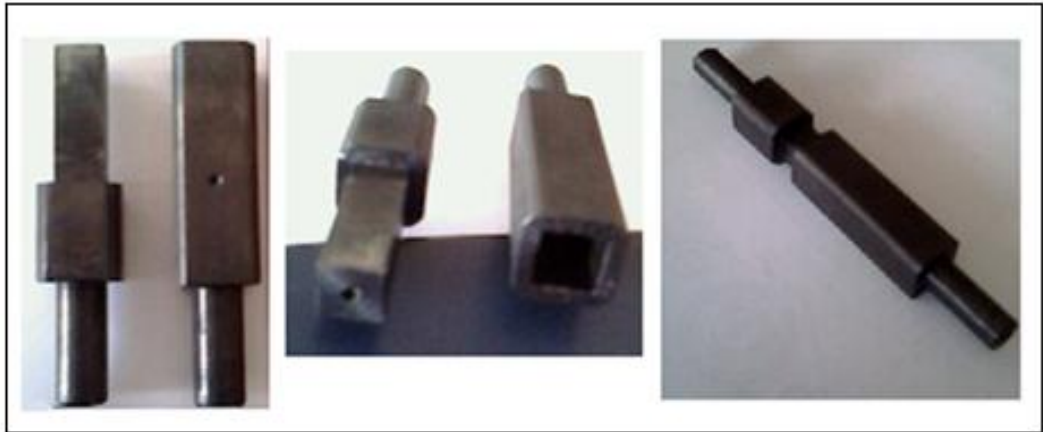
2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde çalışmada kullanılan metal malzemelerin üretimi, bu malzemeleri yapıştırmak için seçilen yapıştırıcıların bulk numunelerinin üretimi, üretilen bulk numunelerinin ve bağlantıların mekanik özelliklerini belirlemek için gerçekleştirilen deneysel çalışmalar açıklanmış daha sonra elde edilen sonuçlardan yola çıkılarak yapılan sayısal çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir.

Çalışmada bağlantı malzemesi olarak St 60 imalat çeliği yapıştırıcı olarak ise epoksi bazlı (Devcon A, Devcon Titanyum ve Akfix-E300) 3 adet ve akrilik bazlı (Erde GTR) 1 adet olmak üzere toplam 4 farklı özellikte yapıştırıcı kullanılmıştır.

2.1. Yapıştırıcı ile Birleştirilen Metal Malzemelerin Mekanik Özellikleri

Deneylerde kullanmak üzere St 60 imalat çeliğinden erkek ve dişi deney numuneleri imal ettirilmiş ve seçilen yapıştırıcılarla birleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan parçalar Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



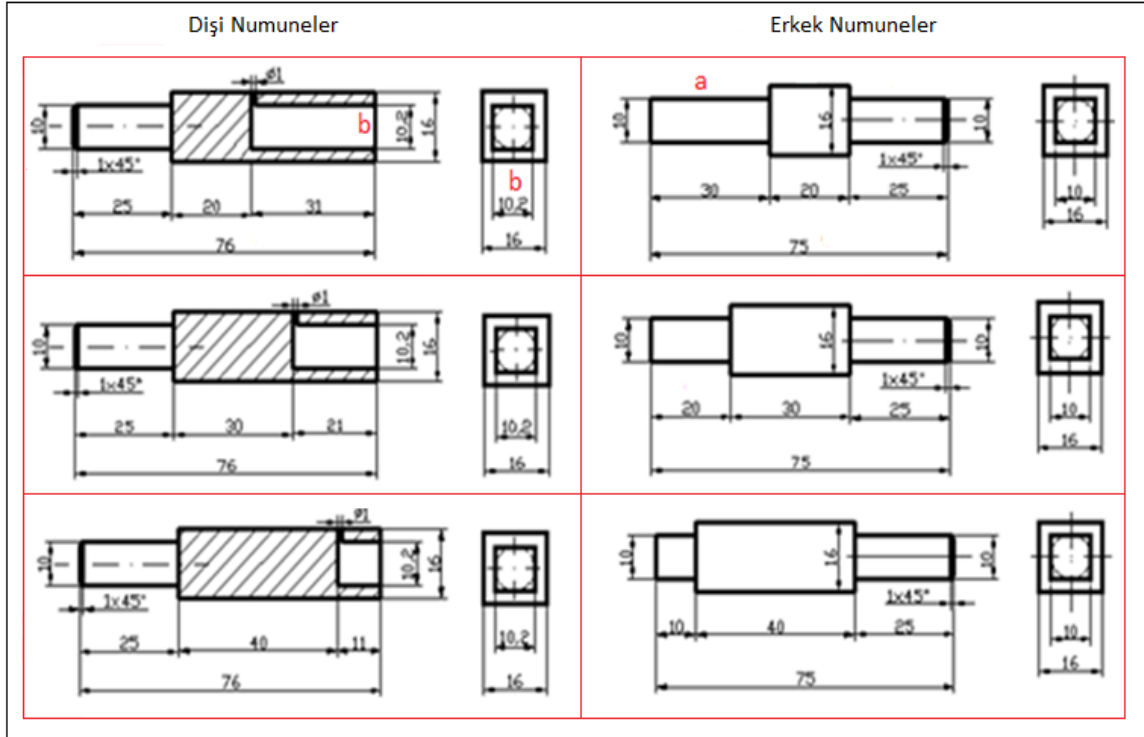
Şekil 2.1. Bağlantı parçaları

Tablo 2.1’de deney parametreleri verilerek, parçalarda **a**: bindirme (geçme) mesafesi, **b**: dişi numune genişliği, **t**: yapıştırıcı kalınlığı ve **R_a**: yüzey pürüzlülüğü olarak adlandırılmıştır.

Tablo 2.1. Deney parametreleri

Erkek numune bindirme (geçme) mesafesi (mm)	Dişi numune genişliği (mm)	Yapıştırıcı kalınlığı (mm)	Bindirme yüzeyleri pürüzlülüğü (μm)		
a	b	t	R_a		
10	10.2	0.1	1.00	3.00	5.00
20	10.6	0.3	1.00	3.00	5.00
30	11	0.5	1.00	3.00	5.00

Deney parametrelerine bağlı olarak imal edilen numunelerin ölçüleri Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2. Deney numuneleri ölçüleri

Erkek numunelerin yapıştırıcı sürülen 4 bindirme yüzeyinde farklı noktalarda en az 4 ölçüm yapılarak, yüzey pürüzlülük değerlerinin ortalamalarında $R_a = 1.00, 3.00$ ve $5.00 \mu m$ değerlerine yakın sonuçların elde edilmesi için eyeleme ve zımparalama işlemleri yapılmıştır. Kare kesitli deney numunelerinin tüm yüzeylerinde aynı sonuçları elde etmek mümkün olmadığı için yüzey pürüzlülük değerlerinin ortalamalarının $R_a = 1.00, 3.00$ ve $5.00 \mu m$ olduğu kabul edilmiştir. Dişi numuneler imal edildikleri şekilde kullanılmıştır.

Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı olarak Mitutoyo SJ-201P ($R_a = 0.01 \mu m - 100 \mu m$) kullanılmıştır (Şekil 2.3). Ölçümler Cumhuriyet Üniversitesi Teknoloji Fakültesi ölçme laboratuvarında $20^\circ C$ sabit oda sıcaklığında yapılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri yapılmadan önce cihazın özel aparatı kullanılarak kalibrasyon yapılmıştır.



Şekil 2.3. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı

Tablo 2.2’de bağlantı parçalarının mekanik özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.2. Bağlantı parçalarının mekanik özellikleri

Malzeme	Test Metodu		
	ISO 527	ISO 527	ISO 178
	Çekme Mukavemeti (MPa)	Poisson Oranı	Elastisite Modülü (Mpa)
St 60	600	0.35	210000

2.2. Kullanılan Yapıştırıcılar ve Özellikleri

Bu çalışmada metal bağlantıların yapıştırılmasında yaygın olarak kullanılan epoksi ve akrilik yapıştırıcıların mekanik özellikleri tespiti ve karşılaştırması yapılmıştır. Epoksi yapıştırıcılardan üç adet ve akrilik yapıştırıcılardan bir adet olmak üzere toplam 4 farklı özellikte yapıştırıcı kullanılmıştır.

2.2.1. Devcon A Plastik-Çelik Macun Epoksi

Genel amaçlı bakım ve tamiratlar için çelik dolgulu çift bileşenli epoksi macundur. Metal yüzeylerde yapıştırma, dolgu ve eksik parça tamamlanması için ideal bir malzemedir. Aşınmış ve metal yorgunluğuna uğramış metallerde, dökümlerdeki tüm yama işlemlerinde, şablon yapımı ve sabitleme işlemlerinde, vana ve pompa gövdelerinde aşınan kısımların tamamlanmasında, aşınmış şaft, mil, aks parçası ve rulman yataklarındaki bilya kanallarının yeniden oluşturulmasında kullanılır. Reçine ve sertleştirici karışım oranı; ağırlıkça 9:1, hacimce 2:1 dir. Yapıştırıcının üretici firma tarafından verilen teknik özellikleri Tablo 2.3’de gösterilmiştir.

Tablo 2.3. Devcon A teknik özellikler

Renk	Koyu Gri
Karışım Viskozitesi	Macun
Saflık Derecesi	%100
Yoğunluk	2.33gr/cm ³
Özgül Hacim	0.43cm ³ /gr
Karışım ile Çalışma Süresi	45 dakika
Basınç Mukavemeti ASTM D1002	19.22 Mpa
Sertlik Shore D ASTM D2240	85D
Sıcaklık Dayanımı	Islak Ortam 38°C
	Kuru Ortam 121°C

2.2.2. Devcon Titanyum Plastik-Çelik Macun Epoksi

Yüksek performanslı, titanyum takviyeli epoksi macundur. Duyarlı parçalar ve kritik ekipmanlarda çok iyi tamirat yapar. Sıcaklık dayanımı 180 °C, basınç direnci 1316 kg/cm²'dir. Kimyasal direnci mükemmeldir. Rulman yataklarında ve çizilmiş millerde, aşınmış çemberler, hidrolik ram'ler ve vanalarda, tornada işleme gereksinimi olan parça ve ekipmanlar da kullanılır. Reçine ve sertleştirici karışım oranı; ağırlıkça 4.3:1, hacimce 3:1,dir. Yapıştırıcının üretici firma tarafından verilen teknik özellikleri Tablo 2.4'de gösterilmiştir.

Tablo 2.4. Devcon Titanyum teknik özellikler

Renk	Gri
Karışım Viskozitesi	Macun
Safılık Derecesi	%100
Yoğunluk	2.37gr/cm ³
Özgül Hacim	0.42cm ³ /gr
Karışım ile Çalışma Süresi	21 dakika
Basınç Mukavemeti ASTM D695	129 Mpa
Yapışma Mukavemeti ASTM D1002	13.72 Mpa
Sertlik Shore D ASTM D2240	87D
Sıcaklık Dayanımı	Islak Ortam 66°C
	Kuru Ortam 177°C

2.2.3. Akfix E300 Suya Dayanıklı Plastik Epoxy Yapıştırıcı

Metal yüzeylerin yapıştırılmasında, alüminyum, cam, porselen, seramik vb. yüzeylerin yapıştırılmasında ve tamirinde, her türlü onarım gerektiren mobilya gibi ev eşyalarının tamirinde kullanılan çift bileşenli bir yapıştırıcıdır. Seyreltik asit, su ve alkali çözeltilere dayanıklıdır. Elektrik geçirmeyen ve sertleşme esnasında renk değişimi, çatlama, büzülme yapmayan bir yapıştırıcıdır. Üretici firma tarafından verilen teknik özellikler Tablo 2.5'de gösterilmiştir.

Tablo 2.5. Akfix E300 teknik özellikler

Kullanma oranı	1 kısım- 1 kısım
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

2.2.4. Erde GTR

Çift bileşenli yüksek performanslı methyl methacrylate bazlı akrilik yapısal bir yapıştırıcıdır. Çelik, bakır, alüminyum, pirinç, paslanmaz çelik gibi metallere ilave olarak zor yapışan mika, Pvc, fleksiglas gibi bir çok plastik türünü yapıştırmada kullanılır. Yapı olarak esnek bir yapıştırma sağlar. Uzun boy farklı metal plastik yapıştırmaları en uygun uygulama alanıdır. İlk tutma süresi 3-5 dakikadır. Bir saat içinde tam tutma performansının 75%' ini gösterir. Tam tutması ve testler için kullanılabilecek süresi 24 saattir. Neme ve çevre şartlarına karşı üstün dayanım sağlar. Yapıştırıcının üretici firma tarafından verilen teknik özellikleri Tablo 2.6'da gösterilmiştir.

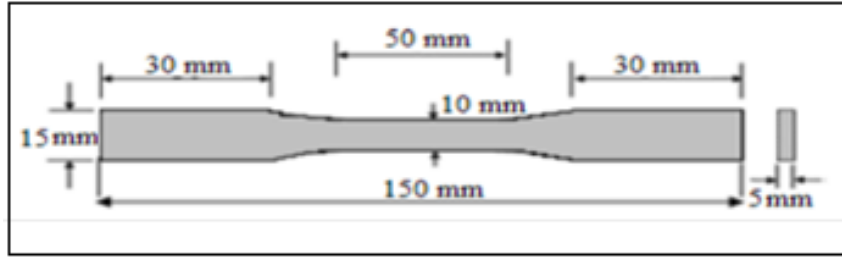
Tablo 2.6. Erde GTR teknik özellikler

	A	B
Görünüm	Yeşil transparan akışkan sıvı	Kırmızı transparan akışkan sıvı
Viskozite (cps/25°C)	2000-3500	2000-3500
Özgül ağırlık (g/m ³ ,20°C)	1.01±0.02	1.01±0.02
Sıcaklık Dayanımı	-30°C/+150°C	
Bileşim	% 100 akrilik	
Boşluk Doldurma	0,5 mm'ye kadar	
Tutma Mukavemeti (Çelik-Çelik)	26,2 Mpa	

2.3. Yapıştırıcıların Gerilme-Şekil Değişirme Özelliklerinin Belirlenmesi

Çalışmada kullanılmak üzere seçilen yapıştırıcıların mekanik özelliklerini tespit edebilmek amacıyla, Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Takım Tezgâhları Laboratuvarında yapıştırıcıların bulk numunelerinin döküleceği bir kalıp üretilmiştir.

Her bir yapıştırıcı için Şekil 2.4’de verilen ISO 527-2 standartlarına uygun boyutlarda bulk numuneler üretilmiş [70], daha sonra bu numuneler ASTM D1002 [71]’de tanımlanan çekme deney prosedürü uygulanarak yapıştırıcıların gerilme-şekil değişirme davranışları tespit edilmiştir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Bulk numuneler için standart çekme numunesi boyutları [70].

2.3.1. Bulk Numunelerin Hazırlanması

Yapısal yapıştırıcılardan uygun boyutlarda bulk numunelerin hazırlanması, mühendislikte kullanılan standart deney yöntemlerinin farklı yük şartlarında yapıştırıcıların mekanik özelliklerinin belirlenmesine imkân sağlamaktadır. Bulk numunelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde, şekil değişimlerini hesaplayabilmek için çekme veya kayma gerilimleri altında numunede oluşan küçük deformasyonların ölçülmesi gereklidir.

Karşılaşılan bazı problemlerde uygulanan kuvvetin ölçülmesine rağmen, yer değiştirmelerin belirlenmesi şekil değişim oranı ve şiddetine, yapıştırıcının mukavemetine bağlı olduğundan bu tür ölçümlerin yapılması zor ve ölçüm cihazlarından kaynaklanan hatalar söz konusudur [72].

Bir yapıştırıcının mekanik özellikleri tespit edilirken, bulk formda ya da bağlantı formunda numuneler kullanılır. Bağlantı formundaki numunelerin kullanılması uygulama yerindeki orijinal yükleme tipini temsil etmesine karşın, bu tipteki numunelerde yapıştırıcının herhangi bir mekanik özelliğinin tespitinden ziyade yapıştırılan malzemenin yapışabilmesi test edilmiş olur. Bu gibi dezavantajlar bulk numunelerin kullanılmasıyla giderilebilir [73].

Bulk numuneler hazırlanırken; belirli bir kalınlığa sahip iki levha ve bunlar arasına yapıştırıcı tabakasının kalınlığını ayarlamak amacıyla yerleştirilmiş kalıplar kullanılmaktadır. Yapıştırıcı bu kalıplar içerisine dökülmektedir. Kalıp üzerindeki bir levha yardımıyla basınç uygulanıp yapıştırıcı içerisindeki gaz boşlukları ve süreksizlikler giderilmektedir. Kürleşme esnasında meydana gelen ısıyı uzaklaştırmak için kalıbın altında su vb. soğutucular kullanılır ve gerekli kürleşme şartları uygulanarak numunelerin üretimi gerçekleştirilir [74].

Kullanılan her yapıştırıcı için sıcaklık ve basınç uygulamalarına uygun pres yardımıyla 3 adet bulk numune hazırlanmış bu şekilde hem gaz boşluklarının giderilmesi sağlanmış hem de yapıştırıcının kürleşebilmesi için gereken basınç uygulanmıştır.

Yapıştırıcılardan elde edilen bulk numuneleri Şekil 2.5’de verilmiştir.



Şekil 2.5. Yapıştırıcı bulk numuneleri

Bulk numuneler hazırlanırken aşağıda verilen süreçler takip edilmiştir.

- Silikon kalıp ayırıcı kalıp içesine sürülerek ince bir film tabakası oluşturulmuş böylece bulk yapıştırıcının kalıba yapışması önlenmiş ve ayrıca kürleşme sonrasında numunenin kalıptan çıkması kolaylaşmıştır.
- Bulk numuneler test edilinceye kadar yatay konumda ve 22°C ortam sıcaklığında muhafaza edilmiştir.

2.3.2. Bulk numunelerden Yapıştırıcıların Mekanik Davranışının Belirlenmesi

Genellikle mekanik davranış, yük altında malzemelerin bünyesinde meydana gelen gerilme-şekil değiştirmeleri açıklayan en genel kavramdır. Yapıştırıcıların mekanik davranışları, plastikler için geliştirilmiş standartlara uygun olarak hazırlanmış numunelerin çekme cihazına bağlanıp tek eksenli gerilme uygulanması ile belirlenebilir [75].

Duncan [76], esnek yapıştırıcılar kullanarak elde ettikleri bulk numuneler ile değişik geometrik şekillerdeki yapıştırma bağlantılarını inceleyen çalışmalar yapmışlar ve bulk yapıştırıcı numunesinin çekme dayanımı ile yapıştırma bağlantısının dayanımı arasındaki ilişkinin istatistiksel yöntemler kullanılarak formüllerle açıklanabileceğini belirtmişlerdir.

Yapıştırıcıların mekanik özelliklerinin doğru olarak belirlenmesi maruz kaldıkları kuvvet sonucu oluşan yer değiştirmelerin tam olarak tespit edilmesi ile mümkündür. Yer değiştirmeler yapıştırıcının mukavemetine, şekil değişim oranı ve şiddetine bağlı olduğundan ölçülmesinde çeşitli zorluklar ortaya çıkmaktadır. Şekil değiştirmeler numune ile temas halinde olan ve numuneye temas etmeyen ölçüm aletleri ile çekme cihazının çene pozisyonuna göre belirlenir. Numune ile temas edenler extensometre ve strain gauge, temas etmeyenler ise optik ve video extensometrelerdir.

Dean ve Duncan [77], kalınlıkları 0,5-4 mm arasında değişen bulk numuneler hazırlayarak, yapıştırıcının mekanik özelliklerinin kalınlıkla değişip değişmediğini incelemişlerdir. Bir ve iki bileşenli epoksi, iki bileşenli akrilik ve iki bileşenli poliüretan olmak üzere dört ayrı tipte yapısal yapıştırıcı kullanarak bulk numuneler hazırlayıp çekme deneyi yapmışlardır. Deney sonuçlarına göre bulk numune kalınlığı ile yapıştırıcı

malzemenin özelliklerinin değişmediğini ve kalın numunelerden daha doğru sonuçlar elde edildiğini belirtmişlerdir.

Lilleheden [78], farklı kalınlılardaki yapıştırıcı bulk numuneler ile yapmış olduğu deneylerde elastik özelliklerin yapıştırıcı kalınlığı ile bağlantısız olduğunu belirtmiştir. Bulk numune ve bağlantı tipinden elde edilen mekanik değerlerin farklı olduğunu gösteren yayınlarda hata olduğunu belirterek bu hataları, bulk ve yapıştırma bağlantısının kurluşme durumlarındaki farklılara, hassas olmayan ölçüm yöntemlerine ve bağlantı durumundaki gerilmelerin tam olarak tanımlanamamasına bağlamıştır.

Bulk numunelerin çekme deneyleri; Erzurum Atatürk Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Mekanik atölyesinde bulunan Şekil 2.6'da gösterilen bilgisayar kontrollü Shimadzu AG-I üniversal (100 kN) test cihazında video extensometre kullanılarak yapılmıştır. Çekme deneyleri oda sıcaklığında ve %50 nem ortamında yapılmıştır. Hata oluşumunu engellemek için, numunelerin serbest uçları çekme cihazının çenelerine tutturulurken mümkün olduğunca eşit basınç uygulanmaya çalışılmıştır. Ayrıca eksenlemeye dikkat edilmiştir.



Şekil 2.6. Bilgisayar kontrollü Shimadzu çekme cihazı

Yapıştırıcıların elastisite modülü belirlenirken, numuneler ISO 527-2 ve ISO 527-1’de tavsiye edilen 1 mm/dk’lık çekme hızıyla yüklenmiştir. Çalışmada kullanılan yapıştırıcıların elastisite modülü 0.001-0.01 aralığındaki şekil değiştirmeler ($\varepsilon_1, \varepsilon_2$) ve bu değerlere karşılık gelen gerilmeler (σ_1, σ_2) kullanılarak denklem (2.1)’deki formülden hesaplanmıştır.

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \quad (2.1)$$

Elastisite modülü tespit edildikten sonra numunelerdeki yük boşaltılmış ve numunelerin tamamıyla önceki durumlarına dönmeleri sağlanmıştır. Daha sonra yapıştırıcıların hasar anına kadar sergiledikleri gerilme-şekil değiştirme davranışlarını belirleyebilmek için, numuneler kopma gerçekleşinceye kadar 1 mm/dk. şekil değiştirme hızıyla yüklenmiştir.

Bulk numunelerinin kopma anına kadar oluşan yük-uzama verilerinden (P- Δl), denklem (2.2), (2.3) ve (2.4) kullanılarak gerçek gerilme-şekil değiştirme (σ - ε) diyagramları elde edilmiştir.

$$\varepsilon_{müh} = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (2.2)$$

$$\varepsilon_{ger} = \ln(1 + \varepsilon_{müh}) \quad (2.3)$$

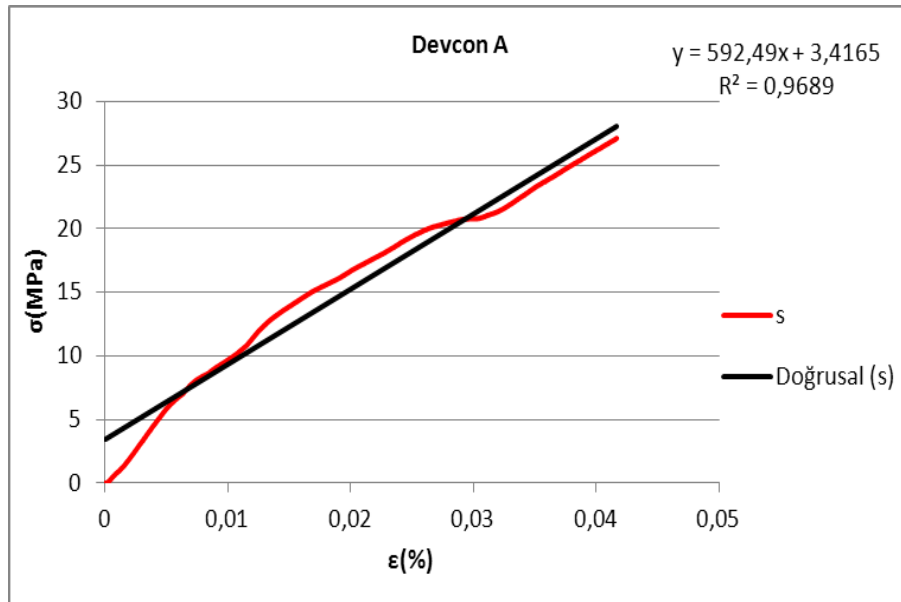
$$\sigma_{ger} = \frac{P \cdot (1 + \varepsilon_{müh})}{A_0} = \frac{P \cdot (1 + \varepsilon_{müh})}{b \cdot h} \quad (2.4)$$

(P: yük, Δl : toplam uzama, b: numune genişliği, h: numune kalınlığı)

2.3.2.1. Devcon A Bulk Numunelerinin Gerilme-Şekil Değiştirme Diyagramı

Erzurum Atatürk Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Mekanik atölyesinde çekme deneyi yapılan yapıştırıcı bulk numunelerinin kuvvet-uzama değerleri denklem (2.3) ve (2.4) deki eşitliklerde yerine konularak bulk numunelerinin gerilme-şekil değiştirme diyagramları elde edilmiştir.

Şekil 2.7’de Devcon A bulk numunelerinin gerilme-şekil değiştirme diyagramı verilmiştir.



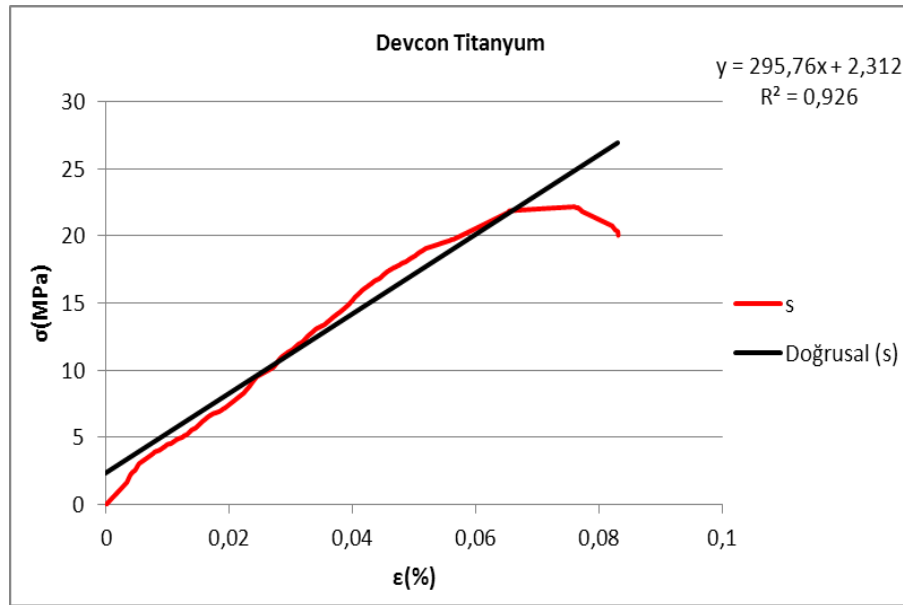
Şekil 2.7. Devcon A bulk numunelerinin gerilme-şekil değiştirme diyagramı

Şekil 2.7’de verilen Devcon A gerilme-şekil değiştirme diyagramında görüldüğü gibi eğri, doğruluk oranı 0.9689 olan bir doğrudur. Deney sonucunda elde edilen gerilme-şekil değiştirme grafiğinin yaklaşık olarak bir doğru olması numunenin akmaya uğramadan koptuğunu göstermektedir. Bundan dolayı Devcon A ile yapıştırılan numunelerin gerçekleştirilecek olan nümerik çalışmalarında elastik gerilme analizi yapılmıştır.

2.3.2.2. Devcon Titanyum Bulk Numunelerinin Gerilme-Şekil Değiştirme Diyagramı

Erzurum Atatürk Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Mekanik atölyesinde çekme deneyi yapılan yapıştırıcı bulk numunelerinin kuvvet-uzama değerleri denklem (2.3) ve (2.4) deki eşitliklerde yerine konularak bulk numunelerinin gerilme-şekil değiştirme diyagramları elde edilmiştir.

Şekil 2.8’de Devcon Titanyum bulk numunelerinin gerilme-şekil değiştirme diyagramı verilmiştir



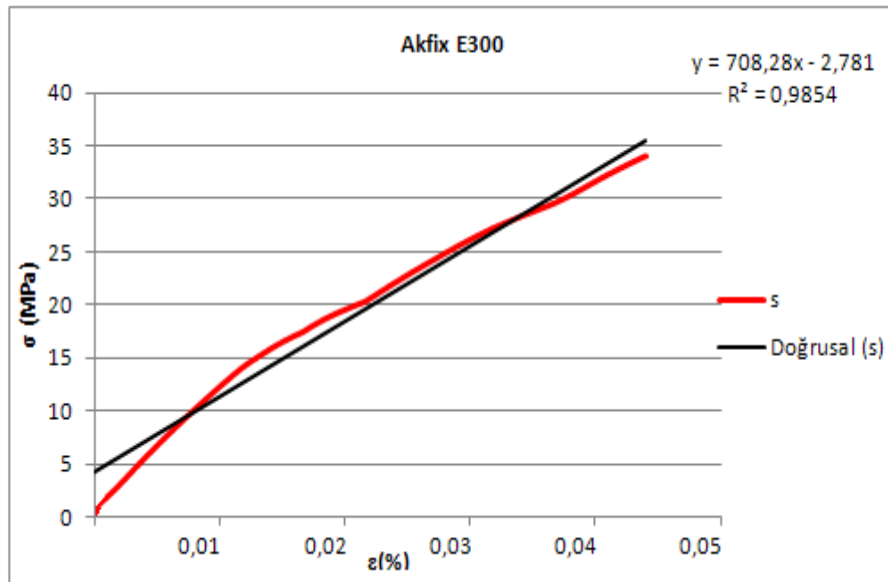
Şekil 2.8. Devcon Titanyum bulk numunelerinin gerilme-şekil değiştirme diyagramı

Şekil 2.8’de verilen Devcon Titanyum gerilme-şekil değiştirme diyagramında görüldüğü gibi eğri, doğruluk oranı 0.9260 olan bir doğrudur. Deney sonucunda elde edilen gerilme-şekil değiştirme grafiğinin yaklaşık olarak bir doğru olması numunenin akmaya uğramadan koptuğunu göstermektedir. Bundan dolayı Devcon Titanyum ile yapıştırılan numunelerin gerçekleştirilecek olan nümerik çalışmalarında elastik gerilme analizi yapılmıştır.

2.3.2.3. Akfix E300 Bulk Numunelerinin Gerilme-Şekil Değiştirme Diyagramı

Erzurum Atatürk Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Mekanik atölyesinde çekme deneyi yapılan yapıştırıcı bulk numunelerinin kuvvet-uzama değerleri denklem (2.3) ve (2.4) deki eşitliklerde yerine konularak bulk numunelerinin gerilme-şekil değiştirme diyagramları elde edilmiştir.

Şekil 2.9’da Akfix E300 bulk numunelerinin gerilme-şekil değiştirme diyagramı verilmiştir.



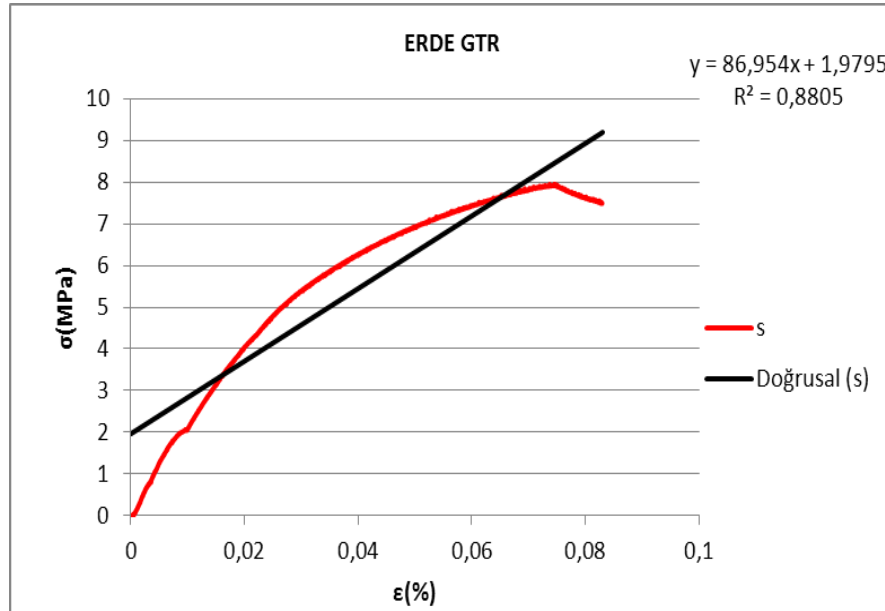
Şekil 2.9. Akfix E300 bulk numunelerinin gerilme-şekil değiştirme diyagramı

Şekil 2.9’da verilen Akfix E300 gerilme-şekil değiştirme diyagramında görüldüğü gibi eğri, doğruluk oranı 0.9854 olan bir doğrudur. Deney sonucunda elde edilen gerilme-şekil değiştirme grafiğinin yaklaşık olarak bir doğru olması numunenin akmaya uğramadan koptuğunu göstermektedir. Bundan dolayı Akfix E300 ile yapıştırılan numunelerin gerçekleştirilecek olan nümerik çalışmalarında elastik gerilme analizi yapılmıştır.

2.3.2.4. Erde GTR Bulk Numunelerinin Gerilme-Şekil Değiştirme Diyagramı

Erzurum Atatürk Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Mekanik atölyesinde çekme deneyi yapılan yapıştırıcı bulk numunelerinin kuvvet-uzama değerleri denklem (2.3) ve (2.4) deki eşitliklerde yerine konularak bulk numunelerinin gerilme-şekil değiştirme diyagramları elde edilmiştir.

Şekil 2.10'de Erde GTR bulk numunelerinin gerilme-şekil değiştirme diyagramı verilmiştir



Şekil 2.10. Erde GTR bulk numunelerinin gerilme-şekil değiştirme diyagramı

Şekil 2.10'da verilen Erde GTR gerilme-şekil değiştirme diyagramında görüldüğü gibi eğri, doğruluk oranı 0.8805 olan bir eğridir. Deney sonucunda elde edilen gerilme-şekil değiştirme grafiğinin bir eğri olması numunenin akmaya uğrayarak koptuğunu göstermektedir. Bundan dolayı Erde GTR ile yapıştırılan numunelerin gerçekleştirilecek olan nümerik çalışmalarında elasto-plastik gerilme analizi yapılmıştır.

Ansysis’de yapılacak elasto-plastik analiz için gerekli olan Erde GTR’ye ait gerilme-şekil değiştirme değerleri Tablo 2.7’de verilmiştir.

Tablo 2.7 Erge GTR gerilme- şekil değiştirme değerleri

Nokta	ε (%)	σ (MPa)
1	0.003	0.732
2	0.007	1.787
3	0.011	2.389
4	0.013	2.942
5	0.017	3.569
6	0.019	3.927
7	0.022	4.459
8	0.025	4.871
9	0.029	5.324
10	0.035	5.891
11	0.041	6.404
12	0.048	6.817
11	0.516	7.010
12	0.059	7.388
13	0.073	7.909
14	0.077	7.759
15	0.082	7.544

Tablo 2.8’de yapıştırıcı bulk numunelerinin çekme deneyi sonucunda belirlenen mekanik özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.8. Yapıştırıcıların mekanik özellikleri

	Test Metodu			
	ISO 527	ISO 527	ISO 527	ISO 178
	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Poisson Oranı	Elastisite Modülü (Mpa)
Akfix E300	-	34.1	0.32	758
Devcon A	-	26.5	0.35	663
Devcon Titanyum	-	22.1	0.34	315
Erde GTR	2.01	7.9	0.36	93

Yapıştırıcıların mekanik özellikleri belirlendikten sonra, tüm numunelerin yapışma yüzeyleri aseton ile temizlendikten sonra yapıştırma işlemi gerçekleştirilerek Şekil 2.11’de gösterilen yapıştırma bağlantıları elde edilmiştir.



Şekil 2.11. Yapıştırma bağlantıları

Elde edilen yapıştırıcı bağlantıları Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Mekanik atölyesinde bulunan ve Şekil 2.12’de gösterilen bilgisayar kontrollü UTEST 15 (1kN) universal test cihazında, 1 mm/dk’lık çekme hızında çekme deneylerine tabi tutulmuştur.



Şekil 2.12. UTEST 15 (1kN) universal test cihaz

Deneyler oda sıcaklığında ve %50+5'lik nemli ortamda gerçekleştirilmiştir. Hata oluşumunu engellemek için, bağlantıların serbest uçları çekme cihazının çenelerine tutturulurken mümkün olduğunca eşit basınç uygulanmaya çalışılmış ve deney sırasında eksanlemeye özen gösterilmiştir.

Şekil 2.13'de deney numunesinin test cihazına bağlanmış hali görülmektedir.



Şekil 2.13. Deney numunesinin test cihazına bağlanması

Şekil 2.14'de bir numunenin çekme deneyi sırasındaki görüntüsü verilmiştir.



Şekil 2.14. Çekme deneyi sırasında yapıştırma bağlantısının kopması

Bağlantılar test edilirken kuvvet-yer değiştirme verileri ve numunelerin taşıyabildikleri maksimum yük kaydedilmiştir (Şekil 2.15).



Şekil 2.15. Çekme deneyi verilerinin alınması

Numunelerin taşıyabildikleri maksimum yük (2.4) numaralı eşitlikte yerine konarak bağlantının ortalama kayma dayanımı hesaplanmıştır.

$$\tau = \frac{P_{max}}{A} \quad (2.4)$$

Burada P_{max} hasar yükünü, A ise erkek numuneler üzerindeki yapıştırma alanını ifade etmektedir.

Yapıştırma alanları aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

Yapıştırıcı kalınlığı 0.1mm için;

Bindirme uzunluğu 10 mm : $A = [(16 \times 16) - (10.2 \times 10.2)] + [4 \times (10.2 \times 10)] = 559.96 \text{ mm}^2$

Bindirme uzunluğu 20 mm : $A = [(16 \times 16) - (10.2 \times 10.2)] + [4 \times (10.2 \times 20)] = 967.96 \text{ mm}^2$

Bindirme uzunluğu 30 mm : $A = [(16 \times 16) - (10.2 \times 10.2)] + [4 \times (10.2 \times 30)] = 1375.96 \text{ mm}^2$

Yapıştırıcı kalınlığı 0.3mm için;

Bindirme uzunluğu 10 mm : $A = [(16 \times 16) - (10.6 \times 10.6)] + [4 \times (10.6 \times 10)] = 567.64 \text{ mm}^2$

Bindirme uzunluğu 20 mm : $A = [(16 \times 16) - (10.6 \times 10.6)] + [4 \times (10.6 \times 20)] = 991.64 \text{ mm}^2$

Bindirme uzunluğu 30 mm : $A = [(16 \times 16) - (10.6 \times 10.6)] + [4 \times (10.6 \times 30)] = 1415.64 \text{ mm}^2$

Yapıştırıcı kalınlığı 0.5mm için;

Bindirme uzunluğu 10 mm : $A = [(16 \times 16) - (11 \times 11)] + [4 \times (11 \times 10)] = 575 \text{ mm}^2$

Bindirme uzunluğu 20 mm : $A = [(16 \times 16) - (11 \times 11)] + [4 \times (11 \times 20)] = 1015 \text{ mm}^2$

Bindirme uzunluğu 30 mm : $A = [(16 \times 16) - (11 \times 11)] + [4 \times (11 \times 30)] = 1455 \text{ mm}^2$

Şekil 2.16’da çekme deneyi gerçekleştirilmiş numuneler görülmektedir.



Şekil 2.16. Çekme deneyi gerçekleştirilmiş numuneler

2.3.3. Ansys Sonlu Elemanlar Yazılımı

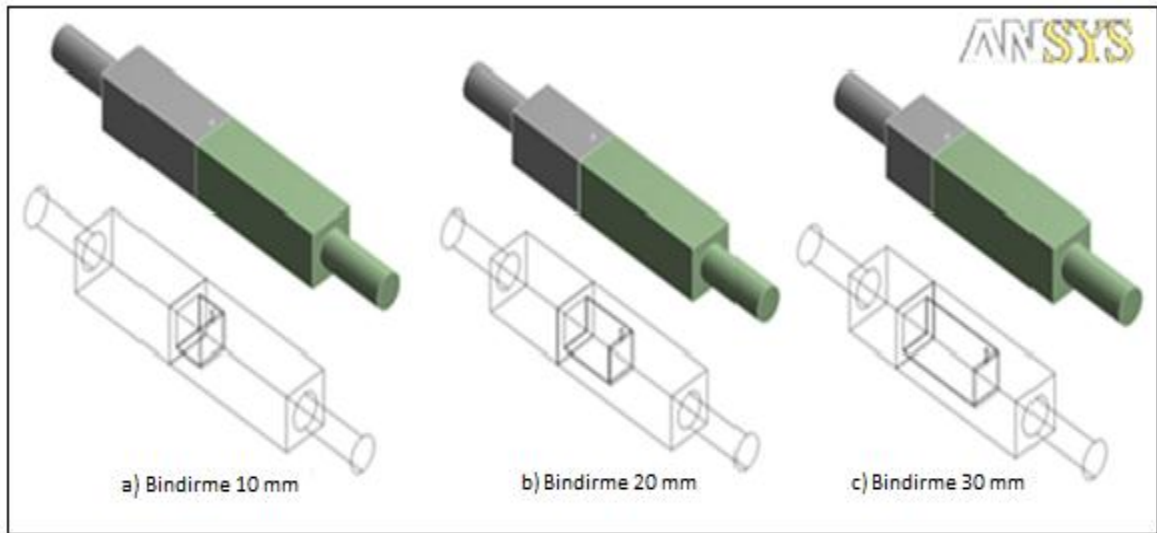
ANSYS yazılımı mühendislerin mukavemet, titreşim, akışkanlar mekaniği ve ısı transferi ile elektromanyetik alanlarında fiziğin tüm disiplinlerinin birbiri ile olan etkileşimlerini gerçeğe uygun bir şekilde kullanılabilen genel amaçlı bir sonlu elemanlar yazılımıdır.

Bu sayede gerçekleştirilen testlerin ya da çalışma şartlarının simule edilmesine olanak sağlayan ANSYS, ürünlerin henüz prototipleri üretilmeden sanal ortamda test edilmelerine olanak sağlar. Ayrıca sanal ortamdaki 3 boyutlu modellemeler neticesinde yapıların zayıf noktalarının tespiti ve iyileştirilmesi ile ömür hesaplarının gerçekleştirilmesi ve muhtemel problemlerin öngörülmesi mümkün olmaktadır.

ANSYS yazılımı ile özellikle “contact” algoritmalarının çeşitliliği, zamana bağımlı yükleme özellikleri ve non-lineer malzeme modelleri sayesinde yüksek mühendislik seviyedeki analizleri hızlı, güvenilir ve pratik bir şekilde gerçekleştirebilmektedir [79].

2.3.4. Sayısal Analiz

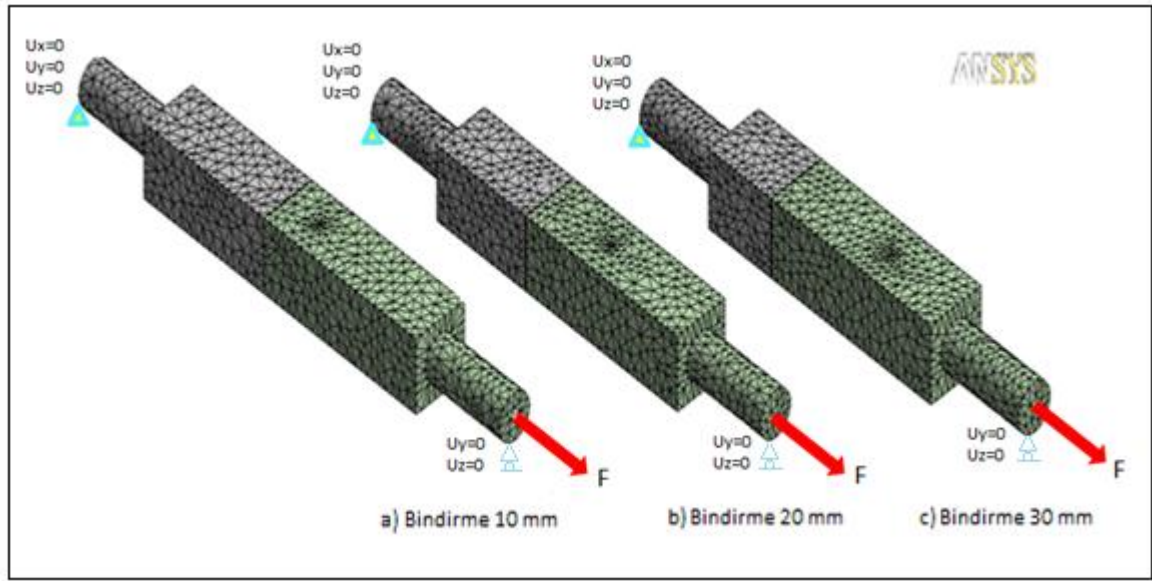
Numunelerin elastik ve elasto-plastik gerilme analizleri, sonlu elemanlar paket programı ANSYS WORKBENCH 12.0 kullanılarak yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan numunelerin bire bir modelleri oluşturulmuş ve bu modellere yine deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen Tablo 2.2 ve Tablo 2.8’de verilen malzeme ve yapıştırıcı malzemelerin özellikleri girilmiştir. Dört farklı yapıştırıcı ile birleştirilmiş üç farklı yapıştırıcı kalınlığı ve üç farklı bindirme mesafesine sahip metal numuneler, sonlu eleman analizleri için Şekil 2.17’de gösterildiği gibi modellenmiştir.



Şekil 2.17. Modellerin perspektif görünüşü

Sonlu elemanlar analizinde kullanılan model boyutları ve yükleme şartları deneysel çalışmalarda kullanılanlarla aynı olarak girilmiştir.

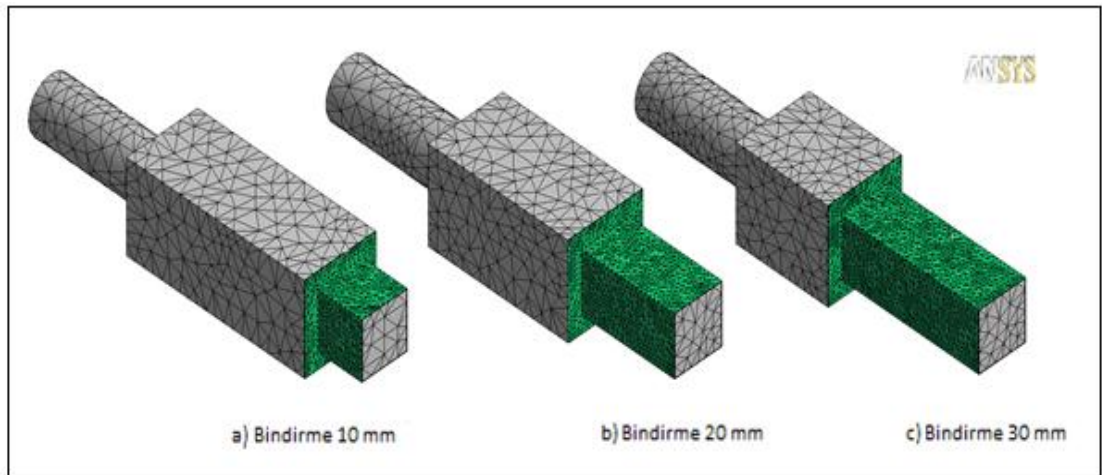
Modeller oluşturulduktan sonra model sonlu elamanlara bölünerek sınır şartları uygulanmış ve çözüm gerçekleştirilmiştir. Ansys’de oluşturulan modelin mesh yapısı Şekil 2.18’de görüldüğü gibidir.



Şekil 2.18. Modellerin meshlenmiş hali

Yapılan analizlerde metal malzeme için Solid187, yapıştırıcı malzeme için Surf154, metal malzeme ve yapıştırıcı malzeme temas yüzeyinde Conta174 ve Targe 170 elemanları kullanılarak ağ yapısı oluşturulmuştur.

Gerilme dağılımları açısından kritik olan yapıştırma işleminin gerçekleştirildiği bölge daha küçük elemanlara bölünerek daha hassas bir meshleme işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.19).



Şekil 2.19. Yapıştırma bölgeleri ve erkek modellerin meshlenmiş hali

Sonlu elemanlar analizinde yapıştırma bağlantılarını elemanlara ayırma işlemi çok önemlidir. Çalışmada bindirme mesafesi ve yapıştırıcı kalınlığının etkisi incelendiğinden, kullanılan eleman boyutlarının bu parametrelerden etkilenmemesi için tüm modellerde mümkün olduğunca aynı boyutlara sahip elemanlar kullanılmıştır. Non-lineer sonlu elemanlar analizlerinde, bulk numunelerinin tek eksenli çekme deneylerinden elde edilmiş olan gerilme-şekil değiştirme davranışları dikkate alınmıştır. Yapıştırıcı tabakası ve yapıştırılan malzemelerde oluşan eş değer gerilmelerin hesaplanması için denklem (2.5)'de verilen von-Mises akma kriteri kullanılmıştır.

$$\sigma_{eş} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - \sigma_x\sigma_y - \sigma_y\sigma_z - \sigma_z\sigma_x + 3(\sigma_{xy}^2 + \sigma_{yz}^2 + \sigma_{zx}^2)} \quad (2.5)$$

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1. Giriş

Yapılan çalışmada Şekil 2.2’de verilen ölçü ve geometrilerde erkek ve dişi numuneler St 60 imalat çeliğinden üretilmiş ve bu metal numuneler Tablo 2.1’de verilen parametrelere uygun olarak bindirme uzunluğu, yapıştırıcı kalınlığı ve yüzey pürüzlülük değerleri değiştirilerek Devcon A, Devcon Titanyum, Akfix E300 ve Erde GTR yapıştırıcıları kullanılarak birleştirilmiştir. Belirli bir süre kurumaya bırakılan yapıştırıcı bağlantı numunelerine, bulk numunelerine de uygulanan 1 mm/dk. çekme hızında çekme deneyi yapılmış ve deneyler sonucunda yapıştırma bağlantılarından gerekli sonuçlar alınmıştır.

Çalışmanın bu bölümünde yapılan deneyler sonucunda elde edilen veriler değerlendirilmiş daha sonra elde edilen bu verilerden yola çıkılarak yapılan nümerik çalışmaların sonuçları tartışılmış ve her iki sonuç birbiri ile karşılaştırılarak uygun yapıştırıcı tipi, yüzey pürüzlülüğü ve yapıştırıcı kalınlığı belirlenmeye çalışılmıştır.

3.2. DeneySEL Çalışmalardan Elde Edilen Sonuçlar

Çekme deneyleri yapılmadan önce numunelerin gerekli ölçüleri kaydedilerek, deney sırasında hasar mekanizmasını anlayabilmek için deney süresince numuneler gözlenmiş ve deney sonrasında da numune ölçüleri ve hasar kuvvetleri kaydedilmiştir. Yapılan deney sonucunda kaydedilen bu bilgilerden faydalanılarak yapıştırıcı birleştirmeli bağlantılarda meydana gelen ortalama kayma gerilmesi hesaplanmış, Tablo 3.1 ve Tablo 3.2’de verilmiştir.

Erde GTR adlı yapıştırıcı karışımının yoğun olması sebebiyle yapıştırılan parçaların kapalı formda olmasından dolayı birleştirme sırasında güçlükler yaşanmış ve bu yapıştırıcının karakterini belirlemek için sadece 3.00 µm yüzey pürüzlülüğüne sahip parçalar yapıştırılarak deney yapılmıştır. Uygulama zorluğundan dolayı bu yapıştırıcının geçmeli bağlantılardan çok bindirmeli bağlantılarda kullanılmasının uygun olduğu görülmüştür.

Tablo 3.1. Numunelerin deneysel olarak belirlenen hasar yükleri ve ortalama kayma gerilmeleri

Bindirme Uzunluğu (mm)	Yüzey Pürüzl. (μm)	Yapıştırıcı Kalınlığı (mm)	Yapıştırma Alanı mm ²	Yapıştırıcılar					
				Akfix E 300			Devcon A		
				Numune No	Hasar yükü (N)	τ _{ort} (MPa)	Numune No	Hasar yükü (N)	τ _{ort} (Mpa)
10	1.00	0.1	559.96	1	3338.07	5.96	28	2584.61	4.62
		0.3	567.64	2	2810.59	4.95	29	2347.43	4.14
		0.5	575	3	2282.72	3.97	30	1660.50	2.89
	3.00	0.1	559.96	4	3927.14	7.01	31	3005.36	5.37
		0.3	567.64	5	3386.25	5.97	32	2794.56	4.92
		0.5	575	6	2654.32	4.62	33	2000.60	3.48
	5.00	0.1	559.96	7	3730.78	6.66	34	2885.15	5.15
		0.3	567.64	8	3115.35	5.49	35	2654.83	4.68
		0.5	575	9	2548.15	4.43	36	1860.56	3.24
20	1.00	0.1	967.96	10	3540.94	3.66	37	2804.07	2.90
		0.3	991.64	11	3165.89	3.19	38	2831.96	2.86
		0.5	1015	12	3012.37	2.97	39	2289.84	2.26
	3.00	0.1	967.96	13	4426.17	4.57	40	3461.81	3.58
		0.3	991.64	14	3814.32	3.85	41	3218.14	3.25
		0.5	1015	15	3462.49	3.41	42	2862.30	2.82
	5.00	0.1	967.96	16	4160.60	4.30	43	3323.34	3.43
		0.3	991.64	17	3547.32	3.58	44	2960.69	2.99
		0.5	1015	18	3323.99	3.27	45	2690.56	2.65
30	1.00	0.1	1376	19	4622.79	3.36	46	3499.79	2.54
		0.3	1415.6	20	3389.99	2.39	47	2887.52	2.04
		0.5	1455	21	3128.29	2.15	48	2652.69	1.82
	3.00	0.1	1376	22	5253.17	3.82	49	4216.61	3.06
		0.3	1415.6	23	4134.13	2.92	50	3564.84	2.52
		0.5	1455	24	3910.36	2.69	51	3157.96	2.17
	5.00	0.1	1376	25	4937.98	3.59	52	4047.95	2.94
		0.3	1415.6	26	3762.06	2.66	53	3386.60	2.39
		0.5	1455	27	3519.32	2.42	54	2936.90	2.02

Tablo 3.2. Numunelerin deneysel olarak belirlenen hasar yükleri ve ortalama kayma gerilmeleri

Bindirme Uzunluğu (mm)	Yüzey Pürüzl. (μm)	Yapıştırıcı Kalınlığı (mm)	Yapıştırma Alanı mm^2	Yapıştırıcılar					
				Devcon Titanyum			Erde GTR		
				Numune No	Hasar yükü (N)	τ_{ort} (MPa)	Numune No	Hasar yükü (N)	τ_{ort} (Mpa)
10	1.00	0.1	559.96	55	2122.15	3.79			
		0.3	567.64	56	1726.83	3.04			
		0.5	575	57	1412.10	2.46			
	3.00	0.1	559.96	58	2526.37	4.51	G1	980.42	1.75
		0.3	567.64	59	2105.89	3.71	G2	900.68	1.59
		0.5	575	60	1765.12	3.07	G3	684.38	1.19
	5.00	0.1	559.96	61	2324.26	4.15			
		0.3	567.64	62	2042.71	3.60			
		0.5	575	63	1676.86	2.92			
20	1.00	0.1	967.96	64	2588.87	2.67			
		0.3	991.64	65	2322.12	2.34			
		0.5	1015	66	1974.81	1.95			
	3.00	0.1	967.96	67	3157.16	3.26	G4	1250.47	1.29
		0.3	991.64	68	2764.43	2.79	G5	1008.14	1.02
		0.5	1015	69	2350.96	2.32	G6	900.56	0.89
	5.00	0.1	967.96	70	3002.46	3.10			
		0.3	991.64	71	2487.99	2.51			
		0.5	1015	72	2280.43	2.25			
30	1.00	0.1	1376	73	3332.39	2.42			
		0.3	1415.6	74	2645.16	1.87			
		0.5	1455	75	2460.82	1.69			
	3.00	0.1	1376	76	3920.46	2.85	G7	1324.27	0.96
		0.3	1415.6	77	3005.86	2.12	G8	1142.23	0.81
		0.5	1455	78	2764.97	1.90	G9	1000.85	0.69
	5.00	0.1	1376	79	3802.85	2.76			
		0.3	1415.6	80	2825.51	2.00			
		0.5	1455	81	2543.77	1.75			

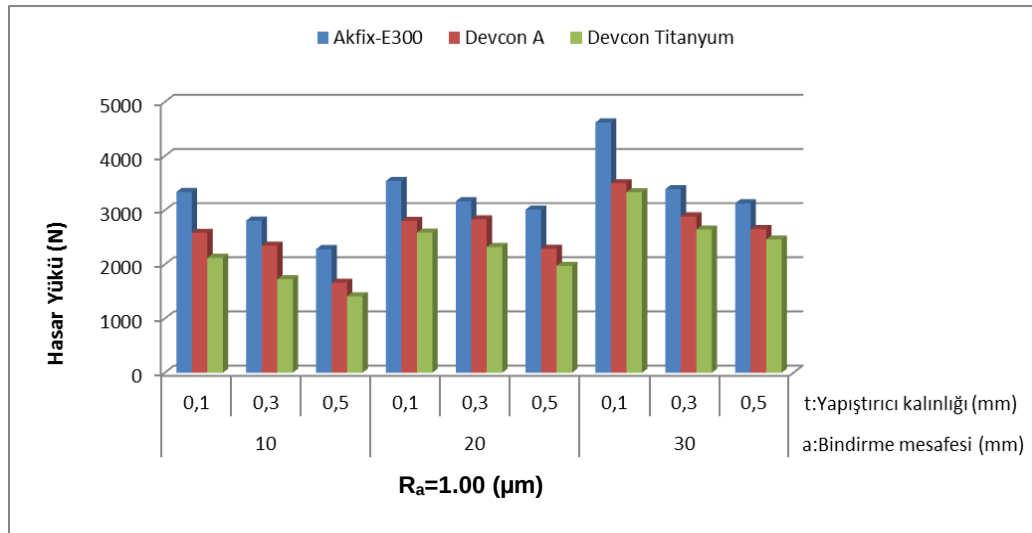
Yapıştırıcılar için deneysel olarak elde edilen hasar kuvvetlerinin değişimi, yüzey pürüzlülüğü, yapıştırıcı kalınlığı ve bindirme uzunluğu değişimine bağlı olarak aşağıdaki şekillerle ifade edilmiştir.

Şekil 3.1’de hasar yükünün $R_a=1.00 \mu\text{m}$ için bindirme uzunluğu ve yapıştırıcı kalınlığına bağlı olarak değişimi verilmiştir.

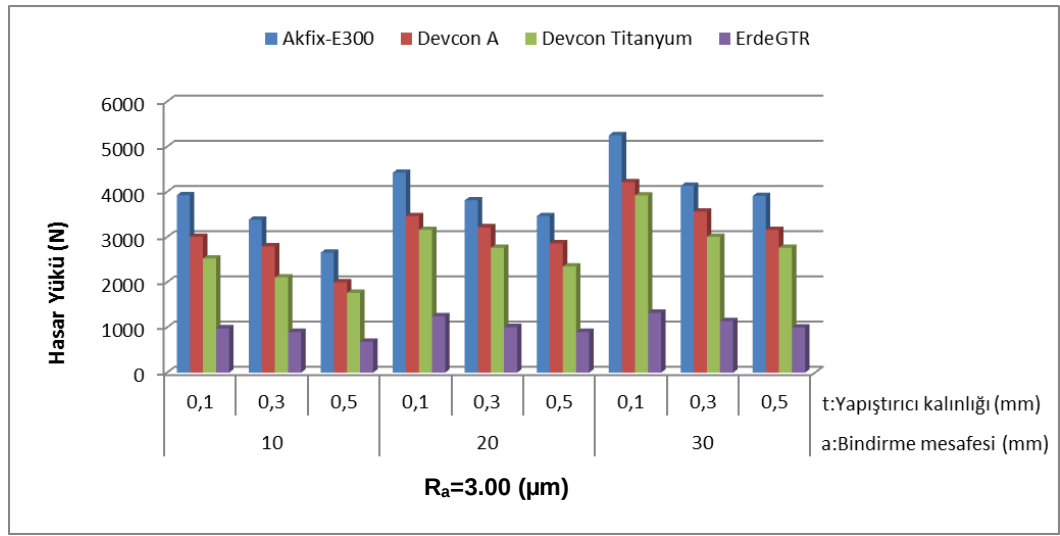
Şekil 3.2’de hasar yükünün $R_a=3.00 \mu\text{m}$ için bindirme uzunluğu ve yapıştırıcı kalınlığına bağlı olarak değişimi verilmiştir.

Şekil 3.3’de hasar yükünün $R_a=5.00 \mu\text{m}$ için bindirme uzunluğu ve yapıştırıcı kalınlığına bağlı olarak değişimi verilmiştir.

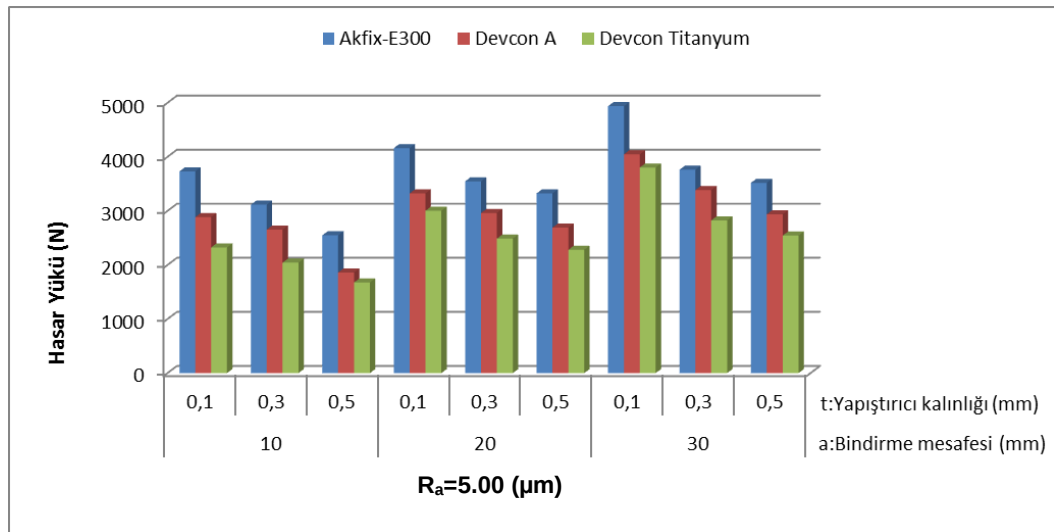
Şekil 3.1, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3’de tüm yapıştırıcılar için, bindirme uzunluğu arttıkça hasar yükünün arttığı, yapıştırıcı kalınlığı arttıkça hasar yükünün azaldığı; en yüksek hasar kuvvetlerinin 30 mm bindirme uzunluğu ve 0.1 mm yapıştırıcı kalınlıklarında Akfix E300 ile yapıştırılmış bağlantılarda elde edildiği görülmektedir.



Şekil 3.1. Hasar yükünün $R_a=1.00 \mu\text{m}$ için bindirme uzunluğu ve yapıştırıcı kalınlığına bağlı olarak değişimi



Şekil 3.2. Hasar yükünün $R_a=3.00 \mu m$ için bindirme uzunluğu ve yapıştırıcı kalınlığına bağlı olarak değişimi



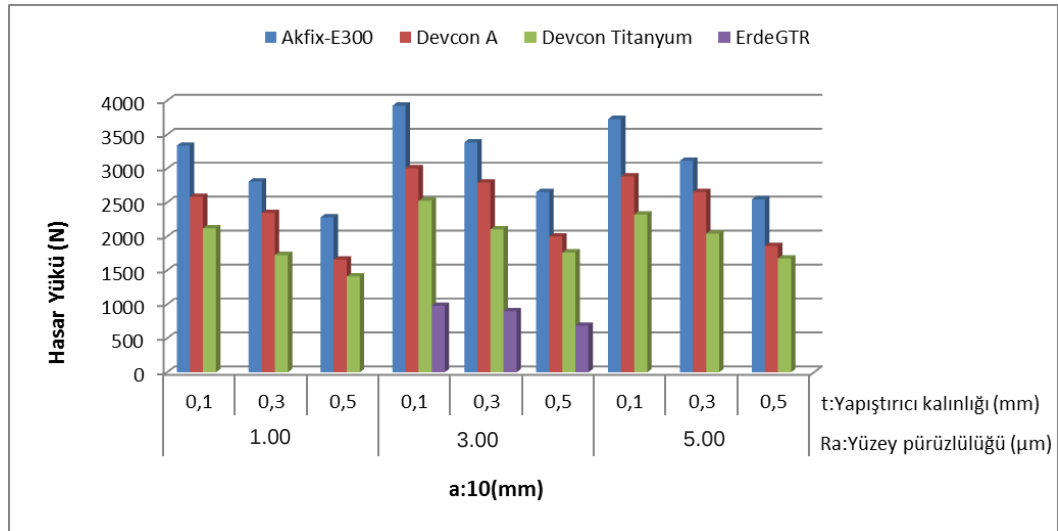
Şekil 3.3. Hasar yükünün $R_a=5.00 \mu m$ için bindirme uzunluğu ve yapıştırıcı kalınlığına bağlı olarak değişimi

Şekil 3.4’de hasar yükünün $a=10$ mm için yüzey pürüzlülüğü ve yapıştırıcı kalınlığına bağlı olarak değişimi verilmiştir.

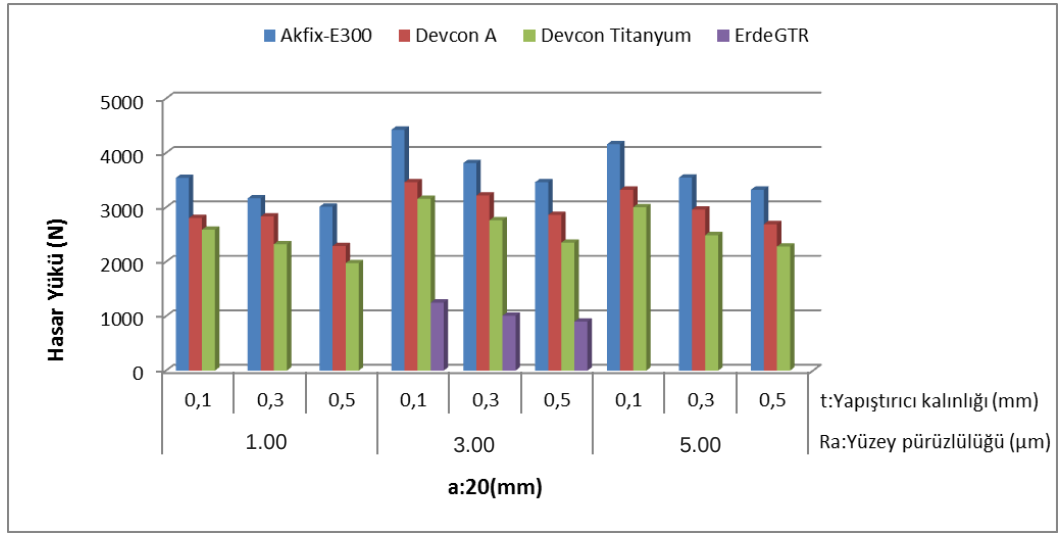
Şekil 3.5’de hasar yükünün $a=20$ mm için yüzey pürüzlülüğü ve yapıştırıcı kalınlığına bağlı olarak değişimi verilmiştir.

Şekil 3.6’da hasar yükünün $a=30$ mm için yüzey pürüzlülüğü ve yapıştırıcı kalınlığına bağlı olarak değişimi verilmiştir.

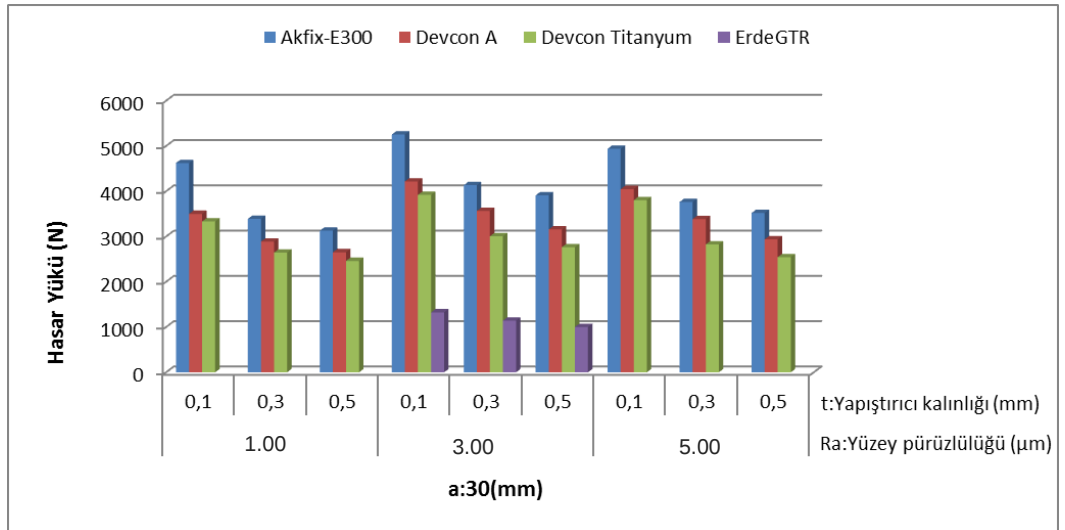
Şekil 3.4, Şekil 3.5 ve Şekil 3.6’da tüm yapıştırıcılar için, yüzey pürüzlülüğünün $1.00 \mu\text{m}$ ’den $3.00 \mu\text{m}$ ’ye çıkması durumunda hasar yüklerinin arttığı, yüzey pürüzlülüğünün $5.00 \mu\text{m}$ ’ye çıkması durumunda ise hasar yüklerinin $3.00 \mu\text{m}$ ’deki değerlere göre azaldığı görülmektedir. Yapıştırıcı kalınlığının artmasıyla hasar yüklerinin azaldığı, en yüksek hasar kuvvetlerinin $3.00 \mu\text{m}$ yüzey pürüzlülüğü ve 0.1 mm yapıştırıcı kalınlıklarında Akfix E300 ile yapıştırılmış bağlantılarda elde edildiği görülmektedir.



Şekil 3.4. Hasar yükünün $a=10$ mm için yüzey pürüzlülüğü ve yapıştırıcı kalınlığına bağlı olarak değişimi



Şekil 3.5. Hasar yükünün a=20 mm için yüzey pürüzlülüğü ve yapıştırıcı kalınlığına bağlı olarak değişimi



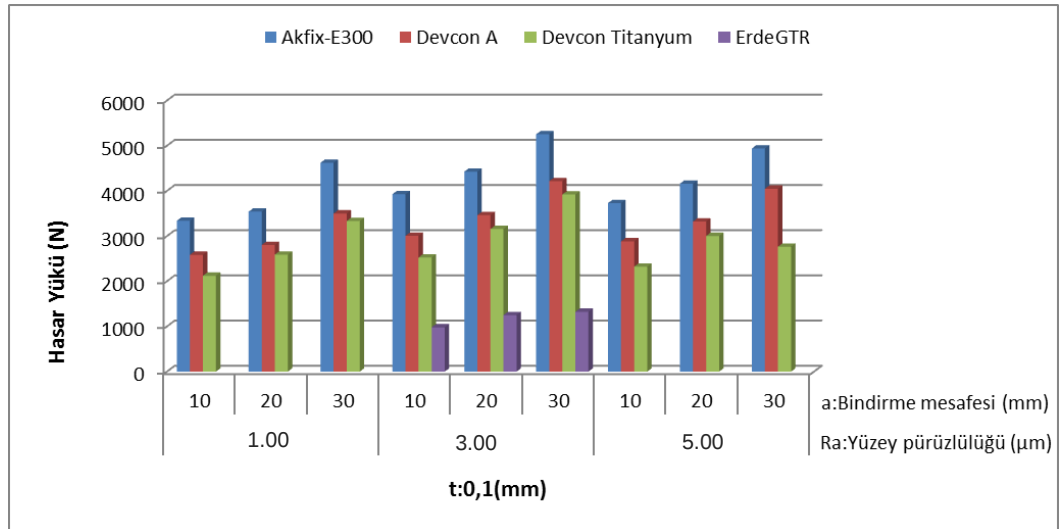
Şekil 3.6. Hasar yükünün a=30 mm için yüzey pürüzlülüğü ve yapıştırıcı kalınlığına bağlı olarak değişimi

Şekil 3.7’de hasar yükünün $t=0.1$ mm için yüzey pürüzlülüğü ve bindirme uzunluğuna bağlı olarak değişimi verilmiştir.

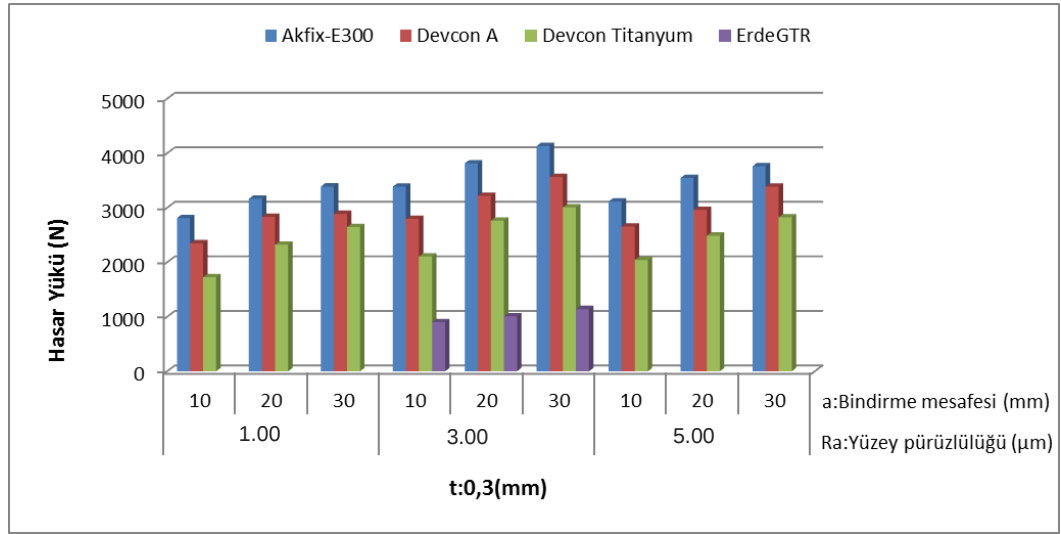
Şekil 3.8’de hasar yükünün $t=0.3$ mm için yüzey pürüzlülüğü ve bindirme uzunluğuna bağlı olarak değişimi verilmiştir.

Şekil 3.9’da hasar yükünün $t=0.5$ mm için yüzey pürüzlülüğü ve bindirme uzunluğuna bağlı olarak değişimi verilmiştir.

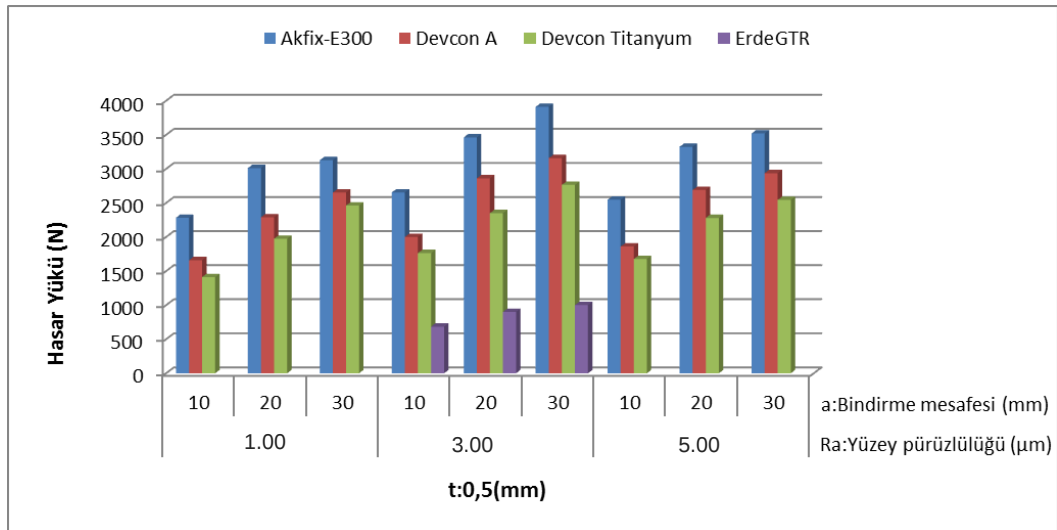
Şekil 3.7, Şekil 3.8 ve Şekil 3.9’da tüm yapıştırıcılar için, yüzey pürüzlülüğünün $1.00 \mu\text{m}$ ’den $3.00 \mu\text{m}$ ’ye çıkması durumunda hasar yüklerinin arttığı, yüzey pürüzlülüğünün $5.00 \mu\text{m}$ ’ye çıkması durumunda ise hasar yüklerinin $3.00 \mu\text{m}$ ’deki değerlere göre azaldığı görülmektedir. Bindirme uzunluğunun artmasıyla birlikte hasar yükleri de artış göstermektedir. En yüksek hasar kuvvetlerinin $3.00 \mu\text{m}$ yüzey pürüzlülüğü ve 30 mm bindirme uzunluğunda Akfix E300 ile yapıştırılmış bağlantılarda elde edildiği görülmektedir.



Şekil 3.7. Hasar yükünün $t=0.1$ mm için yüzey pürüzlülüğü ve bindirme uzunluğuna bağlı olarak değişimi



Şekil 3.8. Hasar yükünün $t=0.3$ mm için yüzey pürüzlülüğü ve bindirme uzunluğuna bağlı olarak değişimi



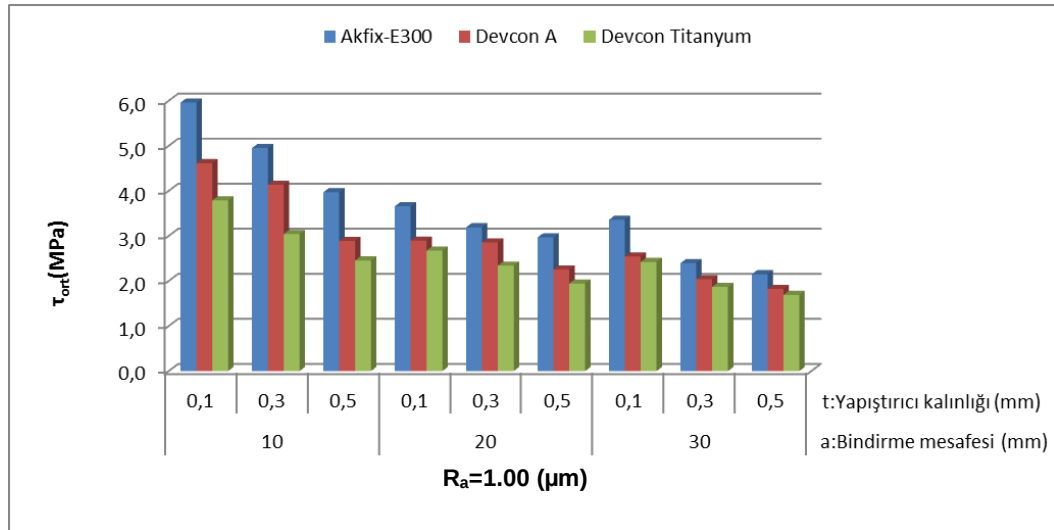
Şekil 3.9. Hasar yükünün $t=0.5$ mm için yüzey pürüzlülüğü ve bindirme uzunluğuna bağlı olarak değişimi

Şekil 3.10’da kayma dayanımının $R_a=1.00 \mu\text{m}$ için bindirme uzunluğu ve yapıştırıcı kalınlığına bağlı olarak değişimi verilmiştir.

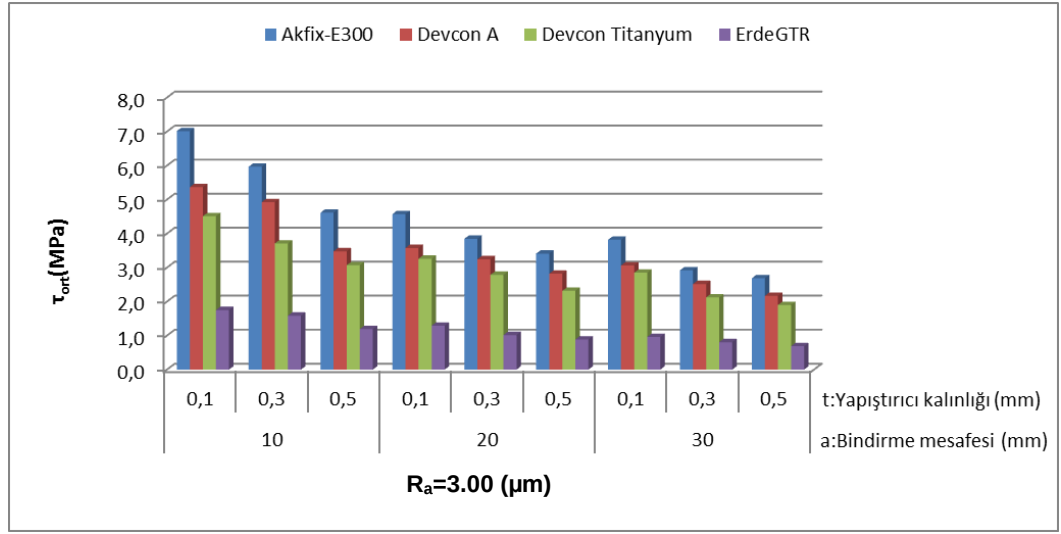
Şekil 3.11’de kayma dayanımının $R_a=3.00 \mu\text{m}$ için bindirme uzunluğu ve yapıştırıcı kalınlığına bağlı olarak değişimi verilmiştir.

Şekil 3.12’de kayma dayanımının $R_a=5.00 \mu\text{m}$ için bindirme uzunluğu ve yapıştırıcı kalınlığına bağlı olarak değişimi verilmiştir.

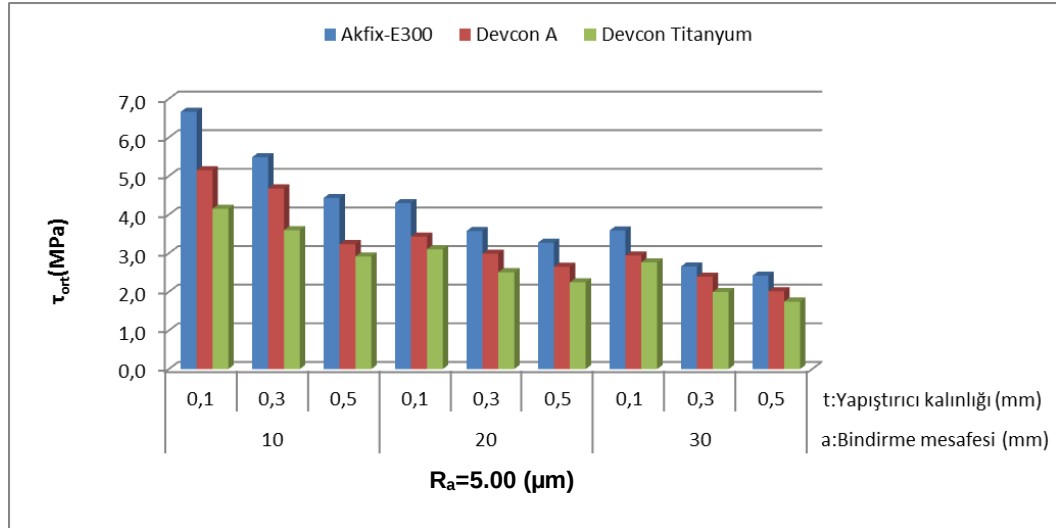
Şekil 3.10, Şekil 3.11 ve Şekil 3.12’de tüm yapıştırıcılar için bindirme uzunluğu ve yapıştırıcı kalınlığı arttıkça kayma dayanımı azalmıştır. En yüksek kayma dayanımı 10 mm bindirme uzunluğu ve 0.1 mm yapıştırıcı kalınlığında Akfix E300 ile yapıştırılmış bağlantılarda elde edilmiştir.



Şekil 3.10. Kayma dayanımının $R_a=1.00 \mu\text{m}$ için bindirme uzunluğu ve yapıştırıcı kalınlığına bağlı olarak değişimi



Şekil 3.11. Kayma dayanımının $R_a=3.00 \mu m$ için bindirme uzunluğu ve yapıştırıcı kalınlığına bağlı olarak değişimi



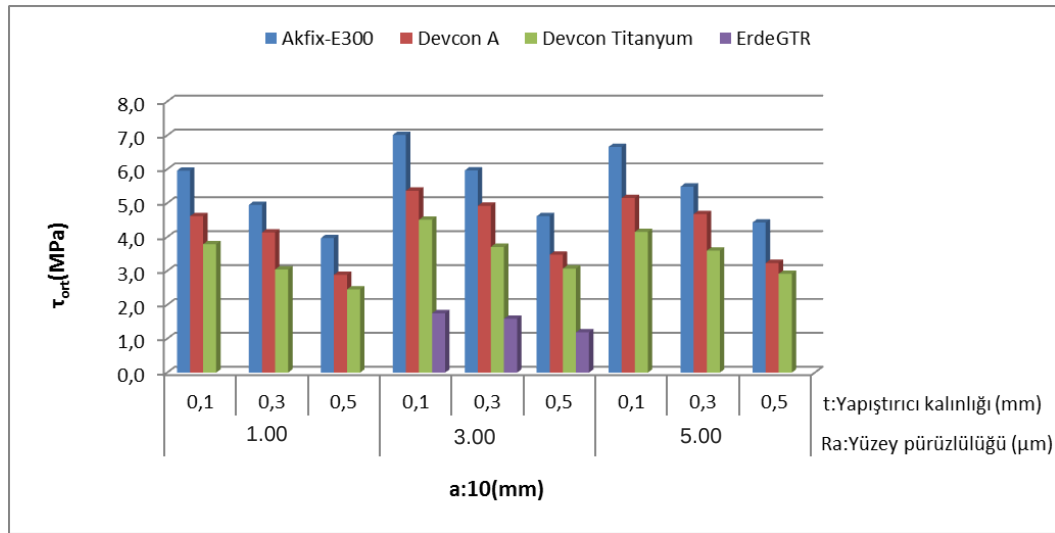
Şekil 3.12. Kayma dayanımının $R_a=5.00 \mu m$ için bindirme uzunluğu ve yapıştırıcı kalınlığına bağlı olarak değişimi

Şekil 3.13’de kayma dayanımının $a=10$ mm için yüzey pürüzlülüğü ve yapıştırıcı kalınlığına bağlı olarak değişimi verilmiştir.

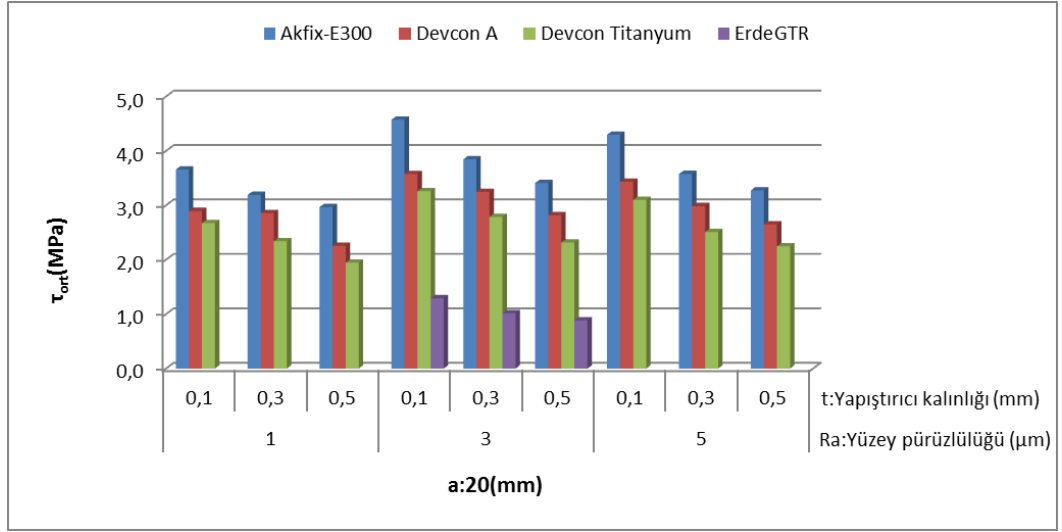
Şekil 3.14’de kayma dayanımının $a=20$ mm için yüzey pürüzlülüğü ve yapıştırıcı kalınlığına bağlı olarak değişimi verilmiştir.

Şekil 3.15’de kayma dayanımının $a=30$ mm için yüzey pürüzlülüğü ve yapıştırıcı kalınlığına bağlı olarak değişimi verilmiştir.

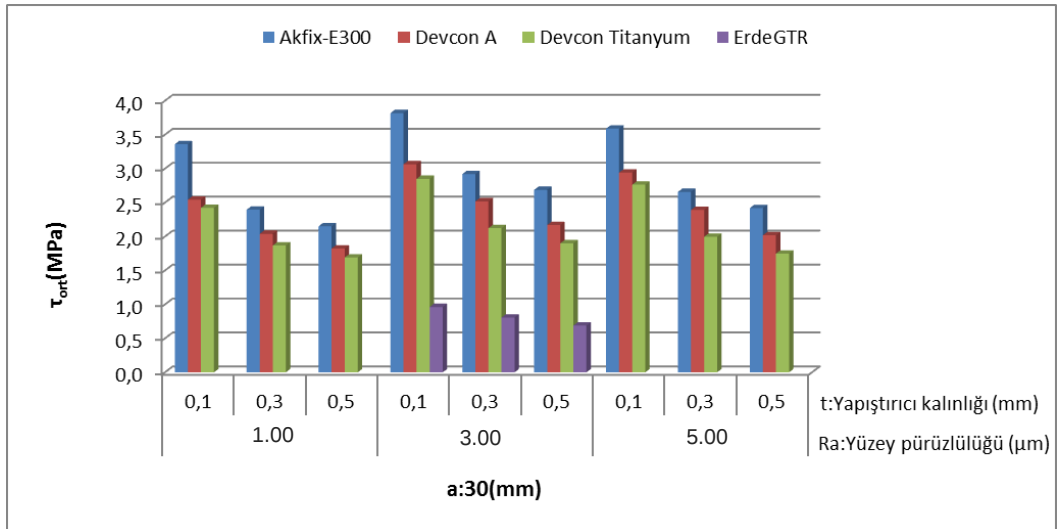
Şekil 3.13, Şekil 3.14 ve Şekil 3.15’de tüm yapıştırıcılar için, yüzey pürüzlülüğünün $1.00 \mu\text{m}$ ’den $3.00 \mu\text{m}$ ’ye çıkması durumunda kayma dayanımının arttığı, yüzey pürüzlülüğünün $5.00 \mu\text{m}$ ’ye çıkması durumunda ise kayma dayanımının $3.00 \mu\text{m}$ ’deki değerlere göre azaldığı görülmektedir. En yüksek kayma dayanımı $3.00 \mu\text{m}$ yüzey pürüzlülüğü ve 0.1 mm yapıştırıcı kalınlığında Akfix E300 ile yapıştırılmış bağlantılarda elde edilmiştir.



Şekil 3.13. Kayma dayanımının $a=10$ mm için yüzey pürüzlülüğü ve yapıştırıcı kalınlığına bağlı olarak değişimi



Şekil 3.14. Kayma dayanımının $a=20$ mm için yüzey pürüzlülüğü ve yapıştırıcı kalınlığına bağlı olarak değişimi



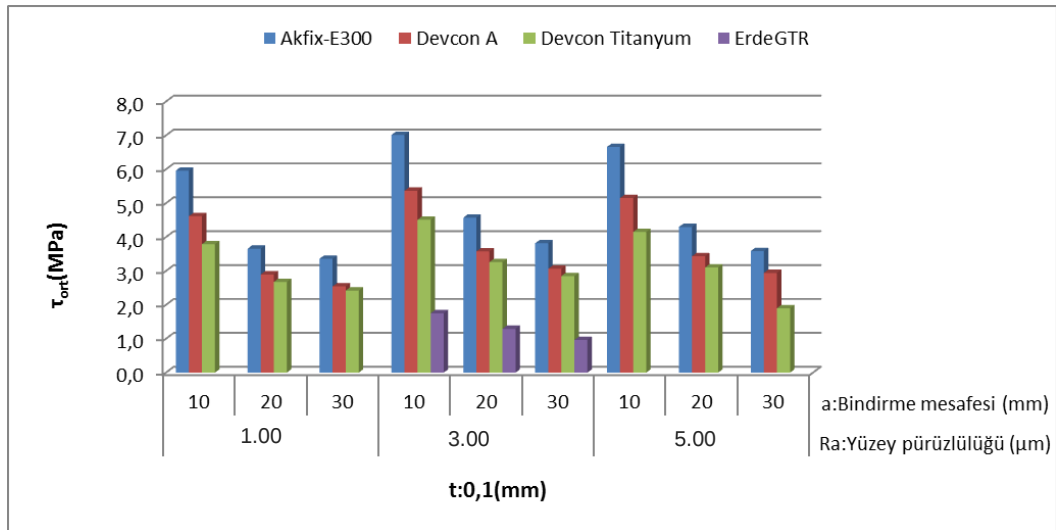
Şekil 3.15. Kayma dayanımının $a=30$ mm için yüzey pürüzlülüğü ve yapıştırıcı kalınlığına bağlı olarak değişimi

Şekil 3.16’da kayma dayanımının $t=0.1$ mm için yüzey pürüzlülüğü ve bindirme uzunluğuna bağlı olarak değişimi verilmiştir.

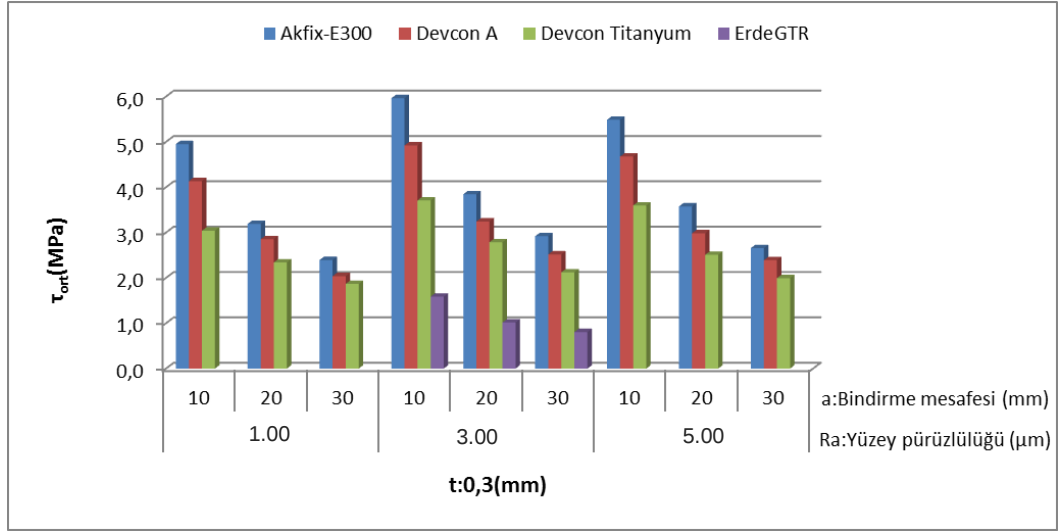
Şekil 3.17’de kayma dayanımının $t=0.3$ mm için yüzey pürüzlülüğü ve bindirme uzunluğuna bağlı olarak değişimi verilmiştir.

Şekil 3.18’de kayma dayanımının $t=0.5$ mm için yüzey pürüzlülüğü ve bindirme uzunluğuna bağlı olarak değişimi verilmiştir.

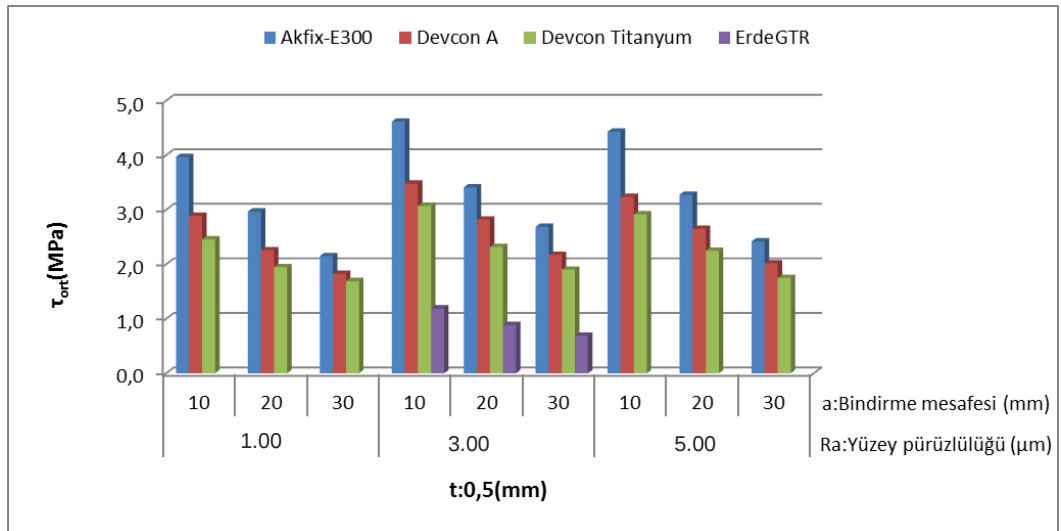
Şekil 3.16, Şekil 3.17 ve Şekil 3.18’de tüm yapıştırıcılar için, yüzey pürüzlülüğünün $1.00\ \mu\text{m}$ ’den $3.00\ \mu\text{m}$ ’ye çıkması durumunda kayma dayanımlarının arttığı, yüzey pürüzlülüğünün $5.00\ \mu\text{m}$ ’ye çıkması durumunda ise kayma dayanımlarının $3.00\ \mu\text{m}$ ’deki değerlere göre azaldığı görülmektedir. Bindirme uzunluğunun artmasıyla birlikte kayma dayanımları azalmıştır. En yüksek kayma dayanımları $3.00\ \mu\text{m}$ yüzey pürüzlülüğü ve 10 mm bindirme uzunluğunda Akfix E300 ile yapıştırılmış bağlantılarda elde edilmiştir.



Şekil 3.16. Kayma dayanımının $t=0.1$ mm için yüzey pürüzlülüğü ve bindirme uzunluğuna bağlı olarak değişimi

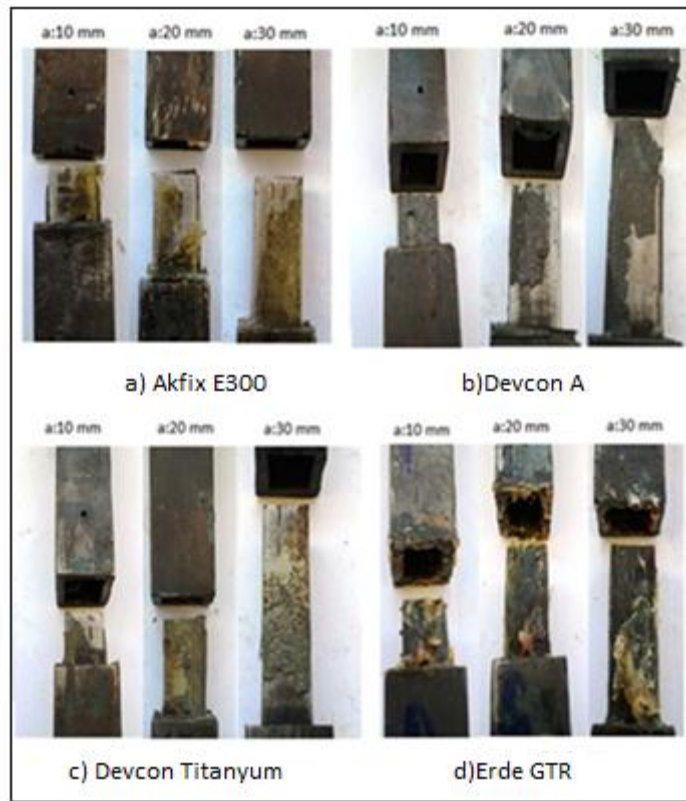


Şekil 3.17. Kayma dayanımının $t=0.3$ mm için yüzey pürüzlülüğü ve bindirme uzunluğuna bağlı olarak değişimi



Şekil 3.18. Kayma dayanımının $t=0.5$ mm için yüzey pürüzlülüğü ve bindirme uzunluğuna bağlı olarak değişimi

Şekil 3.19’da çekme deneyleri sonucunda bindirme mesafelerine göre yapıştırıcı bağlantılardan elde edilen yüzey görüntülerinden bazıları verilmiştir. Tüm bindirme mesafeleri için soyulma etkisi oluşmuştur. Şekil 3.19 incelendiğinde yapıştırıcı bağlantılarında kohezyon (KH) ve adhezyon hasarının (AH) oluştuğu görülmektedir. Yapıştırıcıların tamamında yüzeyden soyulma (AH) ya da kopma şeklinde hasarlar oluşmuştur.



Şekil 3.19. Deney numunelerinin çekme deneyi sonucunda oluşan yüzey görüntüleri

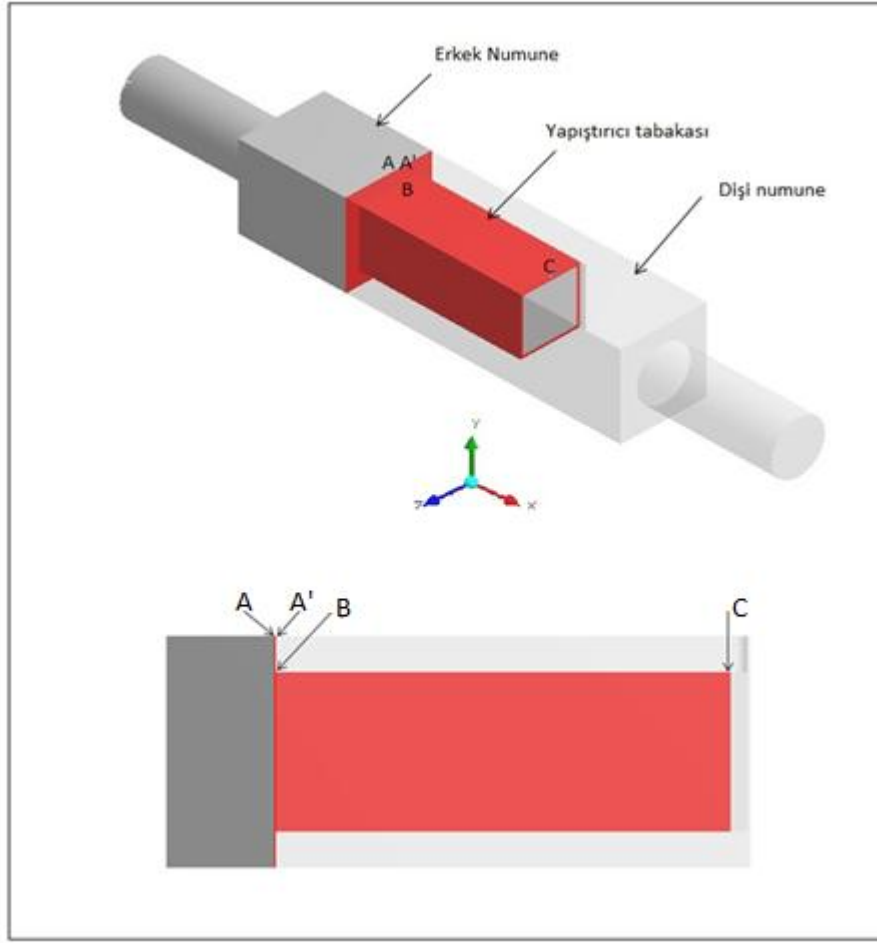
3.3. Sayısal Çalışma (Sonlu Elemanlar Analizi)

Çalışmamızda dört farklı yapıştırıcı kullanılarak birleştirilmiş prizmatik geçmeli bağlantılarda, yapıştırıcılar ve yapıştırılan malzemelerin gerilme-şekil değiştirme davranışları dikkate alınarak, farklı yapıştırıcı kalınlığı ve farklı bindirme mesafeleri için lineer elastik ve elasto-plastik sonlu elemanlar analizi yapılmıştır. Sonlu elemanlar analizlerinde hasar yükü belirlenirken, yapıştırıcıların aşağıda verilen çekme dayanımları dikkate alınmış ve grafiklerde σ^* olarak ifade edilmiştir.

$$\sigma_{Akfix} = 34.1Mpa \quad \sigma_{EGTR} = 7.9Mpa \quad \sigma_{DevconA} = 26.5Mpa \quad \sigma_{DevconT} = 22.1Mpa$$

Yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantılara yük uygulandığında yapıştırıcı tabakasında üç eksenli gerilme durumu söz konusu olmaktadır. Bu sebeple eş değer gerilmeler ($\sigma_{eş}$), von-Mises akma kriterine göre hesaplanmış ve bu eş değer gerilmeler yapıştırıcı tabakanın her hangi bir noktasında yapıştırıcının çekme dayanımına ulaştığında hasarın meydana geldiği kabul edilmiştir.

Yapıştırıcı ile birleştirilmiş prizmatik geçmeli bağlantılarda kritik bölge yapıştırıcı ve yapıştırılan malzemenin ara yüzeyleridir. Bu sebeple, yapıştırıcı tabakasındaki gerilme analizlerinde Şekil 3.20.'de gösterilen A-C hattı dikkate alınmıştır. Yapıştırıcı tabakasında oluşan gerilme dağılımlarını karşılaştırmak amacıyla, A-C hattı boyunca yapıştırıcı tabakası üzerinden alınan gerilme dağılımları her bir yapıştırıcının kendi bulk numunesinin tek eksenli çekilmesi sonucu elde edilen çekme dayanımına (σ_{Akfix} , $\sigma_{DevconA}$, $\sigma_{DevconT}$, σ_{EGTR}) bölünerek normalleştirilmiştir. Aynı şekilde farklı bindirme uzunluklarında oluşan gerilme dağılımlarını karşılaştırmak için gerilme dağılımı hesaplanan noktanın yatay eksenindeki koordinat değeri (x), kendi bindirme uzunluğuna (a) bölünerek normalleştirme yapılmıştır.



Şekil 3.20. Prizmatik geçmeli bağlantı kritik bölge (A-C hattı)

Şekil 2.4'deki ölçülere göre hazırlanmış bulk numunelerin deneylerinden elde edilen maksimum gerilmeler ile sonlu elemanlar analizi ile bulunan yapıştırıcı ara yüzeyindeki maksimum von-Mises gerilmeleri Tablo 3.3 de karşılaştırılmıştır. Tablo 3.3 deki gerilme oranlarına dikkat edildiğinde yaklaşım oranının tüm numuneler için yaklaşık 1 olduğu görülmektedir. Sayısal analiz sonuçları ile deneysel sonuçların çok yakın çıkması gerilme dağılımı olarak sayısal sonuçlardan elde edilen verilerden oluşturulacak grafiklerin kullanılabileceğini göstermektedir. Tablo 3.4 de Ansys de belirlenen sayısal hasar yükleri ve deneysel hasar yükleri karşılaştırılarak yaklaşım oranları belirlenmiştir. Genellikle 1'e yakın değerlerin elde edilmesi nedeniyle deneysel sonuçlar ile sayısal sonuçların uyum içerisinde olduğu sonucuna varılmıştır.

Tablo 3.3. Yapıştırıcı ara yüzeyinde oluşan gerilmelerin deneysel sonuçlar ile karşılaştırılması

Yapıştırıcı	Bindirme Uzunluğu (mm)	Yapıştırıcı Kalınlığı (mm)	Num. No	Deney Yapıştırma alanı (mm ²)	Deneysel Max gerilme (Mpa)	Ansysis (σ_{eqv}) (MPa)	Yaklaşım Oranı (Den.Ger/ Ansysis σ_{eqv})
Akfix	10	0.1	4	559.96	34.1	34.13	0.9991
		0.3	5	567.64	34.1	34.13	0.9991
		0.5	6	575	34.1	34.13	0.9991
	20	0.1	13	967.96	34.1	34.13	0.9991
		0.3	14	991.64	34.1	34.14	0.9988
		0.5	15	1015	34.1	34.13	0.9991
	30	0.1	22	1375.96	34.1	34.12	0.9994
		0.3	23	1415.64	34.1	34.12	0.9994
		0.5	24	1455	34.1	34.14	0.9988
Devcon A	10	0.1	31	559.96	26.5	26.53	0.9989
		0.3	32	567.64	26.5	26.55	0.9981
		0.5	33	575	26.5	26.54	0.9985
	20	0.1	40	967.96	26.5	26.54	0.9985
		0.3	41	991.64	26.5	26.54	0.9985
		0.5	42	1015	26.5	26.54	0.9985
	30	0.1	49	1375.96	26.5	26.54	0.9985
		0.3	50	1415.64	26.5	26.53	0.9989
		0.5	51	1455	26.5	26.54	0.9985
DevconT	10	0.1	58	559.96	22.1	22.12	0.9991
		0.3	59	567.64	22.1	22.12	0.9991
		0.5	60	575	22.1	22.11	0.9995
	20	0.1	67	967.96	22.1	22.12	0.9991
		0.3	68	991.64	22.1	22.11	0.9995
		0.5	69	1015	22.1	22.13	0.9986
	30	0.1	76	1375.96	22.1	22.12	0.9991
		0.3	77	1415.64	22.1	22.11	0.9995
		0.5	78	1455	22.1	22.13	0.9986
Erde GTR	10	0.1	G1	559.96	7.9	7.91	0.9987
		0.3	G2	567.64	7.9	7.91	0.9987
		0.5	G3	575	7.9	7.91	0.9987
	20	0.1	G4	967.96	7.9	7.91	0.9987
		0.3	G5	991.64	7.9	7.91	0.9987
		0.5	G6	1015	7.9	7.91	0.9987
	30	0.1	G7	1375.96	7.9	7.91	0.9987
		0.3	G8	1415.64	7.9	7.91	0.9987
		0.5	G9	1455	7.9	7.91	0.9987

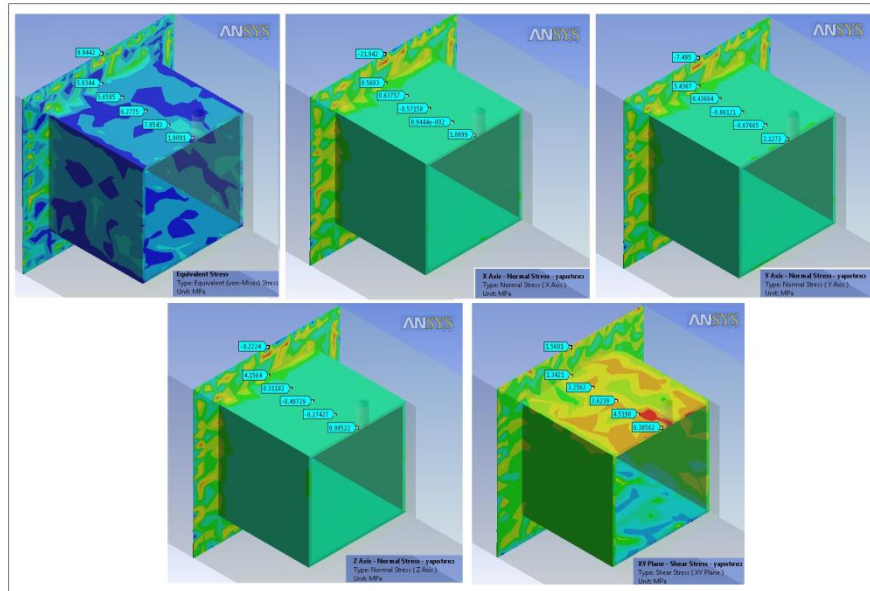
Tablo 3.4. Yapıştırıcı ara yüzeyinde oluşan hasar yüklerinin deneysel sonuçlar ile karşılaştırılması

Yapıştırıcı	Bindirme Uzunluğu (mm)	Yapıştırıcı Kalınlığı (mm)	Num. No	Deneysel Yapıştırma alanı (mm ²)	Deneysel Hasar Yükü (N)	Ansys Hasar Yükü (N)	Yaklaşım Oranı (Deneysel H.Y. / Ansys H.Y.)
Akfix	10	0.1	4	559.96	3927.14	3926.50	1.000
		0.3	5	567.64	3386.25	3467.10	0.977
		0.5	6	575	2654.32	2732.84	0.971
	20	0.1	13	967.96	4426.17	4825.67	0.917
		0.3	14	991.64	3814.32	4279.89	0.891
		0.5	15	1015	3462.49	3747.45	0.924
	30	0.1	22	1375.96	5253.17	5716.98	0.919
		0.3	23	1415.64	4134.13	4641.12	0.891
		0.5	24	1455	3910.36	4444.80	0.880
Devcon A	10	0.1	31	559.96	3005.36	3196.17	0.940
		0.3	32	567.64	2794.56	2949.59	0.947
		0.5	33	575	2000.60	2316.64	0.864
	20	0.1	40	967.96	3461.81	3869.17	0.895
		0.3	41	991.64	3218.14	3610.02	0.891
		0.5	42	1015	2862.30	3130.99	0.914
	30	0.1	49	1375.96	4216.61	4680.39	0.901
		0.3	50	1415.64	3564.84	3814.99	0.934
		0.5	51	1455	3157.96	3620.23	0.872
DevconT	10	0.1	58	559.96	2526.37	2764.26	0.914
		0.3	59	567.64	2105.89	2409.30	0.874
		0.5	60	575	1765.12	1888.65	0.935
	20	0.1	67	967.96	3157.16	3463.17	0.912
		0.3	68	991.64	2764.43	2951.16	0.937
		0.5	69	1015	2350.96	2550.65	0.922
	30	0.1	76	1375.96	3920.46	4205.28	0.932
		0.3	77	1415.64	3005.86	3293.55	0.913
		0.5	78	1455	2764.97	2885.98	0.958
Erde GTR	10	0.1	G1	559.96	980.42	1056.23	0.928
		0.3	G2	567.64	900.68	927.44	0.971
		0.5	G3	575	684.38	724.05	0.945
	20	0.1	G4	967.96	1250.47	1335.01	0.937
		0.3	G5	991.64	1008.14	1120.62	0.900
		0.5	G6	1015	900.56	960.42	0.938
	30	0.1	G7	1375.96	1324.27	1470.87	0.900
		0.3	G8	1415.64	1142.23	1262.76	0.905
		0.5	G9	1455	1000.85	1172.45	0.854

3.4. Sonlu Eleman Analizlerinden Elde Edilen Sonuçlar

Sonlu elemanlar yöntemi ile analiz yapmak için deneylerde kullanılan numunelerle aynı ölçülerde (farklı bindirme uzunluğu ve farklı yapıştırıcı kalınlıklarında) Pro-Engineer programında üç boyutlu katı modeller oluşturularak montajları gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan montaj dosyaları Ansys Workbench'e aktarılarak gerekli malzeme özellikleri, sınır koşulları ve hasar yükleri girilerek analiz gerçekleştirilmiştir.

Hasar yükünün belirlenmesi için yapıştırıcı tabakasının herhangi bir bölgesinde oluşan eşdeğer gerilme değerinin, yapıştırıcının kendi bulk numunesinin çekme mukavemeti değerine ulaşmaya kadar uygulanan yük kademeli olarak artırılmış ve bu değere ulaşıldıktan sonra yapıştırıcının hasara uğradığı kabul edilerek çözüm sonlandırılmıştır. Bu işlemler dört farklı yapıştırıcı için üç farklı bindirme uzunluğu ve üç farklı yapıştırıcı kalınlığında tekrarlanarak Şekil 3.20'de gösterilen A-C hattında oluşan gerilme değerleri Şekil 3.21'de ki gibi alınarak excelde tablolara aktarılmış ve grafikleri çizilmiştir.



Şekil 3.21. Ansys analizleri sonucu yapıştırıcı tabakasında oluşan gerilmeler (σ_{eq} , σ_x , σ_y , σ_z , τ_{xy})

3.4.1. Bindirme Uzunluğunun Bağlantı Dayanımı Üzerine Etkisi

Bu bölümde yapıştırıcı kalınlıkları sabit tutulup ($t=0.1-0.3$ ve 0.5 mm) her yapıştırıcı kalınlığında $a=10, 20$ ve 30 mm bindirme uzunluğu için elde edilen gerilme grafikleri verilmiştir.

Şekil 3.22 Akfix E300, Devcon A, Devcon Titanyum ve Erde GTR kullanılarak $a=10$ mm bindirme uzunluğu ve sabit $t=0.1$ mm yapıştırıcı kalınlığında prizmatik geçmeli bağlantıda A-C hattı boyunca oluşan gerilme dağılımlarını göstermektedir.

Şekil 3.22.a, dört yapıştırıcı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan eşdeğer gerilme dağılımını göstermektedir. Eşdeğer gerilme dağılımı tüm yapıştırıcılar için $0 \leq x/a \leq 0.01$ aralığında (A-A') azalma eğilimi göstermiş, $0.01 \leq x/a \leq 0.25$ aralığında artış eğilimi göstererek $x/a = 0.25$ 'de maksimum değere ulaşmıştır. Akfix E300 dışındaki yapıştırıcılar için eşdeğer gerilme dağılımında $0.25 \leq x/a \leq 0.50$ aralığında azalma ve $0.50 \leq x/a \leq 1$ aralığında ise tekrar artış eğilimi görülmüştür. Akfix E300 için $0.25 \leq x/a \leq 0.75$ aralığında azalma ve $0.75 \leq x/a \leq 1$ aralığında ise tekrar artış eğilimi görülmüştür. Eşdeğer gerilme oranı 0.38 değeri ile en yüksek Erde GTR'ye ait iken en düşük 0.21 ile Akfix E300'e aittir. Gerilme oranları arasında 1.80 katlık bir fark ortaya çıkmaktadır. Tablo 2.8'den görüldüğü gibi Erde GTR'nin çekme mukavemeti diğer yapıştırıcılara göre oldukça düşüktür. Akfix E300'ün çekme mukavemeti Erde GTR'nin çekme mukavemetinden 4.31 kat daha büyüktür ancak kullanılan yapıştırıcılar içinde tek non-lineer özellik gösteren Erde GTR'nin şekil değiştirme kabiliyeti diğer yapıştırıcılara göre oldukça yüksektir.

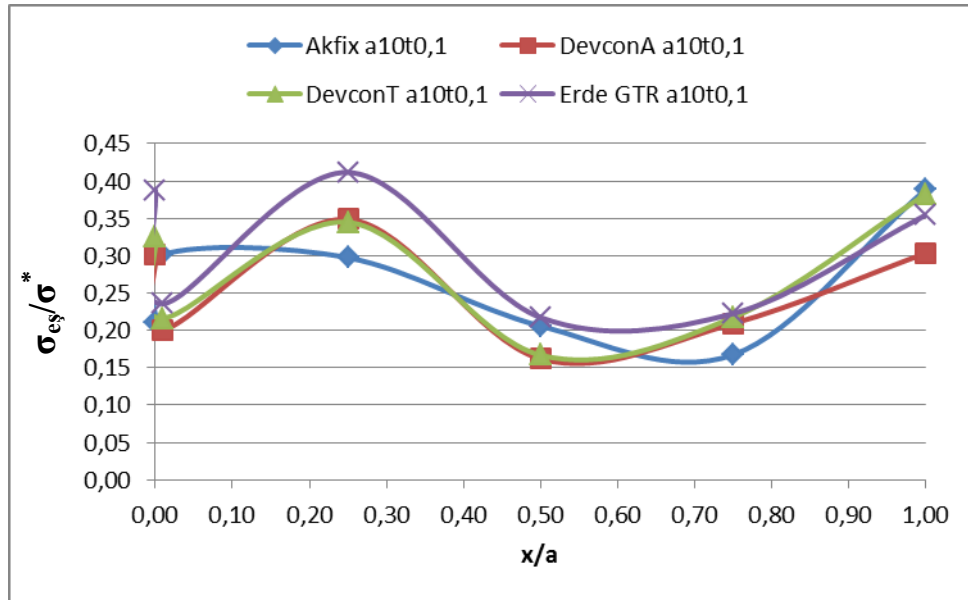
Şekil 3.22.b, dört yapıştırıcı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan normal gerilme dağılımını göstermektedir. Normal gerilme dağılımı tüm yapıştırıcılarda $x/a = 0$ 'da yani bindirmenin uç kısmında (A-A') maksimum değere ulaşmıştır. $0 \leq x/a \leq 0.25$ aralığında normal gerilme dağılımı azalma eğilimi gösterirken $0.25 \leq x/a \leq 1$ aralığında x eksenine paralel bir yapı göstermiştir. Normal gerilme oranı 0.58 değeri ile en yüksek Erde GTR'ye ait iken en düşük 0.39 ile Devcon A'ya aittir. Gerilme oranları arasında 1.48 katlık bir fark ortaya çıkmaktadır.

Şekil 3.22.c, dört yapıştırıcı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan soyulma gerilme dağılımını göstermektedir. Soyulma gerilme dağılımı tüm yapıştırıcılarda

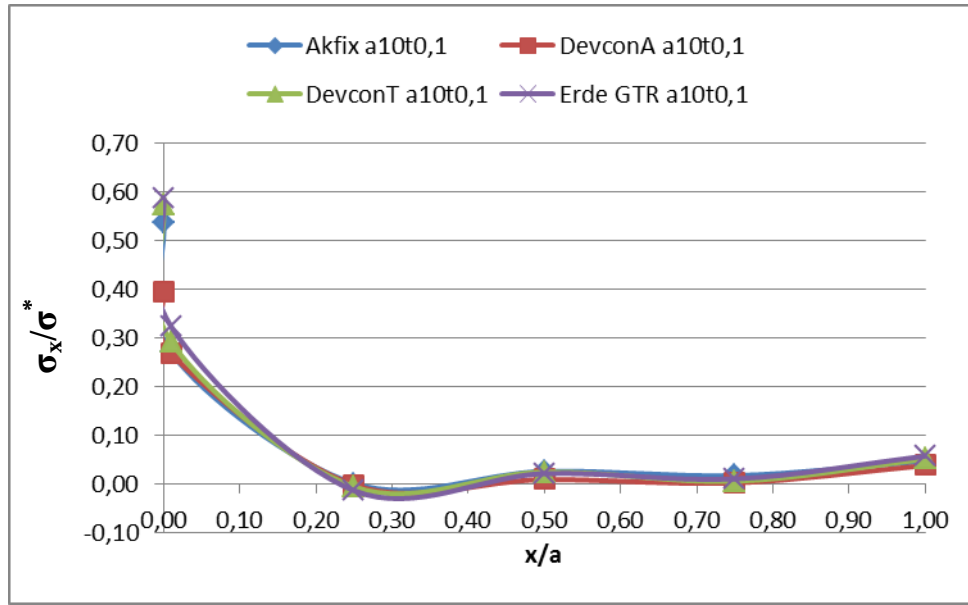
$x/a = 0$ 'da yani bindirmenin uç kısmında (A-A') maksimum değere ulaşmıştır. $0 \leq x/a \leq 0.25$ aralığında soyulma gerilme dağılımı azalma eğilimi gösterirken $0.25 \leq x/a \leq 1$ aralığında x eksenine paralel bir yapı göstermiştir. Soyulma gerilme oranı 0.34 değeri ile en yüksek Erde GTR'ye ait iken en düşük 0.23 ile Akfix E300'e aittir. Gerilme oranları arasında 1.47 katlık bir fark ortaya çıkmaktadır.

Şekil 3.22.d, dört yapıştırıcı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan z -ekseni yönündeki gerilme dağılımını göstermektedir. Gerilme dağılımı olarak Şekil 3.22.c'deki aynı özelliği göstermektedir.

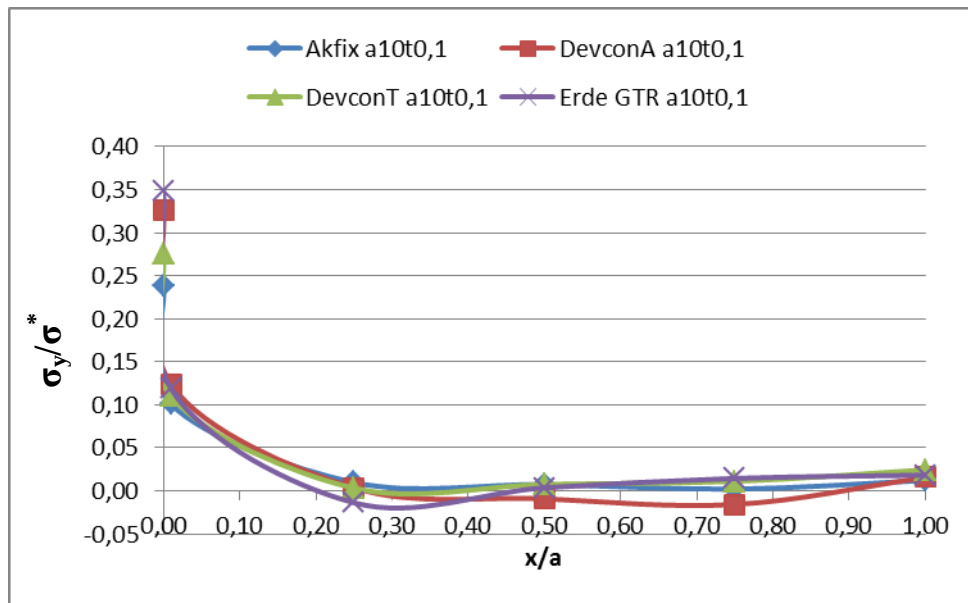
Şekil 3.22.e, dört yapıştırıcı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan kayma gerilmesi dağılımını göstermektedir. Kayma gerilmesi dağılımı tüm yapıştırıcılarda $x/a = 0$ 'da minimum değer almış $0.01 \leq x/a \leq 0.25$ aralığında artış eğilimi göstererek $x/a = 0.25$ 'de maksimum değere ulaşmıştır. $0.25 \leq x/a \leq 0.50$ aralığında azalma ve $0.50 \leq x/a \leq 1$ aralığında ise tekrar artış eğilimi göstermiştir. Kayma gerilme oranı 0.24 değeri ile en yüksek Erde GTR'ye ait iken en düşük 0.19 ile Akfix E300'e aittir. Gerilme oranları arasında 1.26 katlık bir fark ortaya çıkmaktadır.



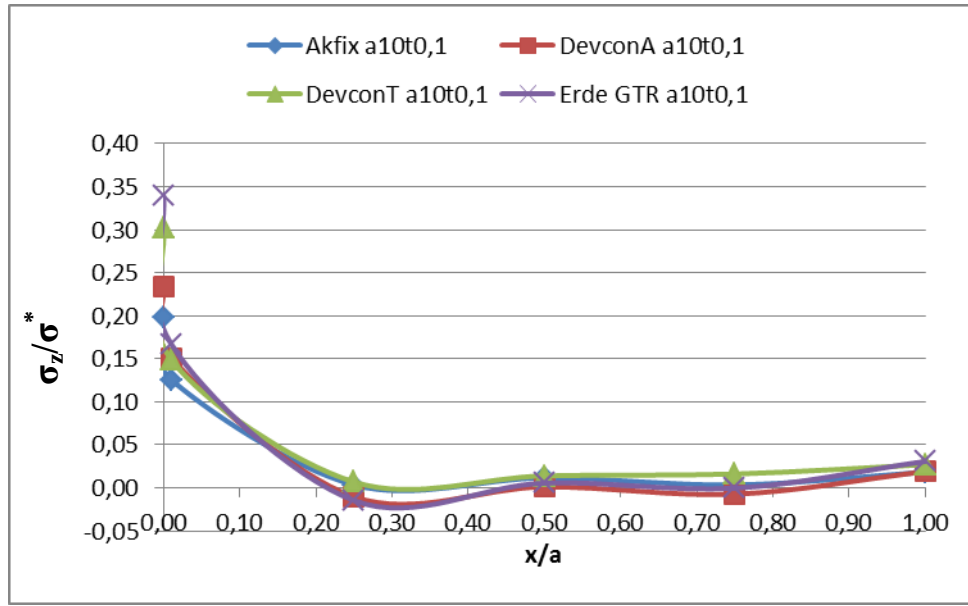
Şekil 3.22.a



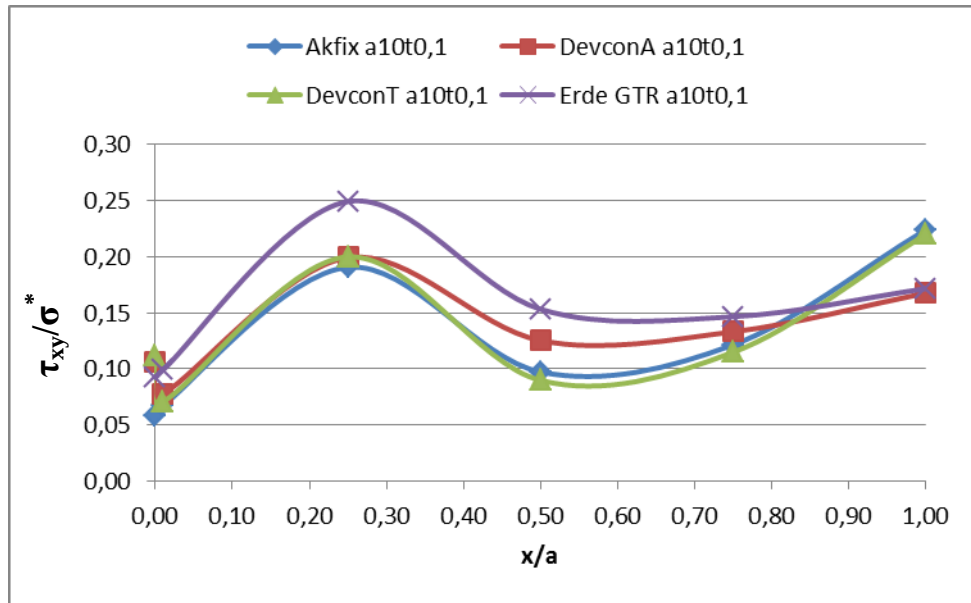
Şekil 3.22.b



Şekil 3.22.c



Şekil 3.22.d



Şekil 3.22.e

Şekil 3.22. $a=10$ mm bindirme uzunluğu ve sabit $t=0.1$ mm yapıştırıcı kalınlığında prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan; (a) eşdeğer ($\sigma_{eş}$), (b) normal (σ_x), (c) soyulma (σ_y), (d) normal (σ_z) ve (e) kayma (τ_{xy}) gerilme dağılımları

Şekil 3.23 Akfix E300, Devcon A, Devcon Titanyum ve Erde GTR kullanılarak $a=20$ mm bindirme uzunluğu ve sabit $t=0.1$ mm yapıştırıcı kalınlığında prizmatik geçmeli bağlantıda A-C hattı boyunca oluşan gerilme dağılımlarını göstermektedir.

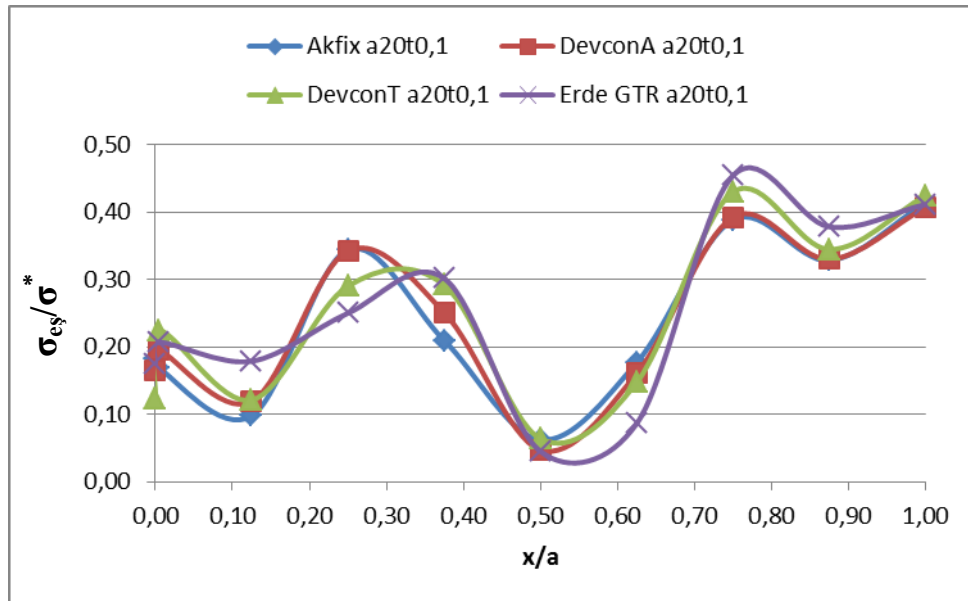
Şekil 3.23.a, dört yapıştırıcı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan eşdeğer gerilme dağılımını göstermektedir. Eşdeğer gerilme dağılımı tüm yapıştırıcılar için $0 \leq x/a \leq 0.05$ aralığında (A-A') artma, $0.05 \leq x/a \leq 0.125$ aralığında azalma, $0.125 \leq x/a \leq 0.25$ aralığında artma, $0.25 \leq x/a \leq 0.5$ aralığında azalma ve $0.50 \leq x/a \leq 0.75$ aralığında artma eğilimi göstererek tüm yapıştırıcılar için $x/a = 0.75$ 'de maksimum değere ulaşmıştır. $0.75 \leq x/a \leq 0.87$ aralığında azalma ve $0.87 \leq x/a \leq 1$ aralığında artma şeklinde dalgalı form izlemiştir. Genel olarak eşdeğer gerilme oranı bağlantının sonuna doğru giderek artan yükselme eğilimi göstermiştir. Eşdeğer gerilme oranı 0.45 değeri ile en yüksek Erde GTR'ye ait iken en düşük 0.39 ile Akfix E300'e aittir. Gerilme oranları arasında 1.15 katlık bir fark ortaya çıkmaktadır.

Şekil 3.23.b, dört yapıştırıcı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan normal gerilme dağılımını göstermektedir. Normal gerilme tüm yapıştırıcılarda $x/a = 0$ 'da ve $x/a = 1$ 'de yani bindirmenin uç kısımlarında maksimum değere ulaşmıştır. A-A' hattında basma gerilmesi şeklinde olan normal gerilme A'-C hattında ise giderek artan bir şekilde dalgalı formda çekme gerilmesi şeklindedir. Normal gerilme oranı $x/a = 0$ 'da 0.21 değeri ile en yüksek Erde GTR'ye ait iken en düşük 0.04 ile Devcon Titanyum'a aittir. Gerilme oranları arasında 5,25 katlık bir fark ortaya çıkmaktadır. Benzer bir durum $x/a = 1$ 'de de 6,25 katlık bir farkla Erde GTR ve Devcon Titanyum arasında görülmektedir.

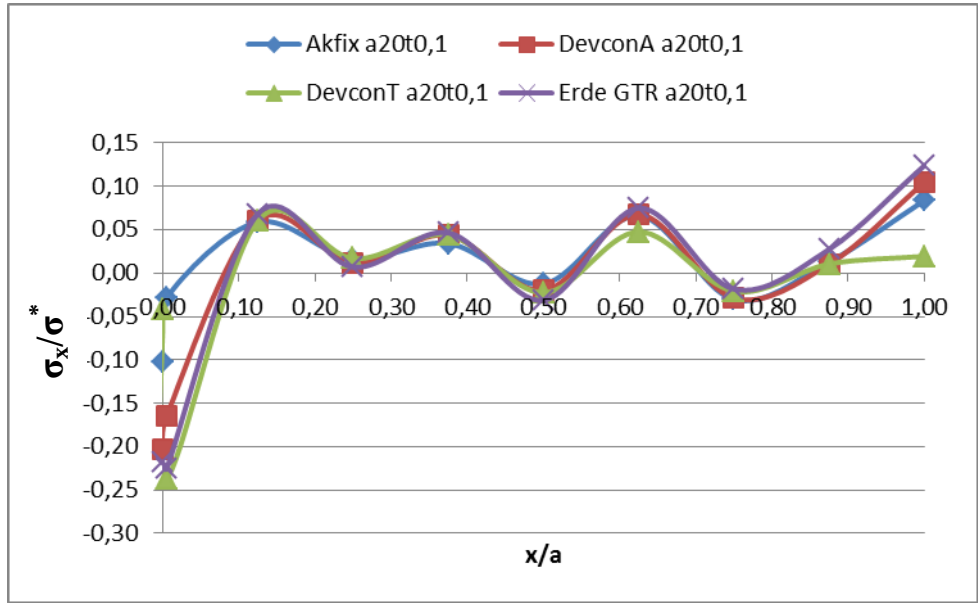
Şekil 3.23.c, dört yapıştırıcı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan soyulma gerilme dağılımını göstermektedir. Soyulma gerilme dağılımı tüm yapıştırıcılarda $x/a = 0$ 'da ve $x/a = 1$ 'de yani bindirmenin uç kısımlarında maksimum değere ulaşmıştır. $x/a = 0$ 'da basma gerilmesi şeklinde olan soyulma gerilmesi $x/a = 1$ 'de çekme gerilmesi şeklindedir. Soyulma gerilmesi dağılımında da normal gerilmeye benzer şekilde dalgalı bir form görülmektedir. Soyulma gerilme oranı 0.06 değeri ile en yüksek Erde GTR ve Devcon Titanyum'a ait iken en düşük 0.04 ile Akfix E300'e aittir. Gerilme oranları arasında 1.5 katlık bir fark ortaya çıkmaktadır.

Şekil 3.23.d, dört yapıştırıcı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan z-ekseni yönündeki gerilme dağılımını göstermektedir. Gerilme dağılımı olarak Şekil 3.22.c'ye benzer özellikler görülmektedir.

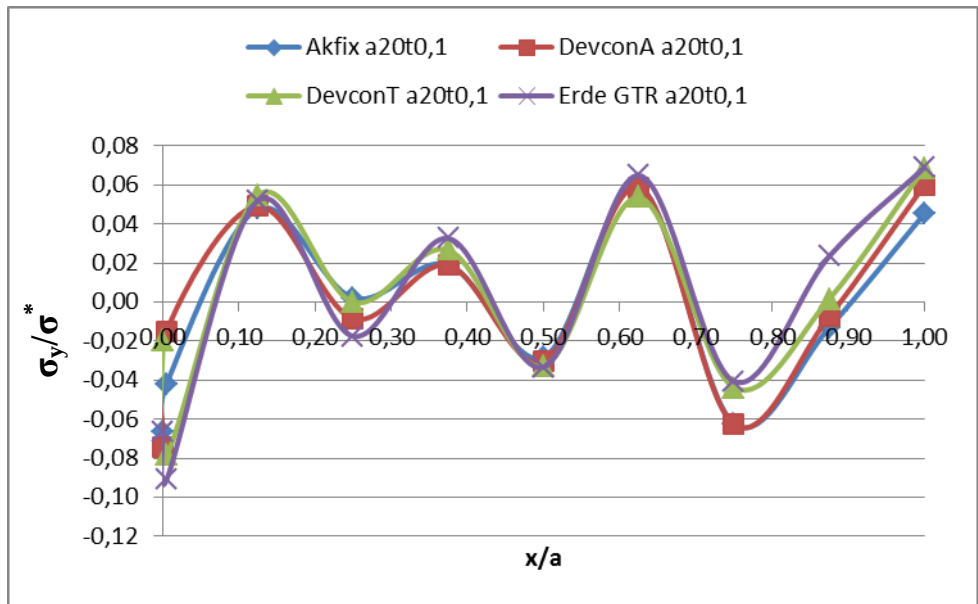
Şekil 3.23.e, dört yapıştırıcı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan kayma gerilmesi dağılımını göstermektedir. Kayma gerilmesi dağılımı tüm yapıştırıcılarda $x/a = 0$ 'da minimum değer almış $x/a = 0.75$ 'te maksimum değere ulaşmıştır. Bindirme mesafesinin ortasında yani $x/a = 0.5$ 'de tüm yapıştırıcılar için kayma gerilmesi oranı 0' a yakın değerler alarak minimum olmuştur. Kayma gerilmesi oranı 0.27 değeri ile en yüksek Erde GTR'ye ait iken en düşük 0.22 ile Akfix E300 ve Devcon A'ya aittir. Gerilme oranları arasında 1.22 katlık bir fark ortaya çıkmaktadır.



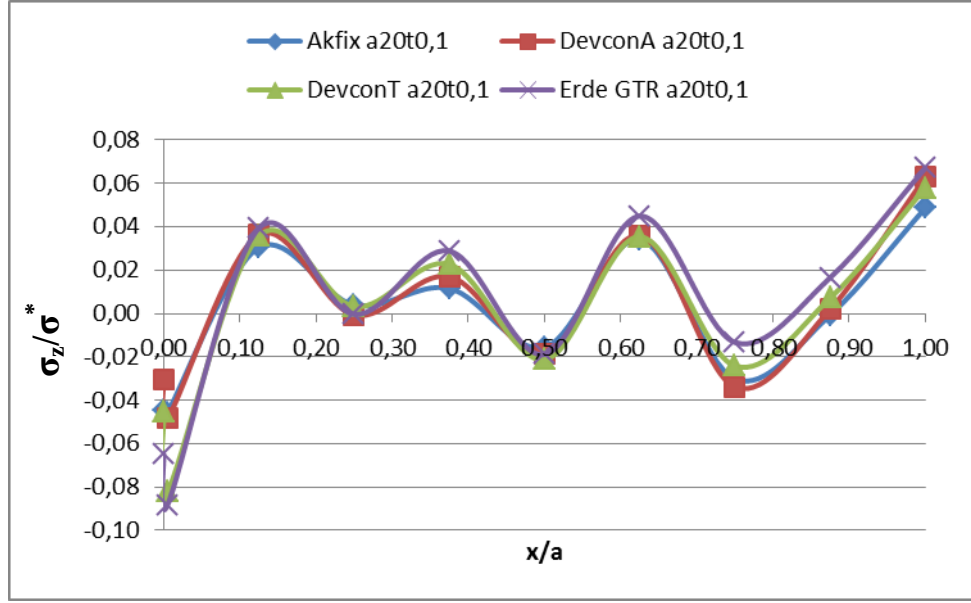
Şekil 3.23.a



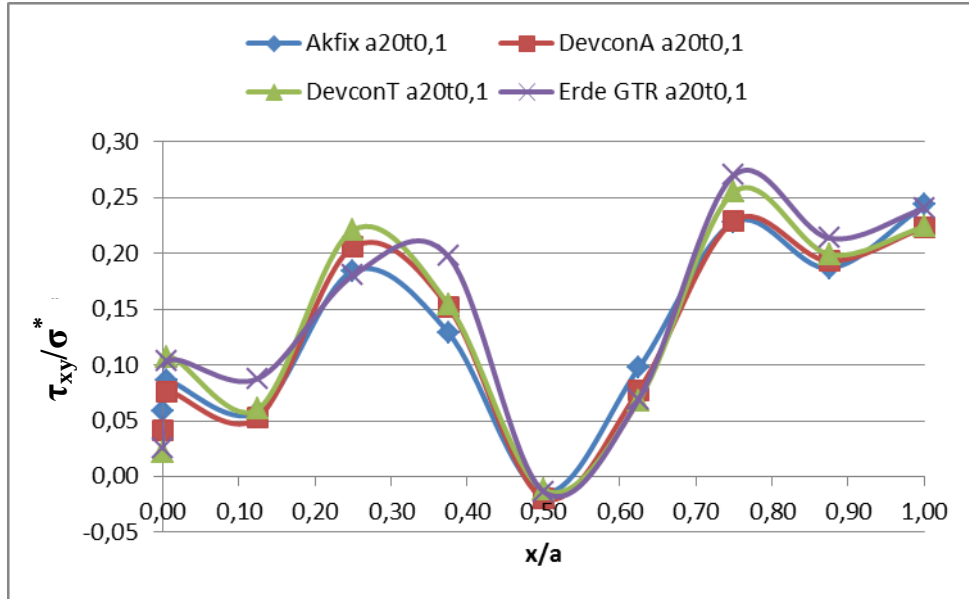
Şekil 3.23.b



Şekil 3.23.c



Şekil 3.23.d



Şekil 3.23.e

Şekil 3.23. a=20 mm bindirme uzunluğu ve sabit t=0.1 mm yapıştırıcı kalınlığında prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan; (a) eşdeğer (σ_{eş}), (b) normal (σ_x), (c) soyulma (σ_y), (d) normal (σ_z) ve (e) kayma (τ_{xy}) gerilme dağılımları

Şekil 3.24 Akfix E300, Devcon A, Devcon Titanyum ve Erde GTR kullanılarak a=30 mm bindirme uzunluğu ve sabit t=0.1 mm yapıştırıcı kalınlığında prizmatik geçmeli bağlantıda A-C hattı boyunca oluşan gerilme dağılımlarını göstermektedir.

Şekil 3.24.a, dört yapıştırıcı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan eşdeğer gerilme dağılımını göstermektedir. Eşdeğer gerilme dağılımı $0 \leq x/a \leq 0.16$ aralığında Akfix E300 ve Erde GTR'de $x/a = 0$ değerine göre artış, Devcon Titanyum ve Devcon A'da azalma göstermiştir. $0.16 \leq x/a \leq 0.33$ aralığında Akfix E300 ve Erde GTR'de azalma Devcon Titanyum ve Devcon A'da artma görülmüştür. Tüm yapıştırıcılar için eşdeğer gerilme oranının $0.4 \leq x/a \leq 0.6$ aralığında minimum değerlerini alarak 0'a doğru yaklaştığı görülmektedir. Akfix E300 ve Erde GTR'de $x/a = 0.16$ 'da, Devcon A ve Devcon Titanyum'da ise $x/a = 0.91$ 'de maksimum değerlerin alındığı görülmekle birlikte maksimum değerlerin birbirine çok yakın olması da oldukça dikkat çekicidir. Bu sonuçlara göre gerilme oranı yapıştırıcının karakteristiğine göre bağlantının başında veya sonuna doğru maksimum değerler almaktadır. Tüm yapıştırıcılar için ortak olan nokta, eşdeğer gerilme oranının bağlantının orta nokta noktasına yaklaşıldıkça 0'a yakın değerler almasıdır.

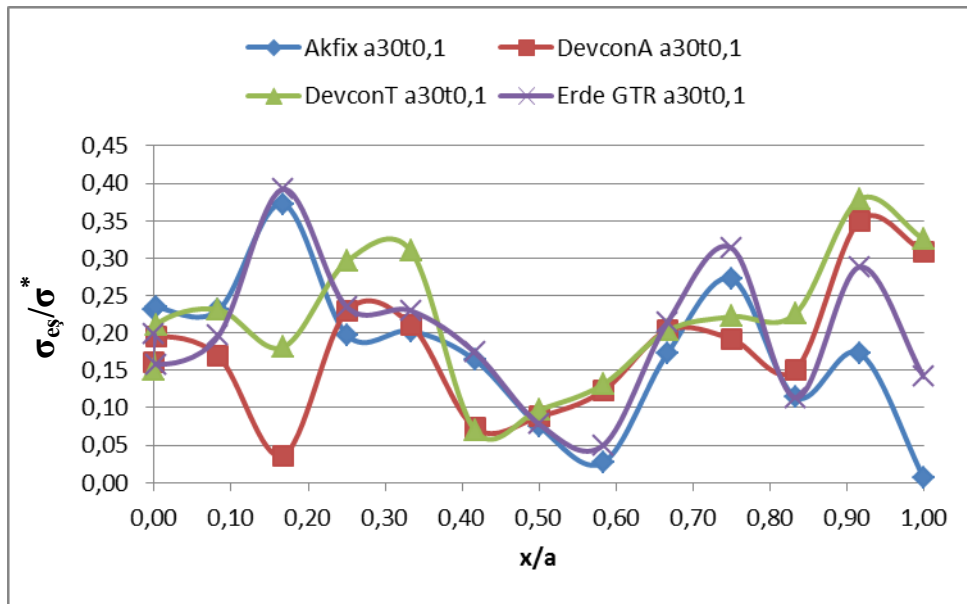
Şekil 3.24.b, dört yapıştırıcı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan normal gerilme dağılımını göstermektedir. Tüm yapıştırıcılarda A' noktasında yani $x/a = 0.03$ 'de normal gerilmenin maksimum değere ulaşmıştır. Normal gerilmenin A'-B hattında Devcon A'da çekme gerilmesi diğer yapıştırıcılarda ise basma gerilmesi şeklinde etkisi görülmektedir. B-C hattında ise tüm yapıştırıcılarda benzer bir formda x eksenine etrafında küçük dalgalı formda normal gerilme oranı dağılımı görülmektedir. Normal gerilme oranı $x/a = 0.03$ 'de 0.26 değeri ile en yüksek Akfix E300'e aittir.

Şekil 3.24.c, dört yapıştırıcı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan soyulma gerilme dağılımını göstermektedir. Soyulma gerilme dağılımı tüm yapıştırıcılarda $x/a = 0$ 'da yani bindirmenin uç kısmında maksimum değere ulaşmıştır. Soyulma gerilmesi dağılımı olarak Şekil 3.24.b'deki normal gerilmeye benzer şekilde dalgalı bir form görülmektedir. Normal gerilmeye göre farkı maksimum gerilme değerinin tüm yapıştırıcılar için az bir değerde düşüş göstermesidir ($\sigma_x/\sigma^* > \sigma_y/\sigma^*$)

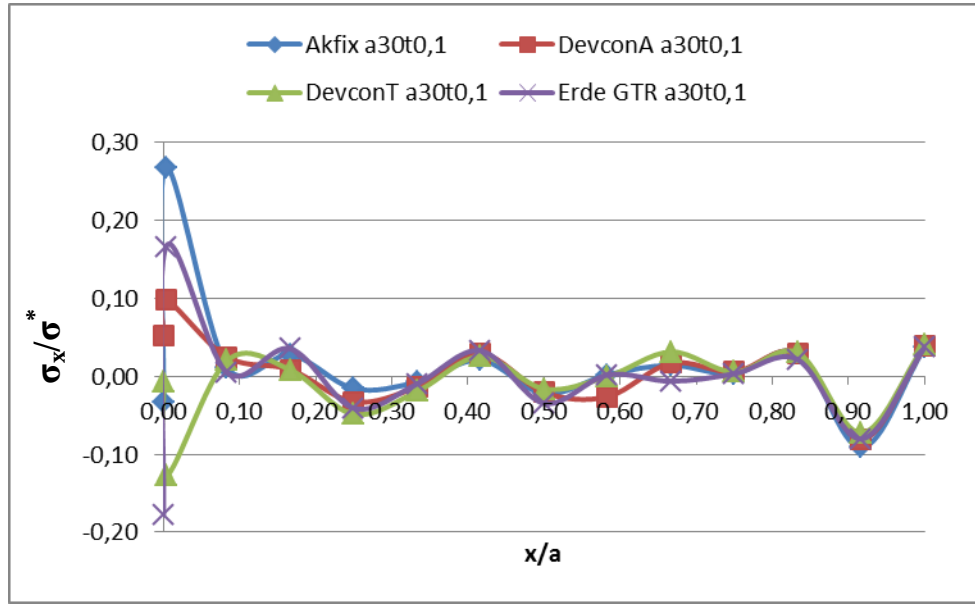
Şekil 3.24.d, dört yapıştırıcı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan z-ekseni yönündeki gerilme dağılımını göstermektedir. Gerilme dağılımı olarak

Şekil 3.24.c'ye benzer özellikler görülmektedir. Soyulma gerilmeye göre farkı maksimum gerilme değerinin tüm yapıştırıcılar için soyulma gerilmesi maksimum değerinden daha düşük olmasıdır ($\sigma_y/\sigma^* > \sigma_z/\sigma^*$).

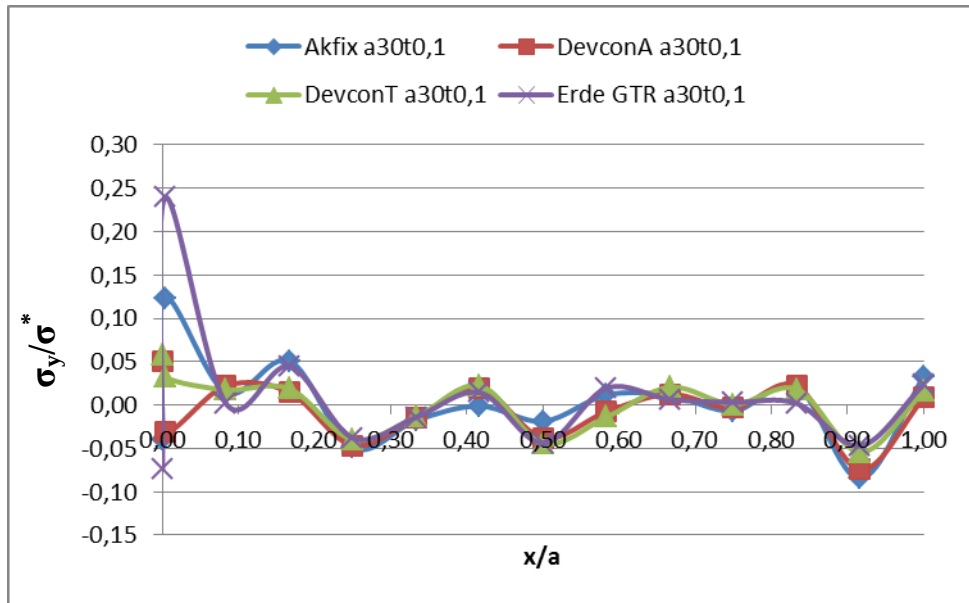
Şekil 3.24.e, dört yapıştırıcı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan kayma gerilmesi dağılımını göstermektedir. Kayma gerilmesi dağılımı tüm yapıştırıcılarda $x/a = 0$ 'da minimum değer almış ve $x/a = 0.91$ 'de maksimum değere ulaşmıştır. Tüm yapıştırıcılar için kayma gerilmesi oranının $0.4 \leq x/a \leq 0.6$ aralığında minimum değerlerini alarak özellikle Akfix E300 ve Erde GTR'de 0'a doğru yaklaştığı görülmektedir. Kayma gerilmesi oranı 0.21 değeri ile en yüksek Devcon Titanyum'a ait iken en düşük 0.17 ile Erde GTR'ye aittir. Gerilme oranları arasında 1.23 katlık bir fark ortaya çıkmaktadır.



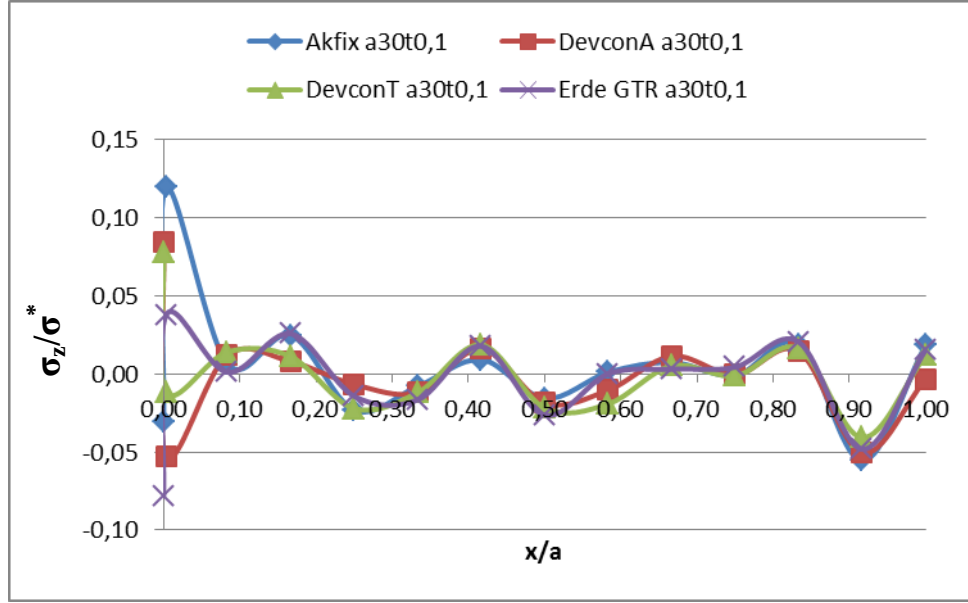
Şekil 3.24.a



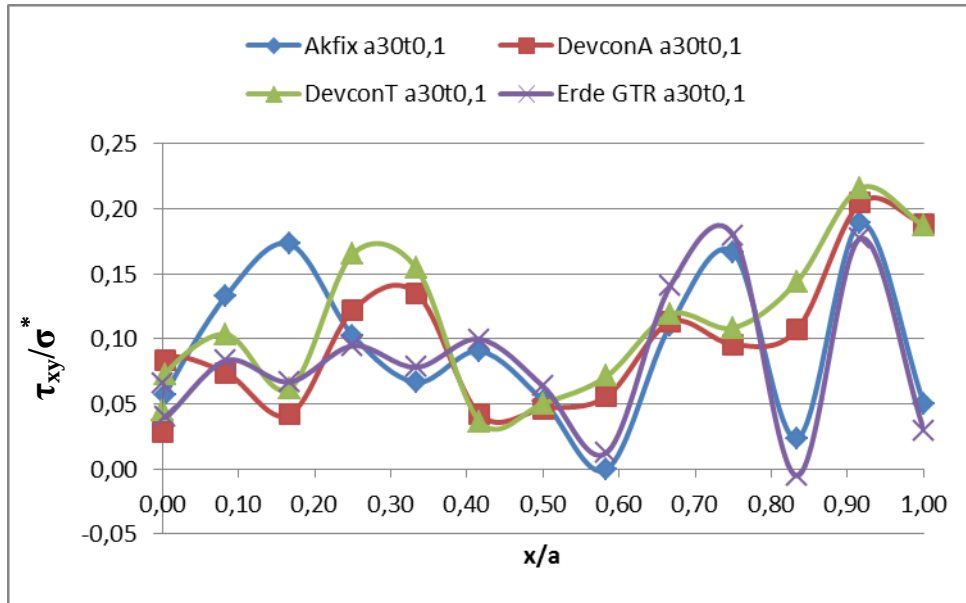
Şekil 3.24.b



Şekil 3.24.c



Şekil 3.24.d



Şekil 3.24.e

Şekil 3.24. $a=30$ mm bindirme uzunluğu ve sabit $t=0.1$ mm yapıştırıcı kalınlığında prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan; **(a)** eşdeğer ($\sigma_{eş}$), **(b)** normal (σ_x), **(c)** soyulma (σ_y), **(d)** normal (σ_z) ve **(e)** kayma (τ_{xy}) gerilme dağılımları

Şekil 3.25 Akfix E300, Devcon A, Devcon Titanyum ve Erde GTR kullanılarak $a=10$ mm bindirme uzunluğu ve sabit $t=0.3$ mm yapıştırıcı kalınlığında prizmatik geçmeli bağlantıda A-C hattı boyunca oluşan gerilme dağılımlarını göstermektedir.

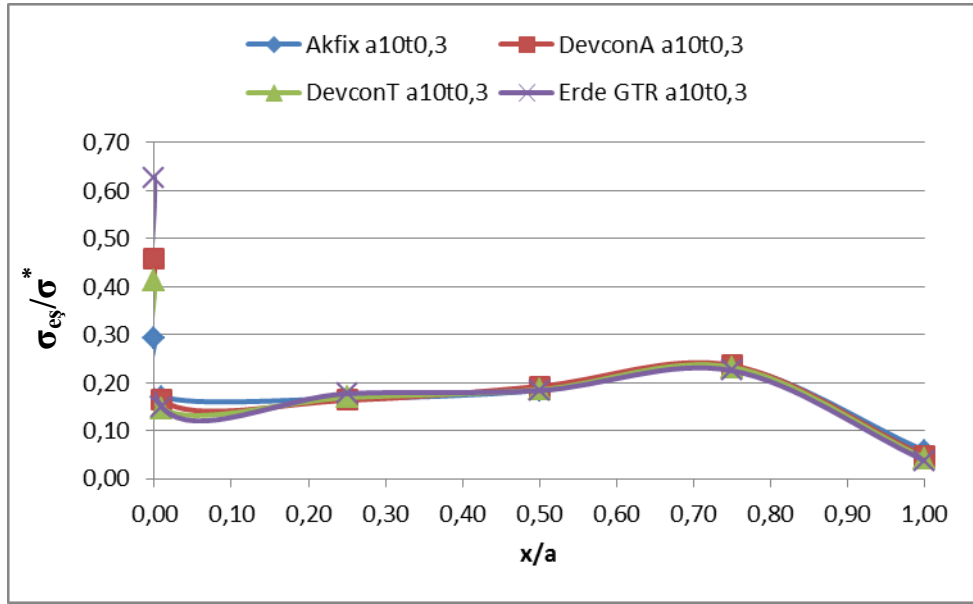
Şekil 3.25.a, dört yapıştırıcı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan eşdeğer gerilme dağılımını göstermektedir. Eşdeğer gerilme dağılımı oranı tüm yapıştırıcılarda $x/a = 0$ 'da maksimum değer almış ve A-A' aralığında azalarak $0.01 \leq x/a \leq 0.75$ aralığında (B-C) x eksenine paralel bir yapı göstermiştir. $0.75 \leq x/a \leq 1$ aralığında azalarak $x/a = 1$ 'de minimuma inerek 0'a yakın değerler almıştır. Eşdeğer gerilme oranı 0.62 değeri ile en yüksek Erde GTR'ye ait iken en düşük 0.29 ile Akfix E300'e aittir. Gerilme oranları arasında 2.13 katlık bir fark ortaya çıkmaktadır.

Şekil 3.25.b, dört yapıştırıcı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan normal gerilme dağılımını göstermektedir. Tüm yapıştırıcılarda A noktasında yani $x/a = 0$ 'da normal gerilme maksimum değere ulaşmıştır. Normal gerilme oranının A-A' hattında tüm yapıştırıcılarda basma gerilmesi B-C hattında ise çekme gerilmesi şeklinde etkisi görülmektedir. $0.01 \leq x/a \leq 0.25$ aralığında normal gerilme oranında azalma görülmektedir. $0.25 \leq x/a \leq 1$ aralığında 0'a yakın ve x eksenine paralel bir durum söz konusudur. Normal gerilme oranı 0.88 değeri ile en yüksek Erde GTR'ye ait iken en düşük 0.4 ile Devcon Titanyum'a aittir.

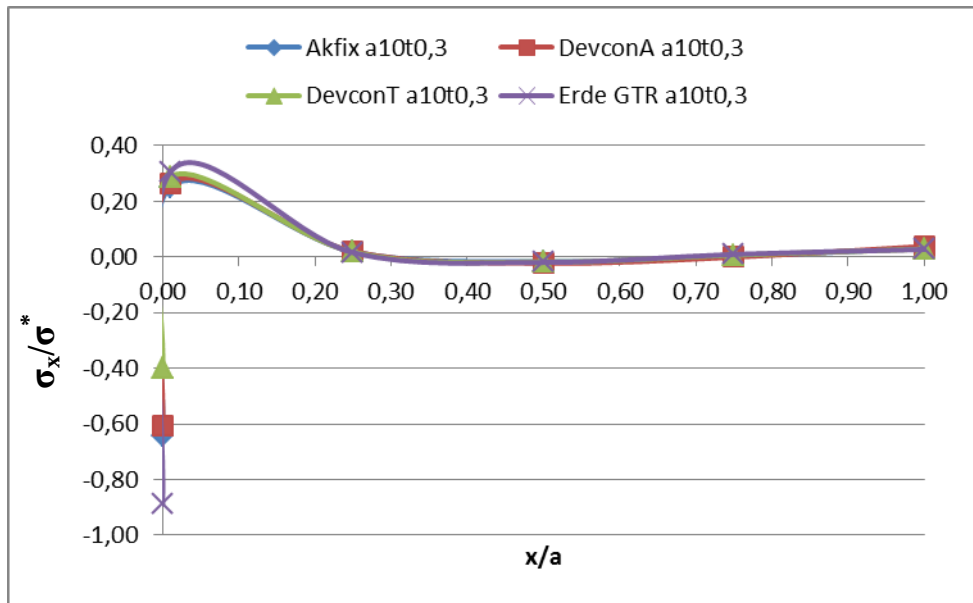
Şekil 3.25.c, dört yapıştırıcı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında soyulma gerilme dağılımını göstermektedir. Gerilme dağılımı olarak Şekil 3.25.b'deki aynı karakteristiği göstermektedir.

Şekil 3.25.d, dört yapıştırıcı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan z -ekseni yönündeki gerilme dağılımını göstermektedir. Gerilme dağılımı olarak Şekil 3.25.c'deki aynı karakteristiği göstermektedir.

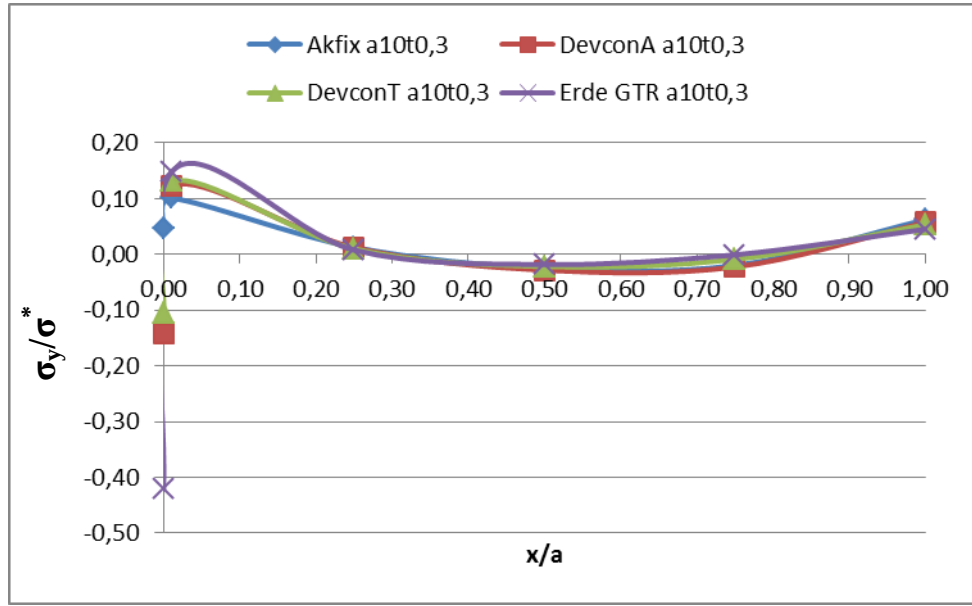
Şekil 3.25.e, dört yapıştırıcı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan kayma gerilmesi dağılımını göstermektedir. Kayma gerilmesi dağılımı $0 \leq x/a \leq 0.01$ aralığında (A-A') azalma göstermiş $0.01 \leq x/a \leq 0.75$ aralığında orantılı bir artış göstererek $x/a = 0.75$ 'de maksimum değere ulaşmıştır. $0.75 \leq x/a \leq 1$ aralığında hızlı bir azalma göstererek $x/a = 1$ 'de 0'a yakın minimum değer almıştır. Kayma gerilmesi oranı 0.090 değeri ile en yüksek Erde GTR'ye ait iken en düşük 0.017 ile Devcon A'ya aittir. Gerilme oranları arasında 5.29 katlık bir fark ortaya çıkmaktadır.



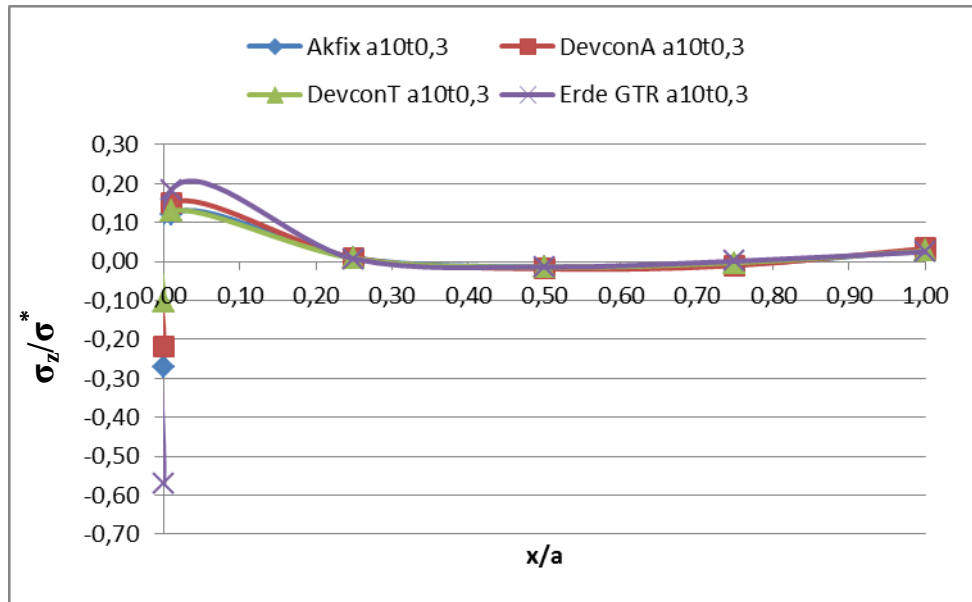
Şekil 3.25.a



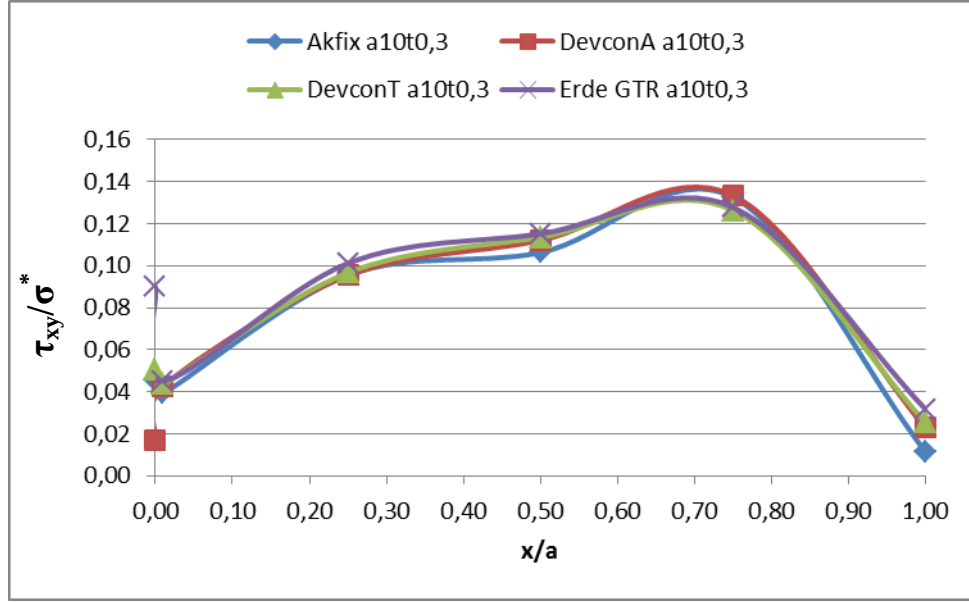
Şekil 3.25.b



Şekil 3.25.c



Şekil 3.25.d



Şekil 3.25.e

Şekil 3.25. a=10 mm bindirme uzunluğu ve sabit t=0.3 mm yapıştırıcı kalınlığında prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan; (a) eşdeğer ($\sigma_{eş}$), (b) normal (σ_x), (c) soyulma (σ_y), (d) normal (σ_z) ve (e) kayma (τ_{xy}) gerilme dağılımları

Şekil 3.26 Akfix E300, Devcon A, Devcon Titanyum ve Erde GTR kullanılarak a=20 mm bindirme uzunluğu ve sabit t=0.3 mm yapıştırıcı kalınlığında prizmatik geçmeli bağlantıda A-C hattı boyunca oluşan gerilme dağılımlarını göstermektedir.

Şekil 3.26.a, dört yapıştırıcı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan eşdeğer gerilme dağılımını göstermektedir. Eşdeğer gerilme dağılımı oranı tüm yapıştırıcılarda $x/a = 0$ 'da maksimum değer olarak $0.01 \leq x/a \leq 0.125$ aralığında azalma ve ardından artma göstererek oluşan dalgalı form $x/a = 1$ 'e kadar devam etmiştir. Eşdeğer gerilme oranı $x/a = 0.5$ yani bağlantının orta noktasında tüm yapıştırıcılar için minimum değer almıştır. 0.23 değeri ile en yüksek Erde GTR'ye ait iken en düşük 0.21 ile Devcon Titanyum'a aittir. Gerilme oranları arasında 1.09 katlık bir fark ortaya çıkmaktadır.

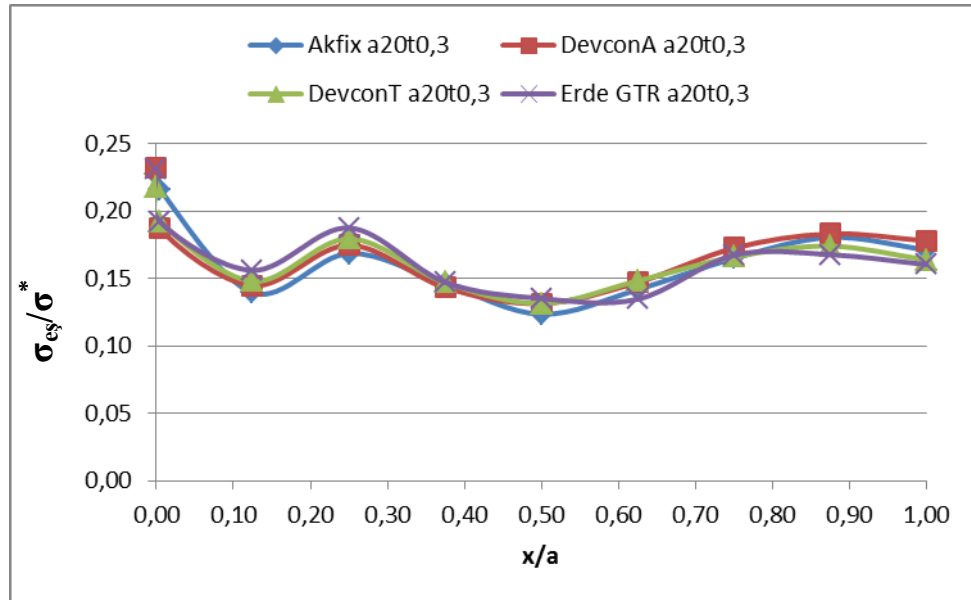
Şekil 3.26.b, dört yapıştırıcı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan normal gerilme dağılımını göstermektedir. Tüm yapıştırıcılarda A noktasında yani $x/a = 0$ 'da normal gerilme maksimum değere ulaşmıştır. Normal gerilme oranının A-A' hattında tüm yapıştırıcılarda basma gerilmesi B-C hattında ise çekme gerilmesi şeklinde etkisi

görülmektedir. $0.01 \leq x/a \leq 0.12$ aralığında normal gerilme oranında azalma görülmektedir. $0.12 \leq x/a \leq 1$ aralığında 0'a yakın ve x eksenine paralel bir durum görülmekte iken $x/a = 1$ 'de az miktarda artış olmuştur. Normal gerilme oranı 0.34 değeri ile en yüksek Erde GTR'ye ait iken en düşük 0.14 ile Devcon Titanyum'a aittir.

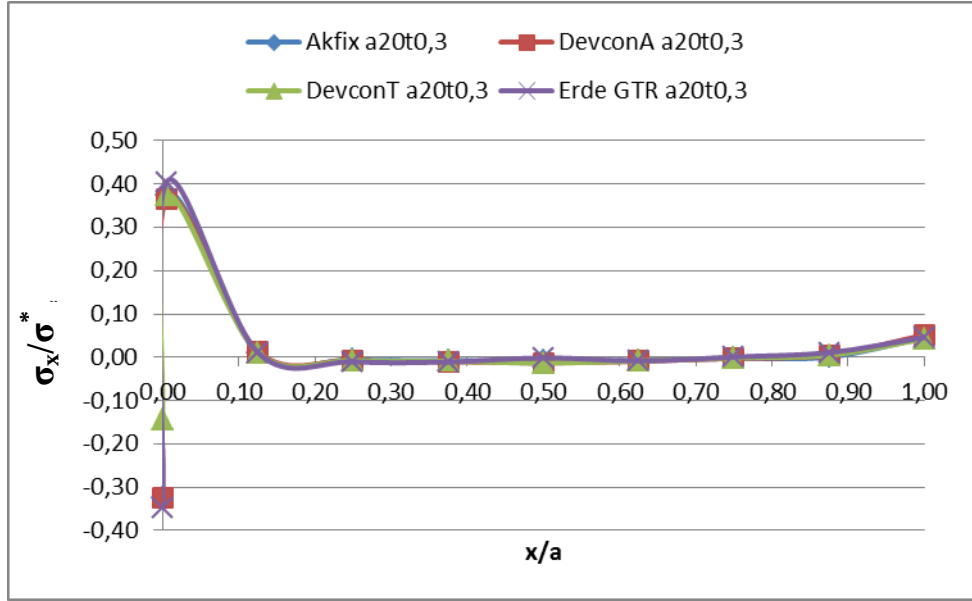
Şekil 3.26.c, dört yapıştırıcı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında soyulma gerilme dağılımını göstermektedir. Gerilme dağılımı olarak Şekil 3.26.b'deki aynı karakteristiği göstermektedir.

Şekil 3.26.d, dört yapıştırıcı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan z-ekseni yönündeki gerilme dağılımını göstermektedir. Gerilme dağılımı olarak Şekil 3.26.b'deki aynı karakteristiği göstermektedir.

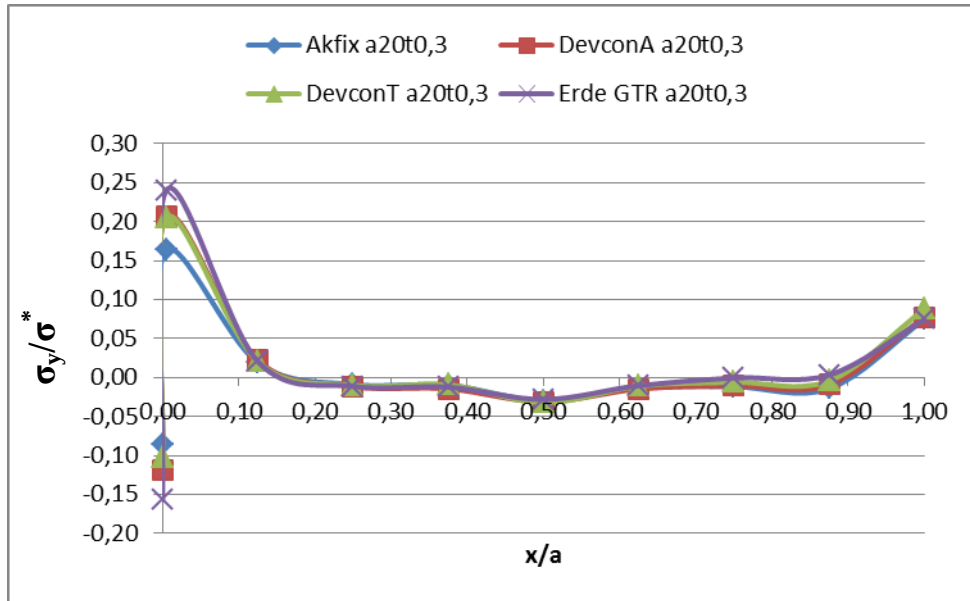
Şekil 3.25.e, dört yapıştırıcı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan kayma gerilmesi dağılımını göstermektedir. Kayma gerilmesi dağılımı $0 \leq x/a \leq 0.05$ aralığında (A-A') azalma, $0.05 \leq x/a \leq 0.25$ aralığında artma ve tekrar $0.25 \leq x/a \leq 0.50$ azalma göstererek oluşan dalgalı yapı $x/a = 1$ 'e kadar devam etmiştir. $x/a = 0.87$ 'de tüm yapıştırıcılar için maksimum değer almıştır. Kayma gerilmesi oranı 0.1 değeri ile en yüksek Devcon A'ya ait iken en düşük 0.09 Akfix E300'e aittir. Gerilme oranları arasında 1.11 katlık bir fark ortaya çıkmıştır.



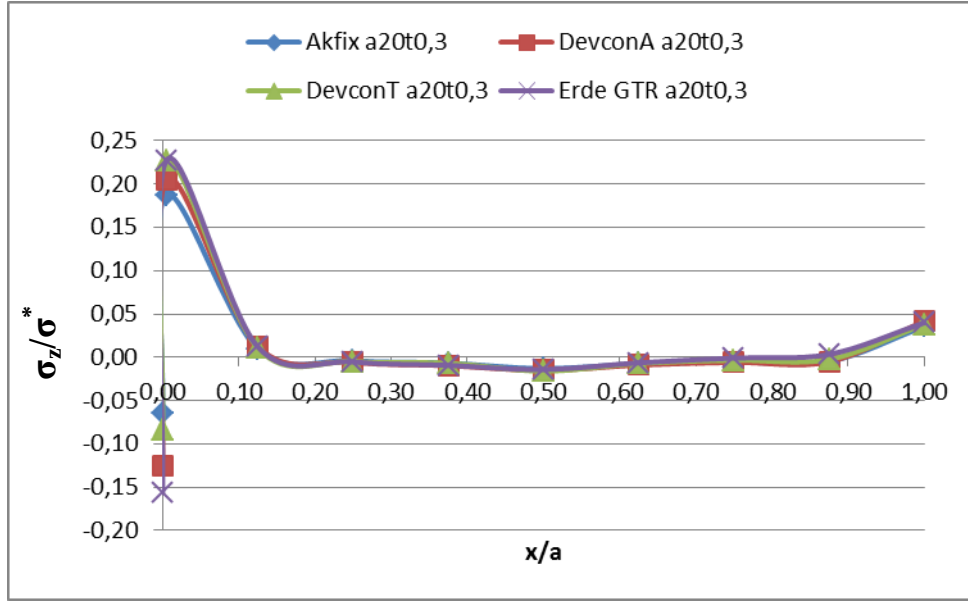
Şekil 3.26.a



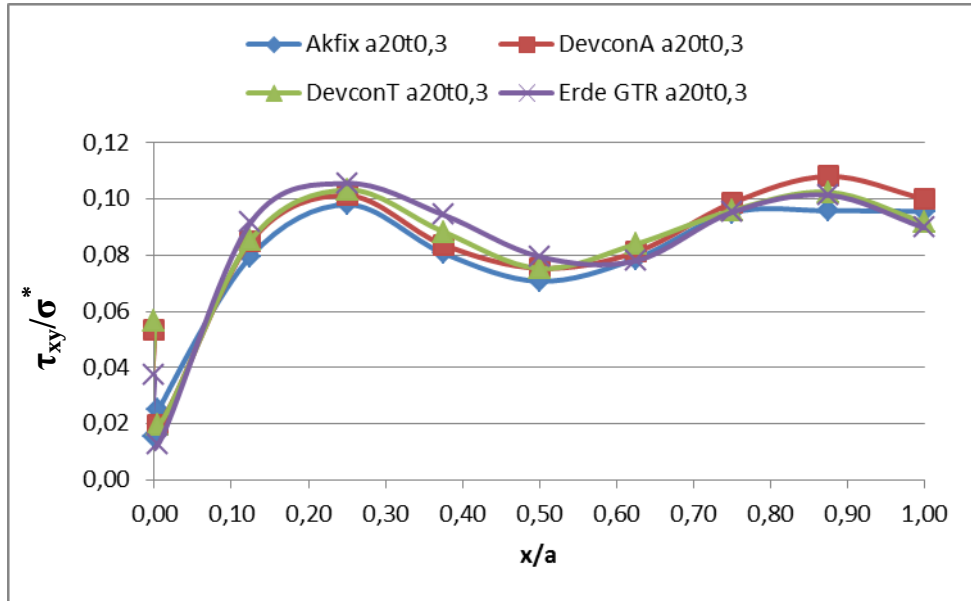
Şekil 3.26.b



Şekil 3.26.c



Şekil 3.26.d



Şekil 3.26.e

Şekil 3.26. a=20 mm bindirme uzunluğu ve sabit t=0.3 mm yapıştırıcı kalınlığında prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan; (a) eşdeğer ($\sigma_{eş}$), (b) normal (σ_x), (c) soyulma (σ_y), (d) normal (σ_z) ve (e) kayma (τ_{xy}) gerilme dağılımları

Şekil 3.27 Akfix E300, Devcon A, Devcon Titanyum ve Erde GTR kullanılarak $a=30$ mm bindirme uzunluğu ve sabit $t=0.3$ mm yapıştırıcı kalınlığında prizmatik geçmeli bağlantıda A-C hattı boyunca oluşan gerilme dağılımlarını göstermektedir.

Şekil 3.27.a, dört yapıştırıcı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan eşdeğer gerilme dağılımını göstermektedir. Eşdeğer gerilme dağılımı oranı tüm yapıştırıcılarda $x/a = 0$ 'da maksimum değer olarak $0.01 \leq x/a \leq 0.16$ aralığında azalma ve $0.16 \leq x/a \leq 0.25$ aralığında artma göstermiş ve bu durum $0.25 \leq x/a \leq 0.50$ aralığına kadar x eksenine paralel şekilde devam etmiştir. $x/a = 0.5$ 'ten itibaren az miktarda azalma göstermiş ardından $x/a = 1$ 'e yani bağlantının sonuna kadar maksimuma yakın değerler almıştır. Tüm yapıştırıcılar için eşdeğer gerilme oranının bağlantının başında ve sonunda maksimum değerlerin alınması gerilmelerin bu noktalara transfer edildiği anlamına gelmektedir. Eşdeğer gerilme oranı 0.21 değeri ile en yüksek Erde GTR'ye ait iken en düşük 0.13 ile Akfix E300'e aittir. Gerilme oranları arasında 1.61 katlık bir fark görülmektedir.

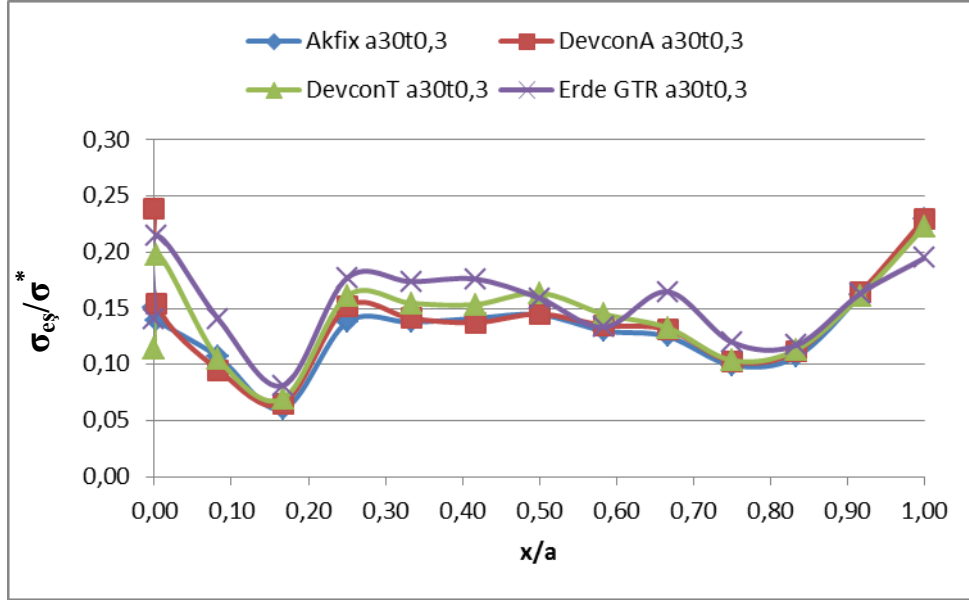
Şekil 3.27.b, dört yapıştırıcı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan normal gerilme dağılımını göstermektedir. Tüm yapıştırıcılarda A noktasında yani $x/a = 0$ 'da normal gerilme maksimum değere ulaşmıştır. $0.003 \leq x/a \leq 0.16$ aralığında normal gerilme oranında azalma, $0.16 \leq x/a \leq 1$ aralığında 0'a yakın ve x eksenine paralel küçük dalgalı bir durum görülmekte iken $x/a = 1$ 'de az miktarda artış olmuştur. Normal gerilme oranı 0.09 değeri ile en yüksek Devcon A'ya ait iken en düşük 0.05 ile Erde GTR'ye aittir.

Şekil 3.27.c, dört yapıştırıcı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında soyulma gerilme dağılımını göstermektedir. Gerilme dağılımı olarak Şekil 3.27.b'ye benzer bir durum görülmekte iken aradaki fark dalgalı yapının bir miktar büyük olmasıdır.

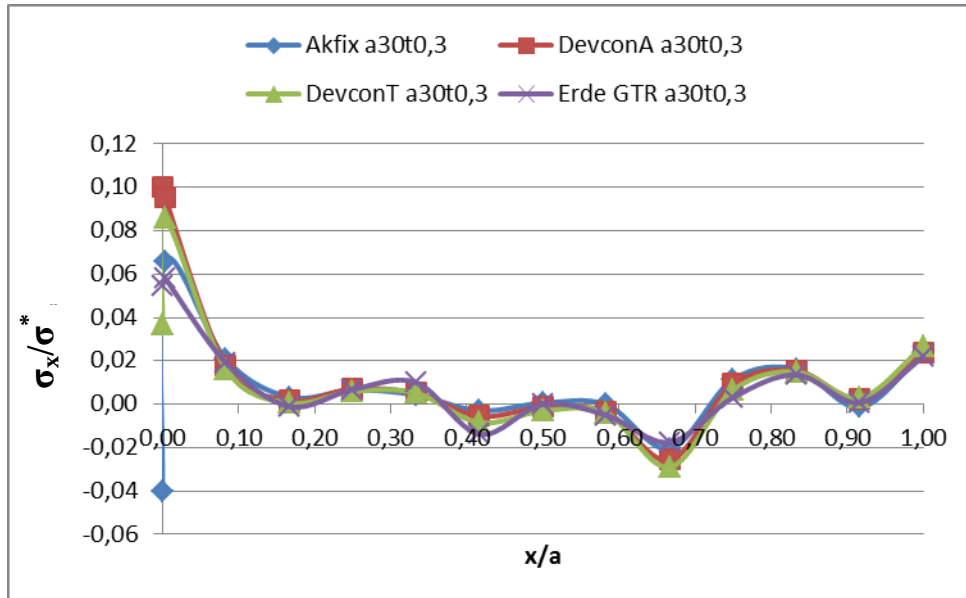
Şekil 3.27.d, dört yapıştırıcı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan z-ekseni yönündeki gerilme dağılımını göstermektedir. Gerilme dağılımı olarak Şekil 3.27.b'ye benzer bir durum görülmektedir.

Şekil 3.27.e, dört yapıştırıcı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan kayma gerilmesi dağılımını göstermektedir. Kayma gerilmesi dağılımı oranı $0 \leq x/a \leq 0.05$ aralığında (A-A') azalma, $0.05 \leq x/a \leq 0.1$ aralığında artma, $0.1 \leq x/a \leq 0.16$ aralığında azalma ve $0.16 \leq x/a \leq 0.25$ aralığında artma göstermiş $0.25 \leq x/a \leq 0.85$ aralığında x eksenine paralel devam ederek $x/a = 1$ 'de tüm yapıştırıcılar için maksimum değer almıştır.

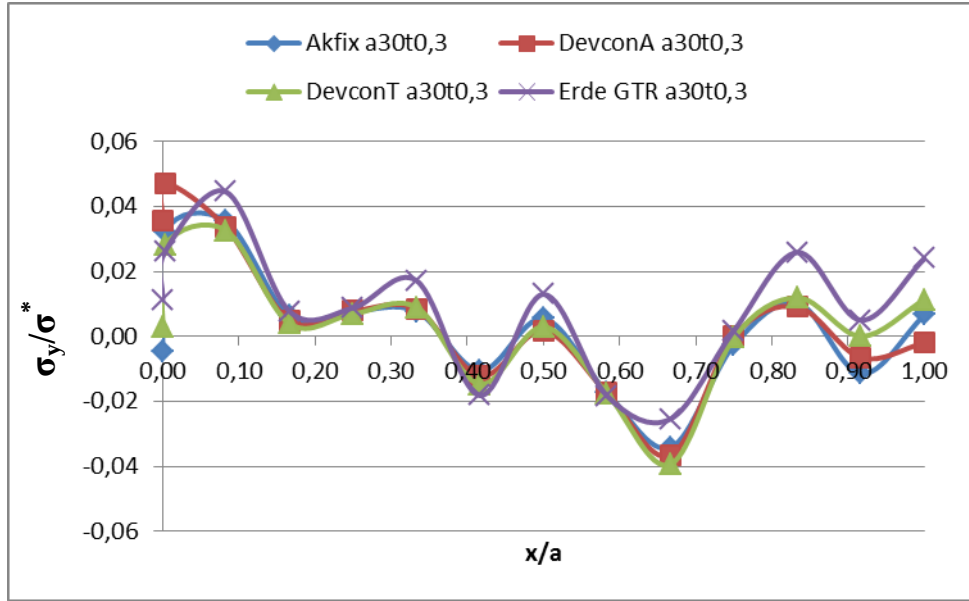
Kayma gerilmesi oranı 0.13 değeri ile en yüksek Devcon A'ya ait iken en düşük 0.11 ile Erde GTR'ye aittir. Gerilme oranları arasında 1.18 katlık bir fark görülmektedir.



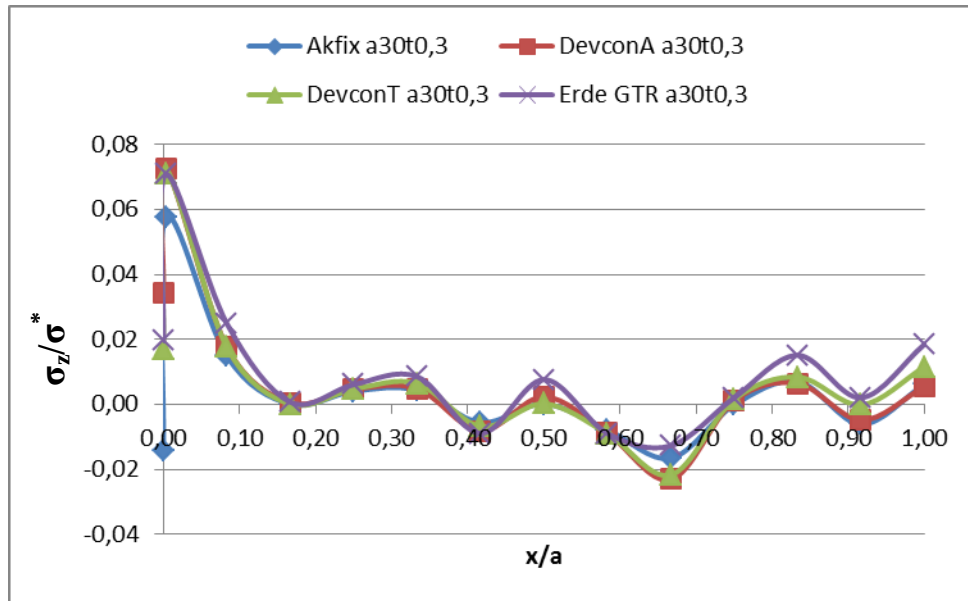
Şekil 3.27.a



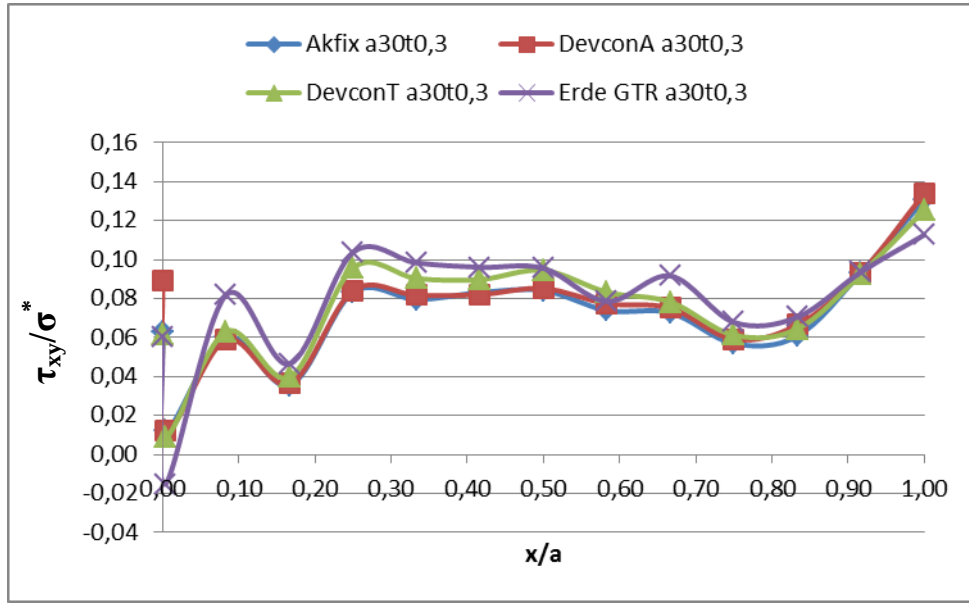
Şekil 3.27.b



Şekil 3.27.c



Şekil 3.27.d



Şekil 3.27.e

Şekil 3.27. $a=30$ mm bindirme uzunluğu ve sabit $t=0.3$ mm yapıştırıcı kalınlığında prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan; (a) eşdeğer (σ_{cs}), (b) normal (σ_x), (c) soyulma (σ_y), (d) normal (σ_z) ve (e) kayma (τ_{xy}) gerilme dağılımları

Şekil 3.28 Akfix E300, Devcon A, Devcon Titanyum ve Erde GTR kullanılarak $a=10$ mm bindirme uzunluğu ve sabit $t=0.5$ mm yapıştırıcı kalınlığında prizmatik geçmeli bağlantıda A-C hattı boyunca oluşan gerilme dağılımlarını göstermektedir.

Şekil 3.28.a, dört yapıştırıcı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan eşdeğer gerilme dağılımını göstermektedir. Eşdeğer gerilme dağılımı oranı tüm yapıştırıcılarda $x/a = 0$ 'da maksimum değerler almıştır. Eşdeğer gerilme oranı $0.01 \leq x/a \leq 0.25$ aralığında azalma, $0.25 \leq x/a \leq 0.50$ aralığında artma göstermiş ve bağlantının sonuna kadar azalarak $x/a = 1$ 'de minimum değerler almıştır. Eşdeğer gerilme oranı 0.41 değeri ile en yüksek Erde GTR'ye ait iken en düşük 0.25 ile Akfix E300'e aittir. Gerilme oranları arasında 1.64 katlık bir fark görülmektedir.

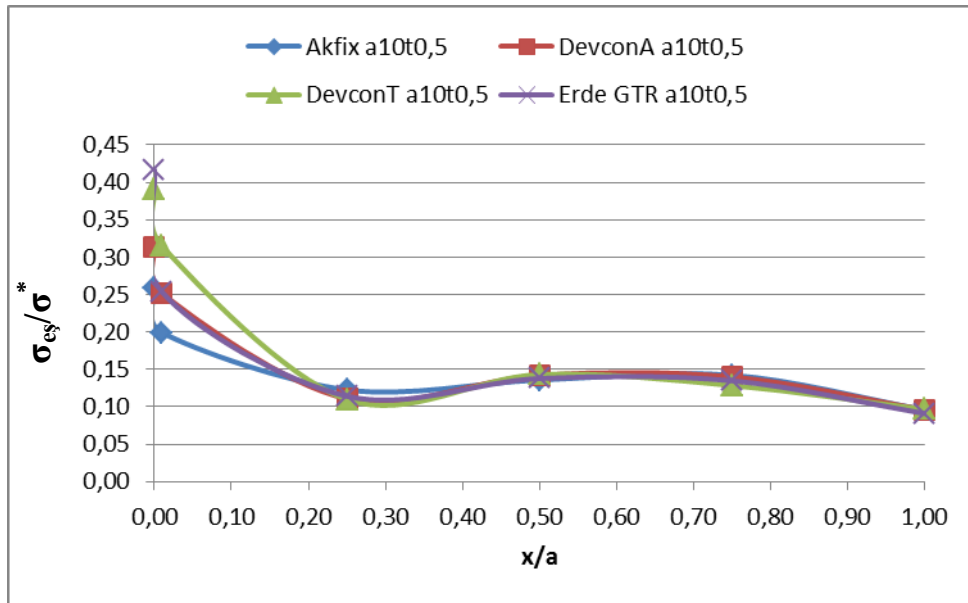
Şekil 3.28.b, dört yapıştırıcı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan normal gerilme dağılımını göstermektedir. Tüm yapıştırıcılarda A noktasında yani $x/a = 0$ 'da normal gerilme maksimum değere ulaşmıştır. Normal gerilme oranının A-A' hattında tüm yapıştırıcılarda basma gerilmesi B-C hattında ise çekme gerilmesi şeklinde etkisi görülmektedir. $0.01 \leq x/a \leq 0.25$ aralığında normal gerilme oranında azalma görülmektedir.

$0.25 \leq x/a \leq 1$ aralığında 0' a yakın ve x eksenine paralel bir durum görülmektedir. Normal gerilme oranı 0.61 değeri ile en yüksek Erde GTR' ye ait iken en düşük 0.31 ile Akfix E300' e aittir.

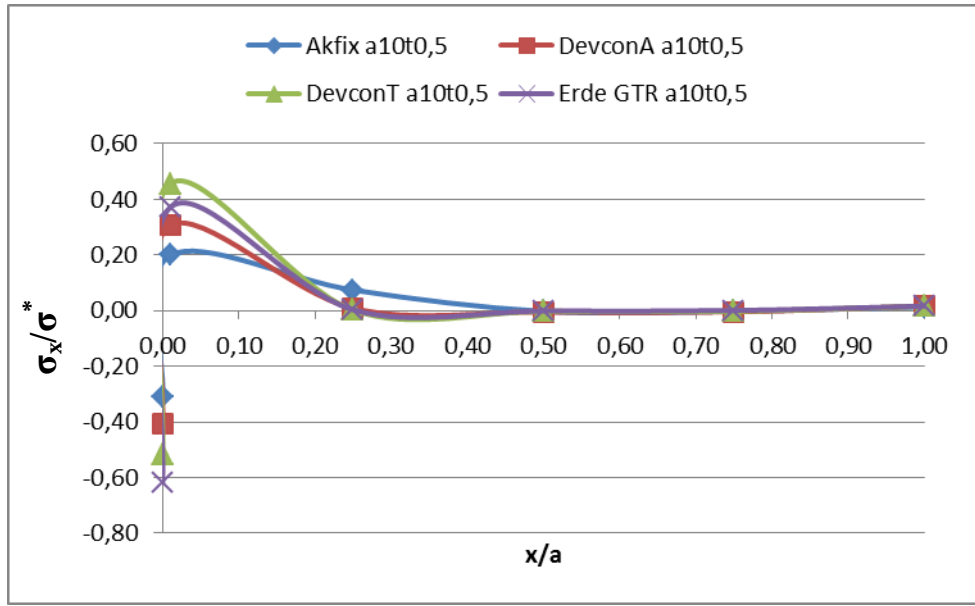
Şekil 3.28.c, dört yapıştırıcı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında soyulma gerilme dağılımını göstermektedir. Gerilme dağılımı olarak Şekil 3.28.b'ye benzer bir durum görülmektedir.

Şekil 3.28.d, dört yapıştırıcı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan z-ekseni yönündeki gerilme dağılımını göstermektedir. Gerilme dağılımı olarak Şekil 3.28.b'ye benzer bir durum görülmektedir.

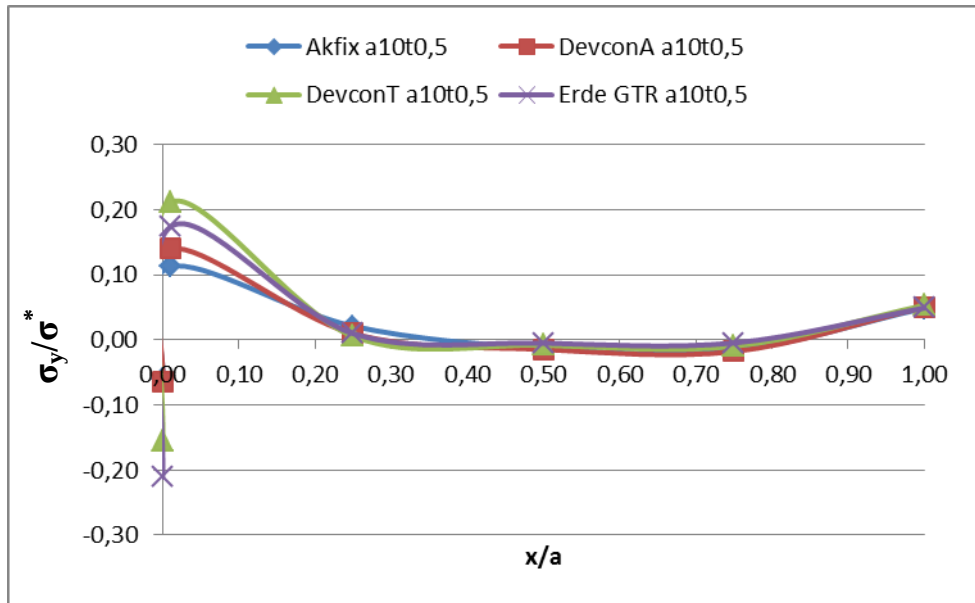
Şekil 3.28.e, dört yapıştırıcı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan kayma gerilmesi dağılımını göstermektedir. Kayma gerilmesi dağılımı oranı tüm yapıştırıcılarda A-A' aralığında artarak $x/a = 0.01$ 'de maksimum değerler almıştır. Kayma gerilmesi dağılımı oranı $0.01 \leq x/a \leq 0.25$ aralığında azalma, $0.25 \leq x/a \leq 0.50$ aralığında artma göstermiş ve $x/a = 1$ 'e yani bağlantının sonuna kadar azalarak $x/a = 1$ 'de minimum değerler almıştır. Kayma gerilmesi oranı 0.10 değeri ile en yüksek Erde GTR' ye ait iken en düşük 0.05 ile Devcon Titanyum' a aittir. Gerilme oranları arasında 2 katlık bir fark görülmektedir.



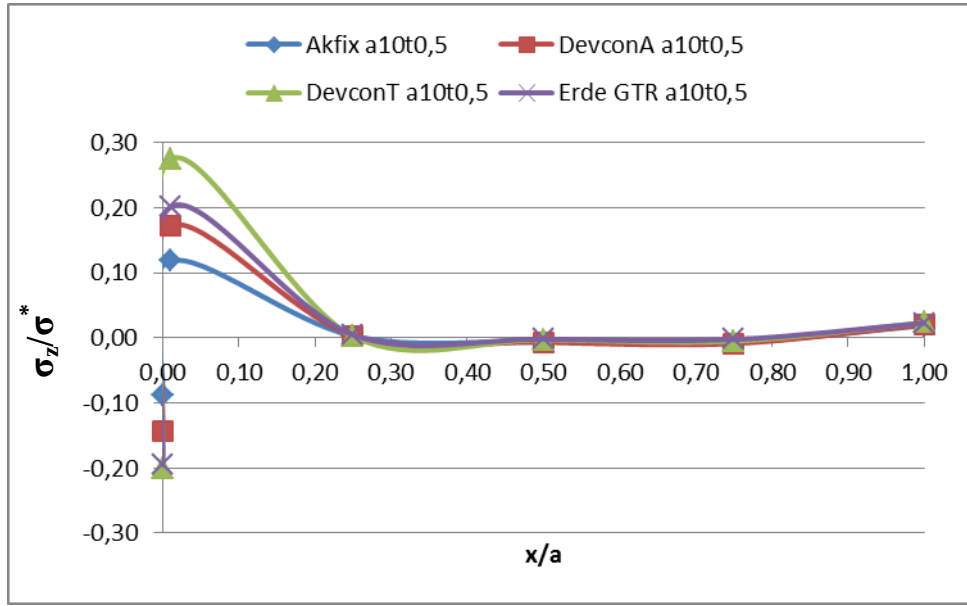
Şekil 3.28.a



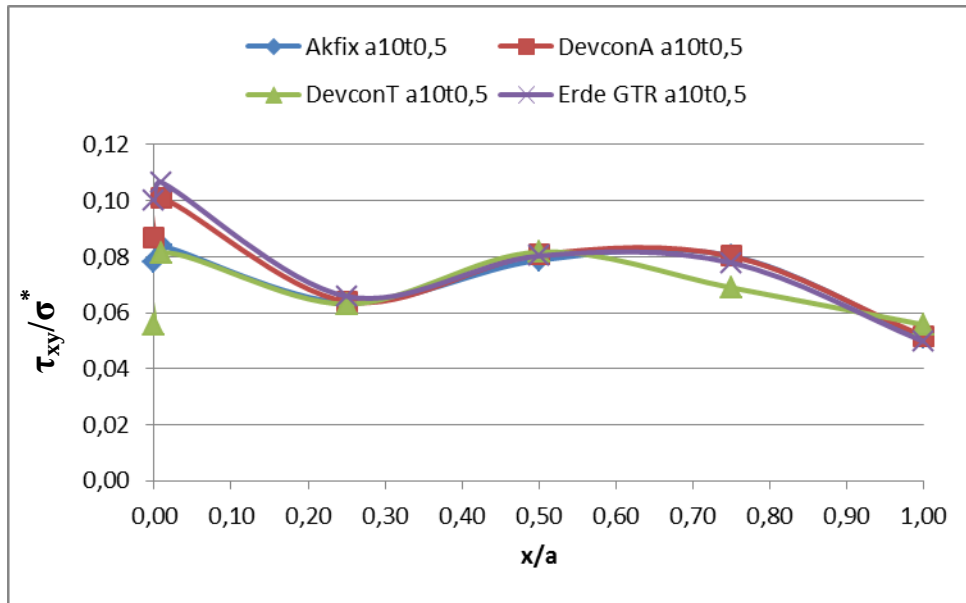
Şekil 3.28.b



Şekil 3.28.c



Şekil 3.28.d



Şekil 3.28.e

Şekil 3.28. $a=10$ mm bindirme uzunluğu ve sabit $t=0.5$ mm yapıştırıcı kalınlığında prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan; (a) eşdeğer ($\sigma_{eş}$), (b) normal (σ_x), (c) soyulma (σ_y), (d) normal (σ_z) ve (e) kayma (τ_{xy}) gerilme dağılımları

Şekil 3.29 Akfix E300, Devcon A, Devcon Titanyum ve Erde GTR kullanılarak $a=20$ mm bindirme uzunluğu ve sabit $t=0.5$ mm yapıştırıcı kalınlığında prizmatik geçmeli bağlantıda A-C hattı boyunca oluşan gerilme dağılımlarını göstermektedir.

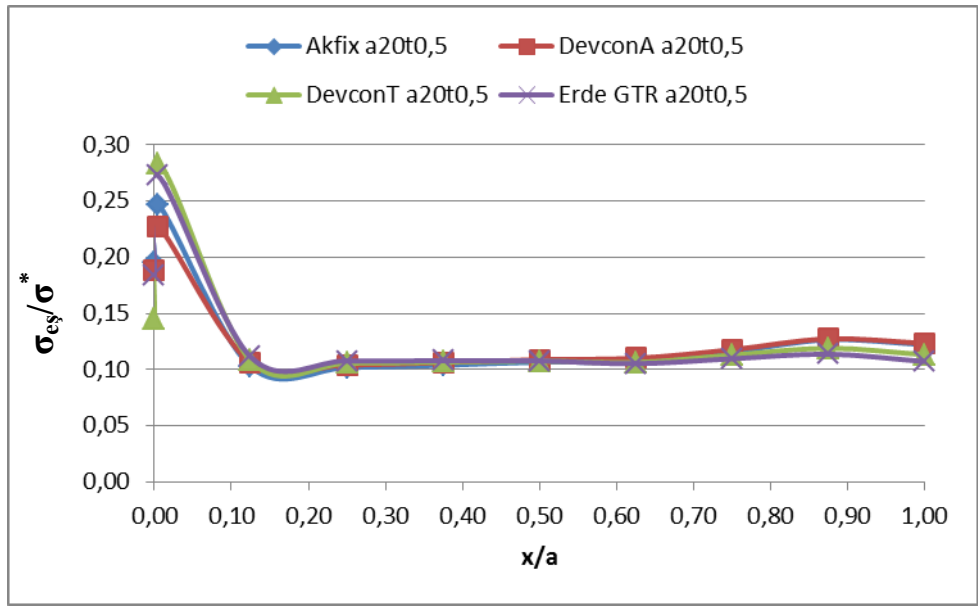
Şekil 3.29.a, dört yapıştırıcı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan eşdeğer gerilme dağılımını göstermektedir. Eşdeğer gerilme dağılımı oranı tüm yapıştırıcılarda $0 \leq x/a \leq 0.01$ aralığında artarak $x/a = 0.01$ 'de maksimum değerler almıştır. Eşdeğer gerilme oranı $0.01 \leq x/a \leq 0.12$ aralığında azalma göstermiş ve $x/a = 0.12$ 'den itibaren bağlantının sonuna kadar x eksenine paralel bir karakter sergilemiştir. Eşdeğer gerilme oranı 0.28 değeri ile en yüksek Devcon Titanyum'a ait iken en düşük 0.22 ile Devcon A'ya aittir. Gerilme oranları arasında 1.27 katlık bir fark görülmektedir.

Şekil 3.29.b, dört yapıştırıcı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan normal gerilme dağılımını göstermektedir. Tüm yapıştırıcılarda A-A' hattında artarak $x/a = 0.05$ 'te normal gerilme maksimum değere ulaşmıştır. Normal gerilme oranı $0.05 \leq x/a \leq 0.12$ aralığında azalarak B-C aralığında 0'a yakın ve x eksenine paralel bir durum sergilemektedir. Normal gerilme oranı 0.56 değeri ile en yüksek Erde GTR'ye ait iken en düşük 0.42 ile Akfix E300'e aittir.

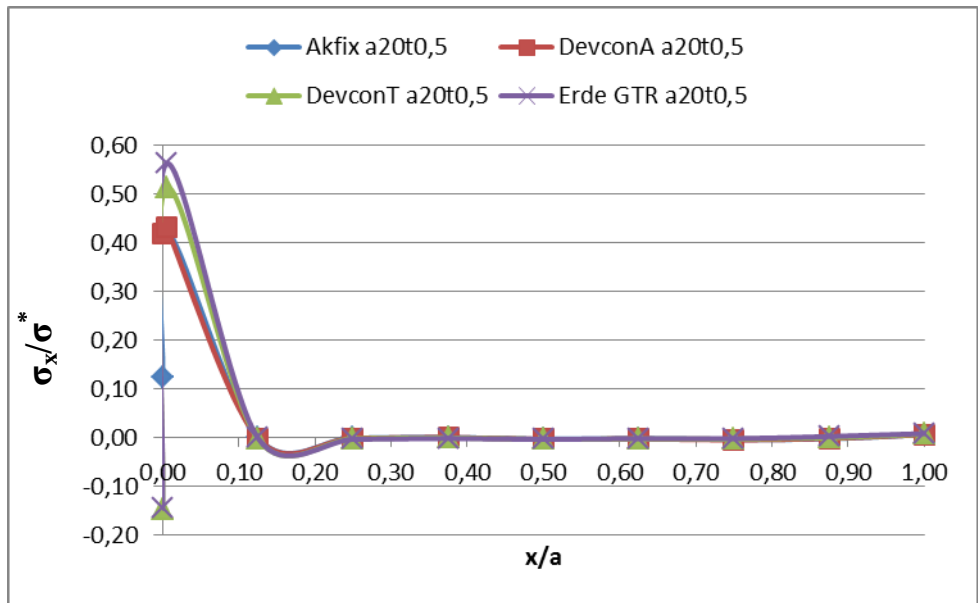
Şekil 3.29.c, dört yapıştırıcı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında soyulma gerilme dağılımını göstermektedir. Gerilme dağılımı olarak Şekil 3.29.b'ye benzer bir durum görülmektedir.

Şekil 3.29.d, dört yapıştırıcı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan z -ekseni yönündeki gerilme dağılımını göstermektedir. Gerilme dağılımı olarak Şekil 3.29.b'ye benzer bir durum görülmektedir.

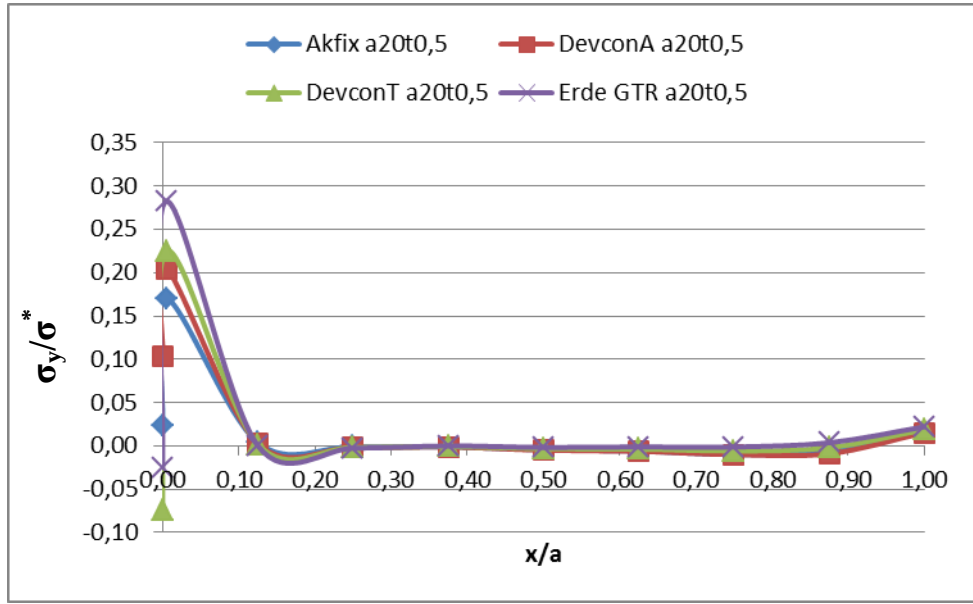
Şekil 3.29.e, dört yapıştırıcı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan kayma gerilmesi dağılımını göstermektedir. Kayma gerilmesi dağılımı oranı tüm yapıştırıcılarda $0 \leq x/a \leq 0.05$ aralığında azalma, $0.05 \leq x/a \leq 0.12$ aralığında artma göstermiş ve $x/a = 1$ 'e yani bağlantının sonuna yaklaştıkça x eksenine paralel devam etmiş bağlantının sonuna doğru az miktarda artış göstermiştir. $x/a = 0.87$ 'de maksimum değerler almıştır. Kayma gerilmesi oranı 0.74 değeri ile en yüksek Devcon A'ya ait iken en düşük 0.65 ile Erde GTR'ye aittir. Gerilme oranları arasında 1.13 katlık bir fark görülmektedir.



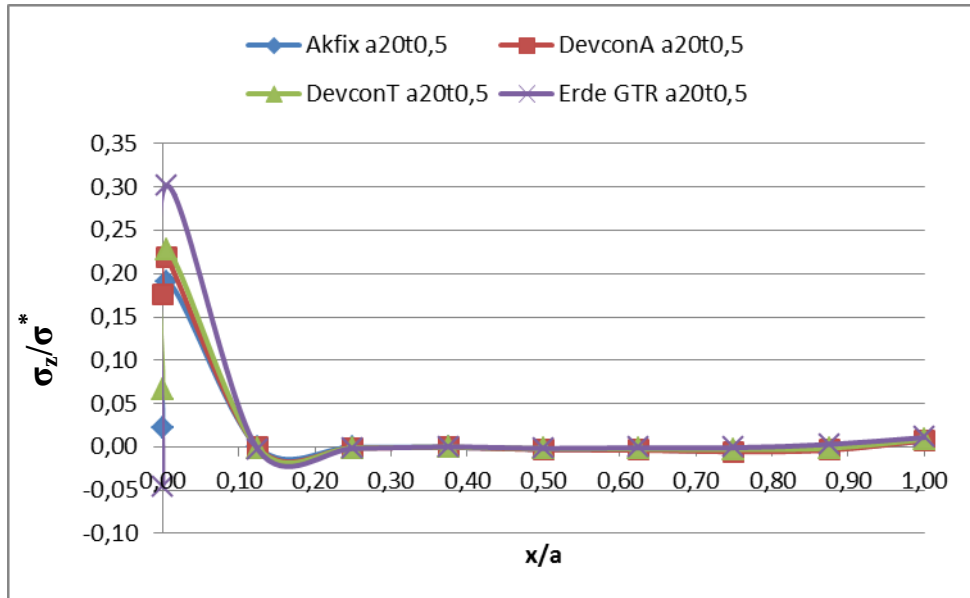
Şekil 3.29.a



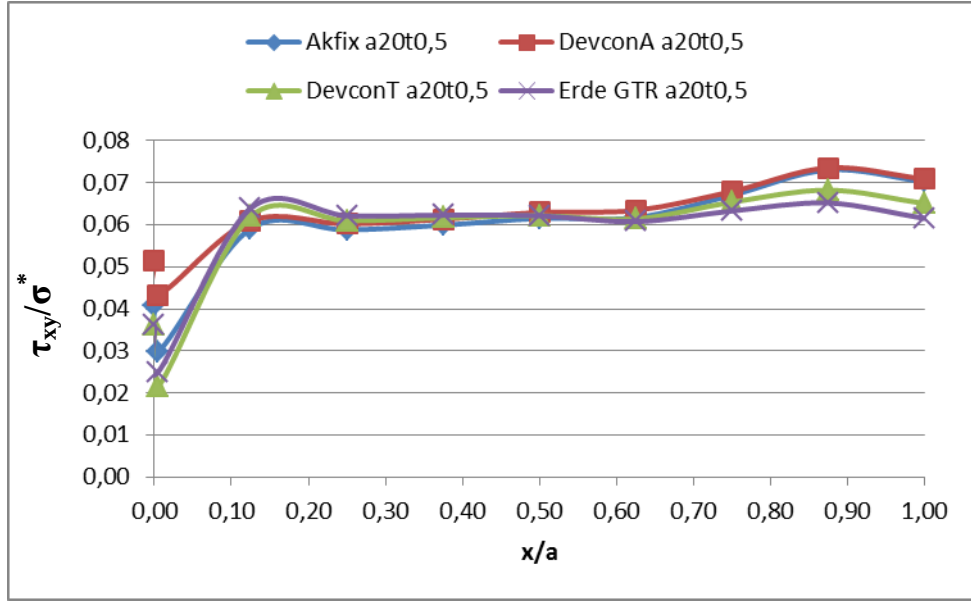
Şekil 3.29.b



Şekil 3.29.c



Şekil 3.29.d



Şekil 3.29.e

Şekil 3.29. $a=20$ mm bindirme uzunluğu ve sabit $t=0.5$ mm yapıştırıcı kalınlığında prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan; (a) eşdeğer ($\sigma_{eş}$), (b) normal (σ_x), (c) soyulma (σ_y), (d) normal (σ_z) ve (e) kayma (τ_{xy}) gerilme dağılımları

Şekil 3.30 Akfix E300, Devcon A, Devcon Titanyum ve Erde GTR kullanılarak $a=30$ mm bindirme uzunluğu ve sabit $t=0.5$ mm yapıştırıcı kalınlığında prizmatik geçmeli bağlantıda A-C hattı boyunca oluşan gerilme dağılımlarını göstermektedir.

Şekil 3.30.a, dört yapıştırıcı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan eşdeğer gerilme dağılımını göstermektedir. Eşdeğer gerilme dağılımı oranı tüm yapıştırıcılarda $x/a = 0$ 'da maksimum değerler almıştır. A' noktasından itibaren azalarak B-C aralığında bağlantının sonuna kadar x eksenine paralel devam etmiştir. Eşdeğer gerilme oranı 0.45 değeri ile en yüksek Erde GTR'ye ait iken en düşük 0.12 ile Akfix E300'e aittir. Gerilme oranları arasında 3.75 katlık bir fark görülmektedir.

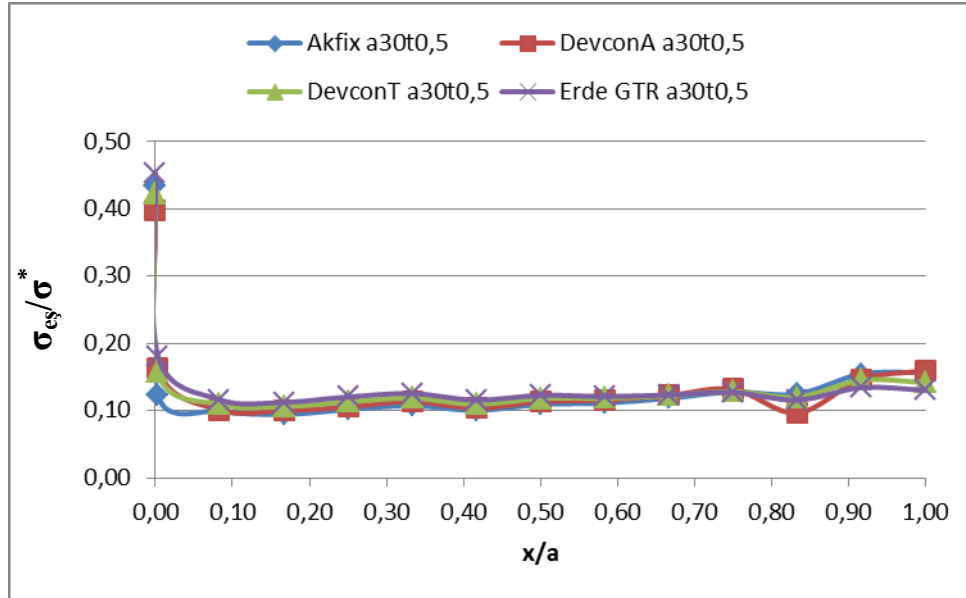
Şekil 3.30.b, dört yapıştırıcı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan normal gerilme dağılımını göstermektedir. Tüm yapıştırıcılarda A noktasında yani $x/a = 0$ 'da normal gerilme maksimum değere ulaşmıştır. $0.03 \leq x/a \leq 0.08$ aralığında normal gerilme oranı azalarak 0'a yaklaşmış ve bağlantının sonuna kadar bu durum devam etmiştir.

Normal gerilme oranı 0.91 değeri ile en yüksek Erde GTR'ye ait iken en düşük 0.70 ile Akfix E300'e aittir.

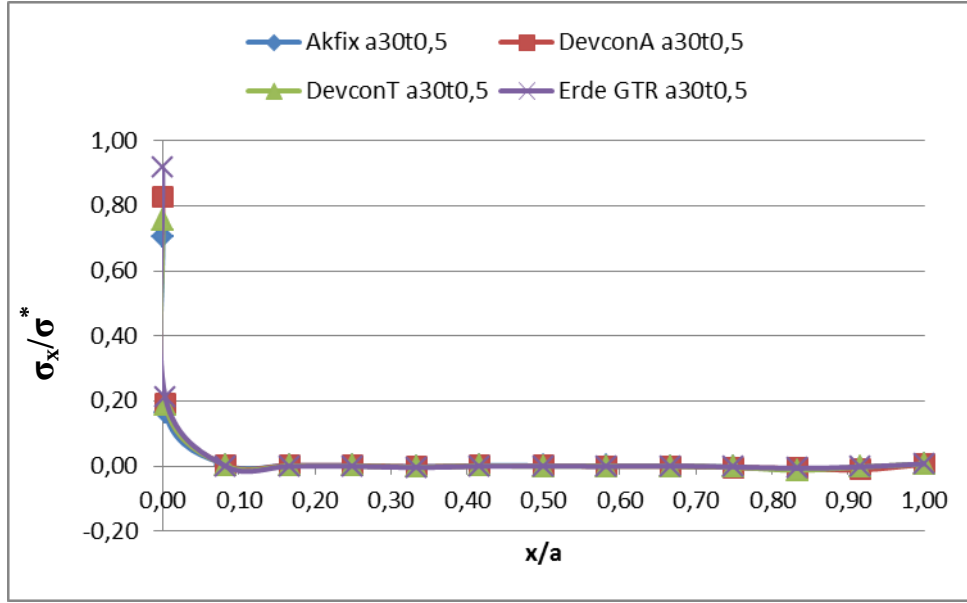
Şekil 3.30.c, dört yapıştırıcı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında soyulma gerilme dağılımını göstermektedir. Gerilme dağılımı olarak Şekil 3.30.b'ye benzer bir durum görülmektedir.

Şekil 3.30.d, dört yapıştırıcı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan z-ekseni yönündeki gerilme dağılımını göstermektedir. Gerilme dağılımı olarak Şekil 3.30.b'ye benzer bir durum görülmektedir.

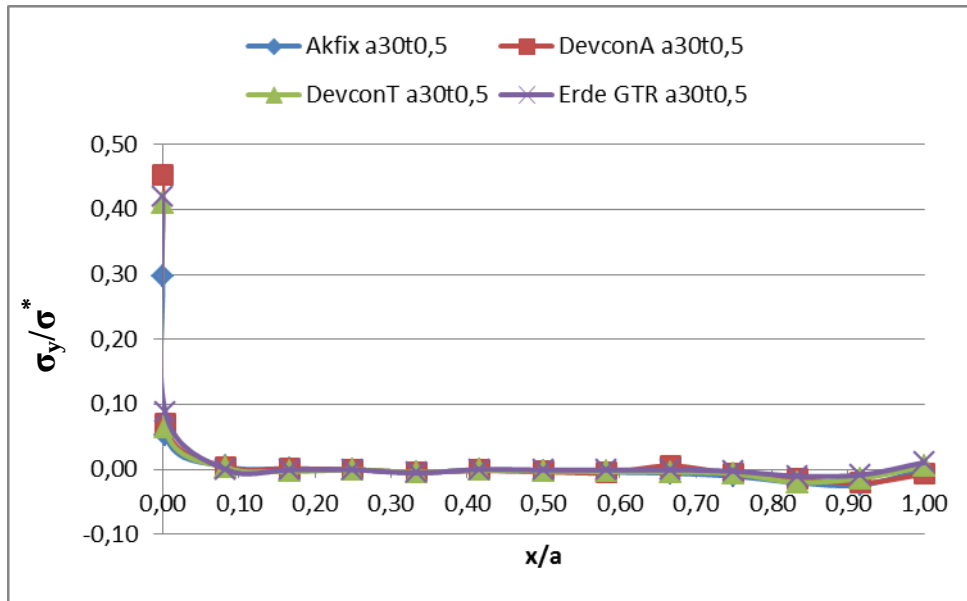
Şekil 3.30.e, dört yapıştırıcı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan kayma gerilmesi dağılımını göstermektedir. Kayma gerilmesi dağılımı oranında tüm yapıştırıcılarda A-A' aralığında artış görülmüş, $0.03 \leq x/a \leq 0.083$ aralığında azalma gerçekleşmiştir. $x/a = 0.16$ 'dan itibaren bağlantının sonuna kadar orantılı bir şekilde artma gerçekleşerek $x/a = 1$ 'de maksimum değerler elde edilmiştir. Kayma gerilmesi oranı 0.095 değeri ile en yüksek Devcon A'ya ait iken en düşük 0.075 ile Erde GTR'ye aittir. Gerilme oranları arasında 1.26 katlık bir fark ortaya çıkmıştır.



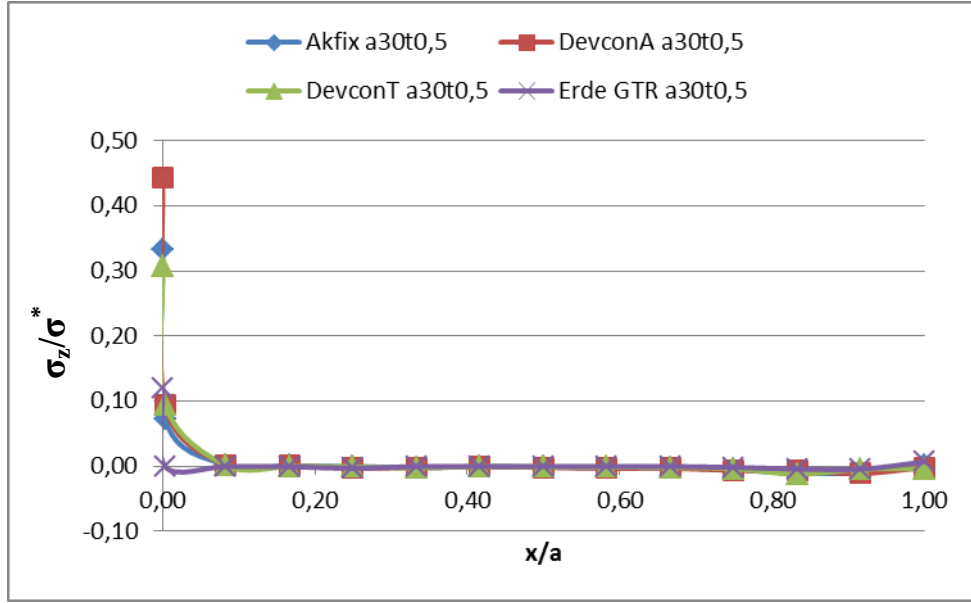
Şekil 3.30.a



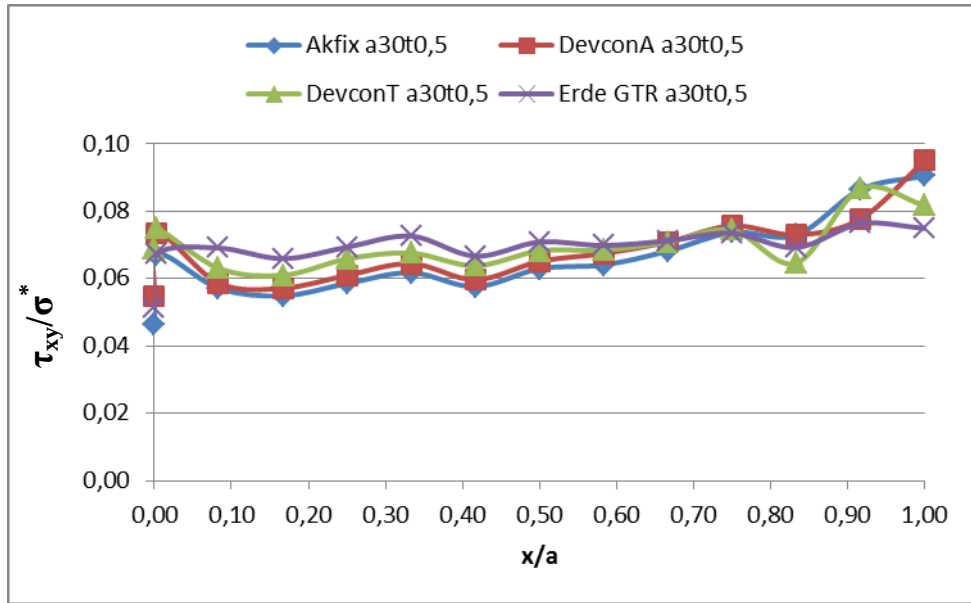
Şekil 3.30.b



Şekil 3.30.c



Şekil 3.30.d



Şekil 3.30.e

Şekil 3.30. $a=30$ mm bindirme uzunluğu ve sabit $t=0.5$ mm yapıştırıcı kalınlığında prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan; **(a)** eşdeğer ($\sigma_{eş}$), **(b)** normal (σ_x), **(c)** soyulma (σ_y), **(d)** normal (σ_z) ve **(e)** kayma (τ_{xy}) gerilme dağılımları

3.4.2. Yapıştırıcı Kalınlığının Bağlantı Dayanımı Üzerine Etkisi

Bu bölümde bindirme uzunlukları sabit tutulup ($a=10,20$ ve 30 mm) her bindirme uzunluğunda $t=0,1-0,3$ ve $0,5$ mm yapıştırıcı kalınlığı için elde edilen gerilme grafikleri verilmiştir.

3.4.2.1. Akfix E300 Gerilme Dağılımları

Şekil 3.31 Akfix E300 ile birleştirilmiş sabit $a=10$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0,1, 0,3$ ve $0,5$ mm yapıştırıcı kalınlığında prizmatik geçmeli bağlantıda A-C hattı boyunca oluşan gerilme dağılımlarını göstermektedir.

Şekil 3.31.a, Akfix E300 ile birleştirilmiş $a=10$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0,1, 0,3$ ve $0,5$ mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan eşdeğer gerilme dağılımı oranlarını göstermektedir. Eşdeğer gerilme oranı $t=0,3$ ve $t=0,5$ mm yapıştırıcı kalınlığı için $x/a = 0$ 'da maksimum değerler almakta iken $x/a = 1$ 'de minimum değerler almıştır. Eşdeğer gerilme oranı $t=0,1$ mm yapıştırıcı kalınlığında ise bu durumun tam tersi $x/a = 0$ 'da minimum $x/a = 1$ 'de maksimum değerler almıştır. Eş değer gerilme oranı $t=0,3$ ve $t=0,5$ için benzer karakter sergilediği görülürken $t=0,1$ 'de tamamen farklı bir durum söz konusu olmuştur. Yapıştırıcı kalınlığı arttıkça eşdeğer gerilme oranında da azalma açıkça görülmektedir.

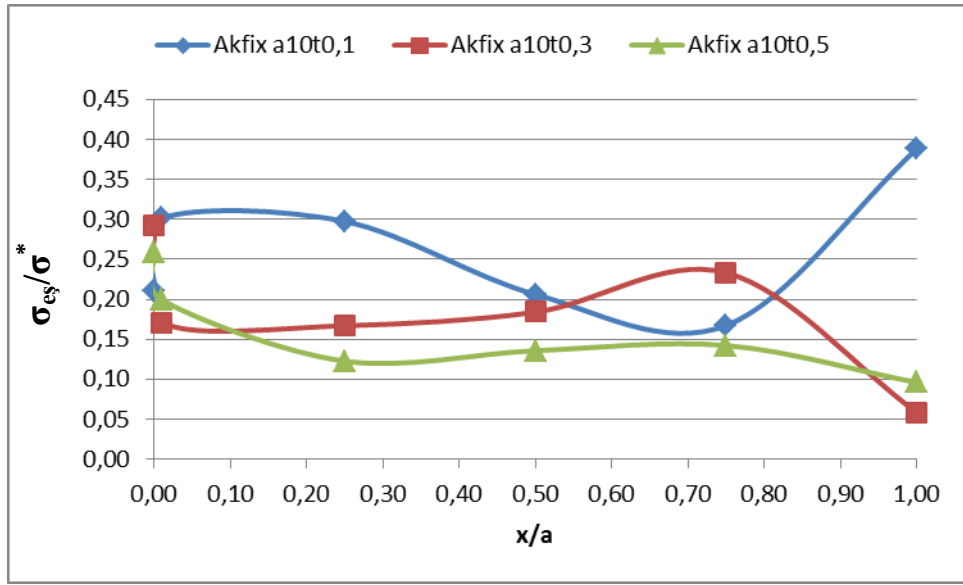
Şekil 3.31.b, Akfix E300 ile birleştirilmiş $a=10$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0,1, 0,3$ ve $0,5$ mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan normal gerilme dağılımı oranlarını göstermektedir. Normal gerilme oranı $x/a = 0$ 'da tüm kalınlıklar için maksimum değerler almıştır. Burada dikkat edilmesi gereken durum, $x/a=0$ 'da gerilme $t=0,1$ mm için normal gerilme, çekme gerilmesi şeklinde etki göstermekte iken $t=0,3$ ve $t=0,5$ mm için basma gerilmesi şeklinde etki göstermektedir. $0,01 \leq x/a \leq 0,25$ aralığında gerilme oranında azalma görülürken bu aralıktan bağlantının sonuna kadar tüm yapıştırıcı kalınlıklarında x eksenı boyunca 0 'a çok yakın değerler elde edilmiştir. Maksimum değerler $x/a = 0$ 'da $t=0,1$ için $0,53$, $t=0,3$ için $0,64$ ve $t=0,5$ için $0,31$ iken minimum değerler $x/a = 1$ 'de $t=0,1$ için $0,04$, $t=0,3$ için $0,03$ ve

$t=0.5$ için 0.01 elde edilmiştir. Yapıştırıcı kalınlığı arttıkça normal gerilme oranında azalma görülmüştür.

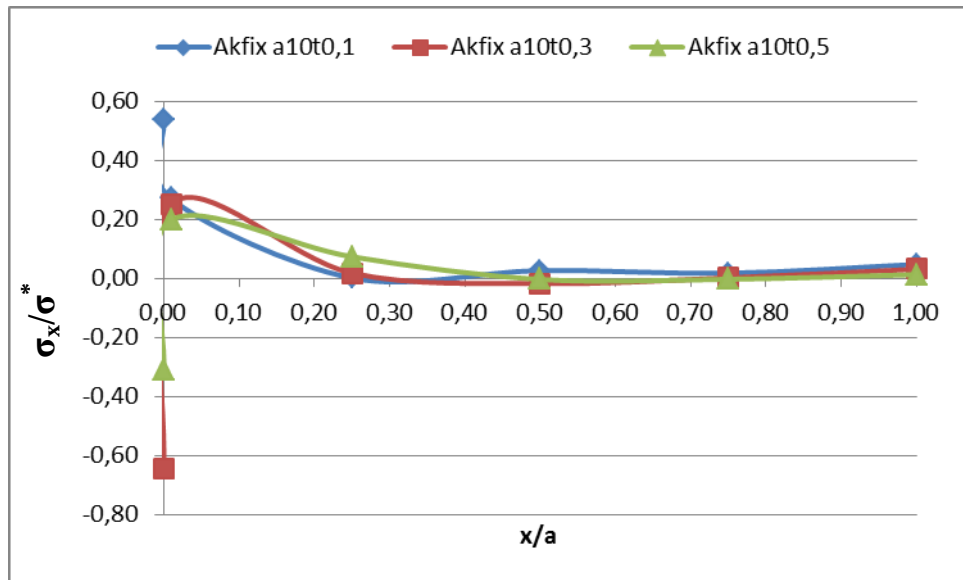
Şekil 3.31.c, Akfix E300 ile birleştirilmiş $a=10$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan soyulma gerilme dağılımı oranlarını göstermektedir. Soyulma gerilmesi oranı $x/a = 0$ 'da tüm kalınlıklar için maksimum değerler almıştır. $t=0.1$ ve $t=0.3$ mm için soyulma gerilmesi çekme gerilmesi şeklinde iken $t=0.5$ için basma gerilmesi şeklinde etki göstermiştir. x/a 'nın artan değerlerinde $t=0.3$ ve $t=0.5$ mm yapıştırıcı kalınlığında basma gerilmesi şeklinde benzer değişimler görülürken $t=0.1$ mm için x eksenini boyunca 0 'a çok yakın çekme gerilmesi şeklinde değerler görülmüştür. Maksimum değerler $x/a = 0$ 'da $t=0.1$ için 0.23, $t=0.3$ için 0.04 ve $t=0.5$ için 0.06 iken minimum değerler $x/a = 1$ 'de $t=0.1$ için 0.012, $t=0.3$ için 0.062 ve $t=0.5$ için 0.049 elde edilmiştir. Yapıştırıcı kalınlığı arttıkça soyulma gerilme oranında azalma görülmüştür. Maksimum değerler açısından $t=0.1$ mm ile $t=0.3$ mm arasında 5.75 katlık bir fark oluşmuştur. Bu durumda oldukça dikkat çekicidir.

Şekil 3.31.d, Akfix E300 ile birleştirilmiş $a=10$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında z -ekseni yönündeki gerilme dağılımını göstermektedir. Gerilme dağılımı olarak Şekil 3.31.b'ye benzer bir durum görülmektedir.

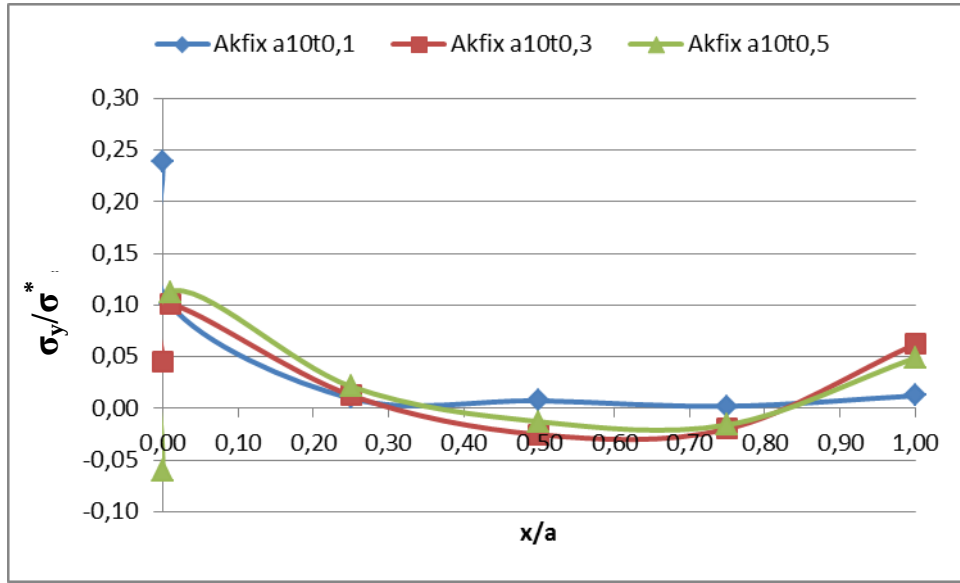
Şekil 3.31.e, Akfix E300 ile birleştirilmiş $a=10$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan kayma gerilmesi dağılımını göstermektedir. Kayma gerilmesi oranı $t=0.1$ için $t=0.3$ ve $t=0.5$ 'ten farklı bir durum göstermiştir. $t=0.1$ için kayma gerilmesi oranı $x/a = 0$ 'da minimum, $x/a = 1$ 'de maksimum değer almıştır. Diğer iki kalınlıkta yapıştırıcı bağlantının başında ve sonunda hemen hemen aynı gerilme değerleri görülmüş ve bağlantının orta noktasını geçtikten sonra gerilme değerlerinde artış olmuş $x/a = 0.75$ 'de maksimum değerler elde edilmiştir. Tüm yapıştırıcı kalınlıkları için $x/a = 0$ 'da birbirine çok yakın gerilme değerleri elde edilirken bağlantının sonunda çok farklı değerler elde edilmiştir.



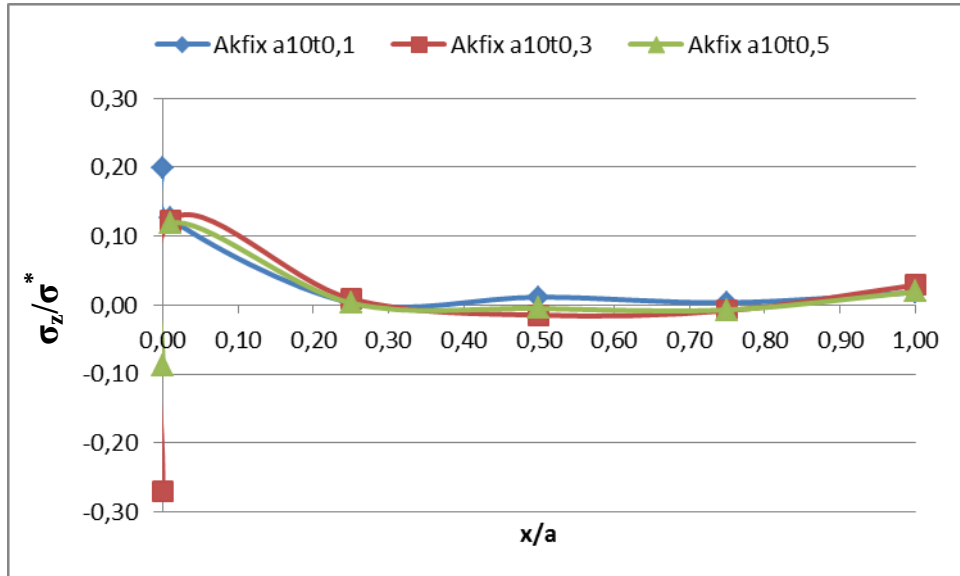
Şekil 3.31.a



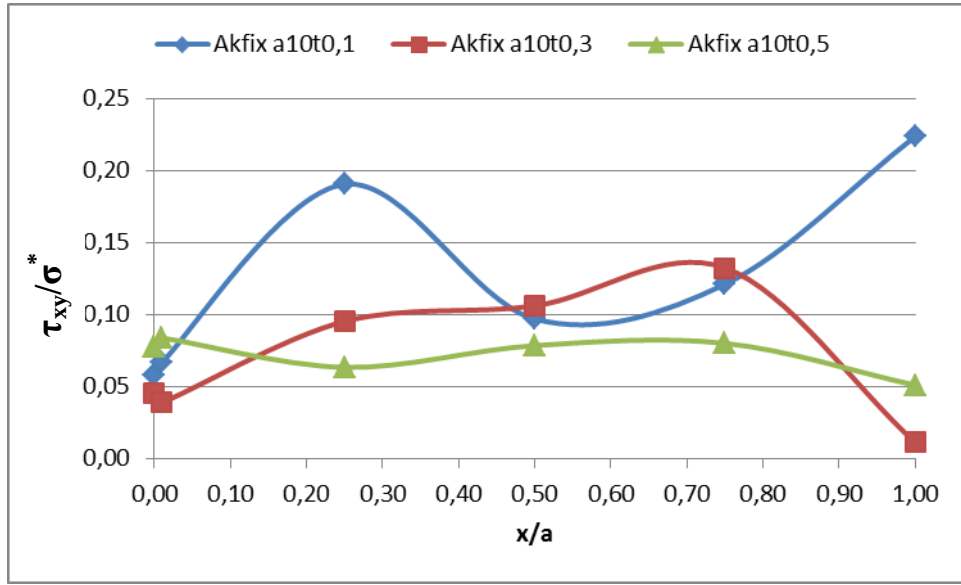
Şekil 3.31.b



Şekil 3.31.c



Şekil 3.31.d



Şekil 3.31.e

Şekil 3.31. Akfix E300 ile birleştirilmiş $a=10$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan; (a) eşdeğer ($\sigma_{eş}$), (b) normal (σ_x), (c) soyulma (σ_y), (d) normal (σ_z) ve (e) kayma (τ_{xy}) gerilme dağılımları

Şekil 3.32 Akfix E300 ile birleştirilmiş sabit $a=20$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığında prizmatik geçmeli bağlantıda A-C hattı boyunca oluşan gerilme dağılımlarını göstermektedir

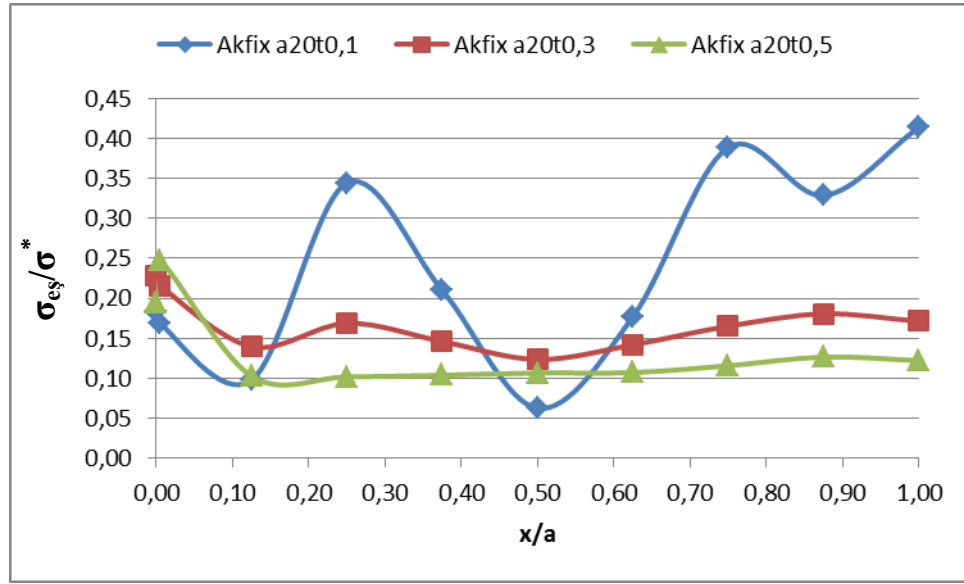
Şekil 3.32.a, Akfix E300 ile birleştirilmiş $a=20$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan eşdeğer gerilme dağılımı oranlarını göstermektedir. Eşdeğer gerilme oranı $t=0.3$ ve $t=0.5$ mm yapıştırıcı kalınlığı için $x/a = 0$ 'da maksimum değerler almakta iken $x/a = 1$ 'de minimum değerler almıştır. Eşdeğer gerilme oranı $t=0.1$ mm yapıştırıcı kalınlığında ise $x/a = 0$ 'da minimum $x/a = 1$ 'de maksimum değer almıştır. Eşdeğer gerilme oranı $t=0.3$ ve $t=0.5$ için benzer karakter sergilediği görülürken $t=0.1$ 'de farklı bir yapı sergilemiştir. $t=0.1$ mm yapıştırıcı kalınlığında dalgalı bir form görülürken, $t=0.3$ ve $t=0.5$ mm yapıştırıcı kalınlıklarında eşdeğer gerilmenin yapıştırma hattı boyunca düzgün dağıldığı görülmektedir. Yapıştırıcı kalınlığı arttıkça eşdeğer gerilme oranında azalma açıkça görülmektedir.

Şekil 3.32.b, Akfix E300 ile birleştirilmiş $a=20$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan normal gerilme dağılımı oranlarını göstermektedir. Normal gerilme oranı $t=0.1$ için $x/a = 0$ 'da (A noktası) maksimum değer olarak bağlantının sonuna kadar küçük dalgalı bir formda devam etmiştir. $t=0.3$ ve $t=0.5$ için $x/a = 0.05$ ' te (B noktası) maksimum değer almış ve bağlantının sonuna kadar x eksenine paralel 0 ' a yakın değerlerde devam etmiştir. Yapıştırıcı kalınlığı arttıkça normal gerilme oranında azalma görülmüştür.

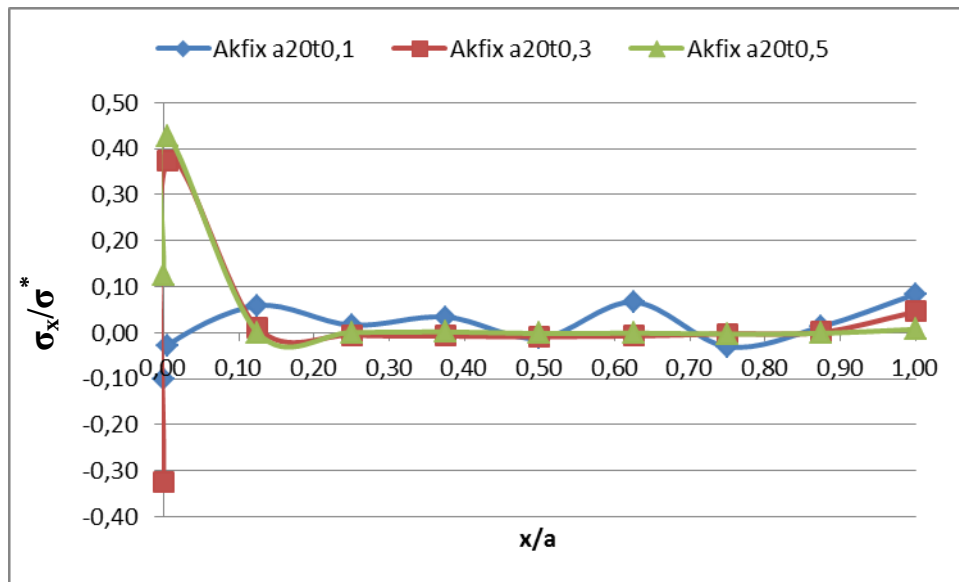
Şekil 3.32.c, Akfix E300 ile birleştirilmiş $a=20$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan soyulma gerilme dağılımı oranlarını göstermektedir. Gerilme dağılımı olarak Şekil 3.32.b'ye benzer bir durum görülmektedir.

Şekil 3.32.d, Akfix E300 ile birleştirilmiş $a=20$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında z -ekseni yönündeki gerilme dağılımını göstermektedir. Gerilme dağılımı olarak Şekil 3.32.b'ye benzer bir durum görülmektedir.

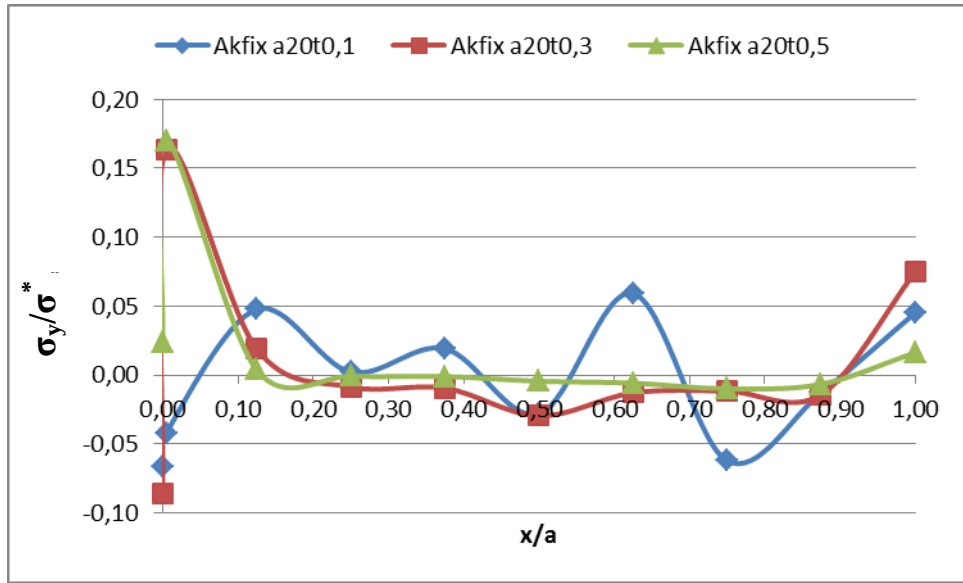
Şekil 3.32.e, Akfix E300 ile birleştirilmiş $a=20$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan kayma gerilmesi dağılımını göstermektedir. Kayma gerilmesi oranı $t=0.1$ için $t=0.3$ ve $t=0.5$ 'ten farklı bir durum göstermiştir. $t=0.1$ için kayma gerilmesi oranı $x/a = 0.5$ 'de minimum, $x/a = 1$ 'de maksimum değer almıştır. Diğer iki kalınlıkta yapıştırıcı bağlantının başında ve sonunda hemen hemen aynı gerilme değerleri görülmüş ve bağlantının orta noktasını geçtikten sonra gerilme değerlerinde artış olmuş $x/a = 1$ 'de maksimum değerler elde edilmiştir. Tüm yapıştırıcı kalınlıkları için $x/a = 0$ 'da birbirine çok yakın gerilme değerleri elde edilirken bağlantının sonunda çok farklı değerler elde edilmiştir. Kayma gerilmesi dağılımının $t=0.3$ ve $t=0.5$ mm yapıştırıcı kalınlıklarında düzgün dağılmasının nedeni gerilmenin yapıştırıcı üzerinde A-C hattı boyunca yayılmasıdır. Yapıştırıcı kalınlığı arttıkça bu durum daha da belirgin hale gelmektedir. $t=0.1$ mm yapıştırıcı kalınlığında ise gerilme yapıştırıcı tabakası üzerinde düzgün dağılmayıp dalgalı bir yapı izleyerek bağlantının orta noktasında 0 değeri almıştır. Kayma gerilmesi dağılımı açısından $t=0.3$ ve $t=0.5$ mm yapıştırıcı kalınlıklarının uygun olduğu görülmektedir.



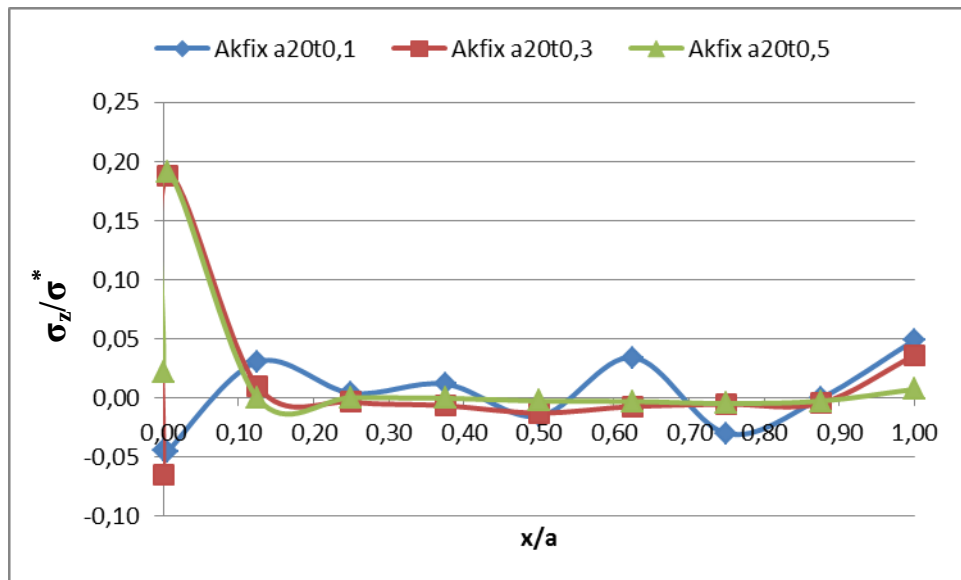
Şekil 3.32.a



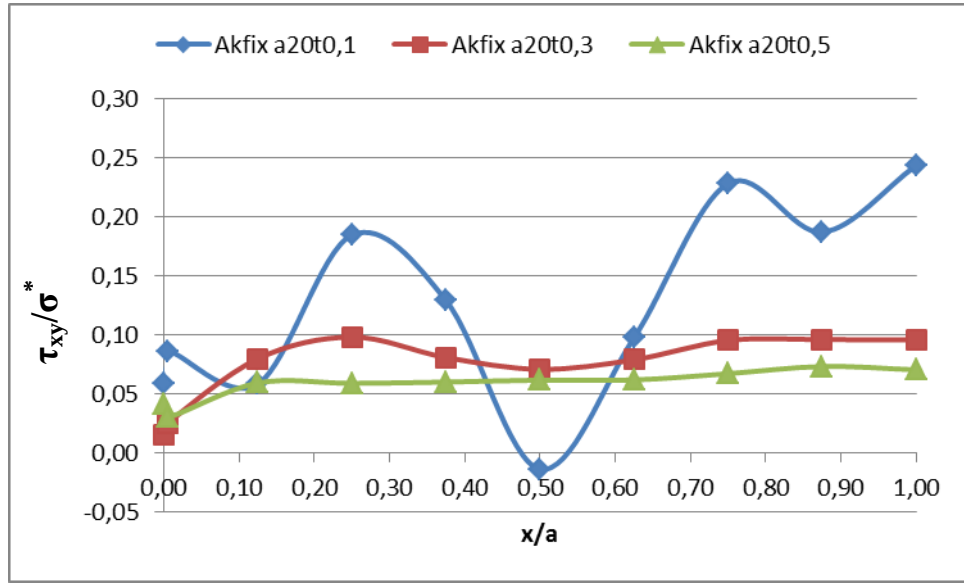
Şekil 3.32.b



Şekil 3.32.c



Şekil 3.32.d



Şekil 3.32.e

Şekil 3.32. Akfix E300 ile birleştirilmiş a=20 mm bindirme uzunluğu ve t=0.1, 0.3 ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan; (a) eşdeğer ($\sigma_{eş}$), (b) normal (σ_x), (c) soyulma (σ_y), (d) normal (σ_z) ve (e) kayma (τ_{xy}) gerilme dağılımları

Şekil 3.33 Akfix E300 ile birleştirilmiş sabit a=30 mm bindirme uzunluğu ve t=0.1, 0.3 ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığında prizmatik geçmeli bağlantıda A-C hattı boyunca oluşan gerilme dağılımlarını göstermektedir

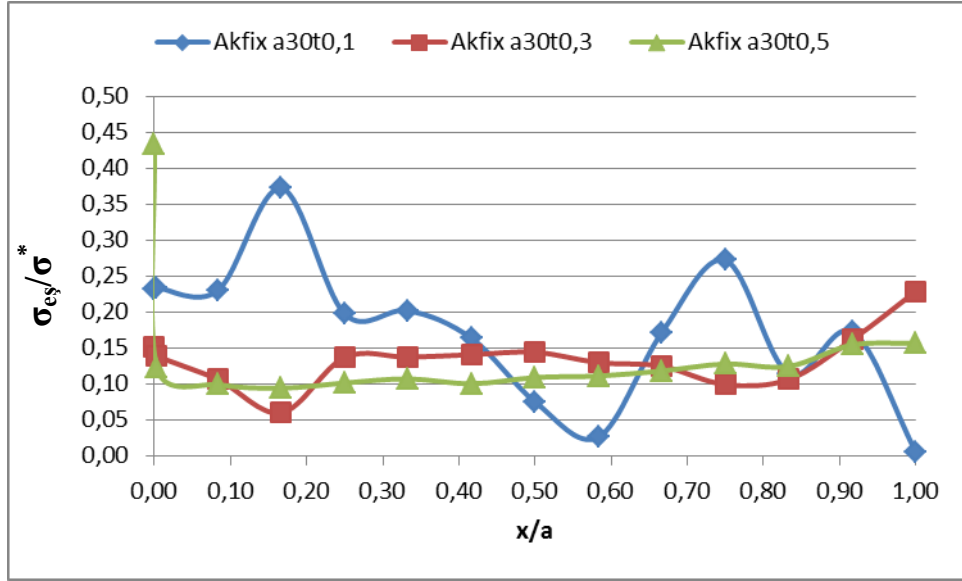
Şekil 3.33.a, Akfix E300 ile birleştirilmiş a=30 mm bindirme uzunluğu ve t=0.1, 0.3 ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan eşdeğer gerilme dağılımı oranlarını göstermektedir. Eşdeğer gerilme oranı t=0.1 için x/a = 0.16'da maksimum değer almakta iken t=0.3 ve t=0.5 mm yapıştırıcı kalınlığı için minimum değerler almıştır. x/a =0.58 ve x/a= 1'de t=0.1 için eşdeğer gerilme oranı minimum değer almıştır. t=0.3 ve t=0.5 mm yapıştırıcı kalınlığında ise eşdeğer gerilme x/a =1'de maksimum değer almıştır. Eş değer gerilme oranı t=0.3 ve t=0.5 için benzer karakter sergilediği görülürken t=0.1'de farklı bir yapı sergilemiştir. t=0.1 mm yapıştırıcı kalınlığında dalgalı bir form görülürken, t=0.3 ve t=0.5 mm yapıştırıcı kalınlıklarında eşdeğer gerilmenin yapıştırma hattı boyunca düzgün dağıldığı görülmektedir.

Şekil 3.33.b, Akfix E300 ile birleştirilmiş $a=30$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan normal gerilme dağılımı oranlarını göstermektedir. Normal gerilme oranı tüm yapıştırıcı kalınlıklarında $x/a = 0$ 'da (A noktası) maksimum değer olarak bağlantının sonuna kadar küçük dalgalı bir formda devam etmiştir. En büyük gerilme oranı $t=0.1$ mm yapıştırıcı kalınlığına aittir. Yapıştırıcı kalınlığı arttıkça normal gerilme oranında azalma görülmüştür.

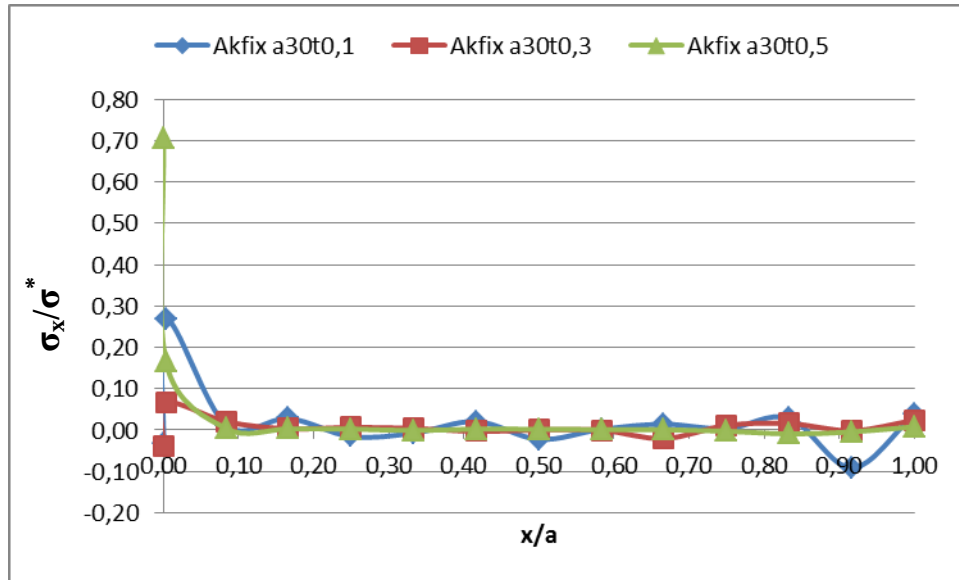
Şekil 3.33.c, Akfix E300 ile birleştirilmiş $a=30$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan soyulma gerilme dağılımı oranlarını göstermektedir. Gerilme dağılımı olarak Şekil 3.33.b'ye benzer bir durum görülmektedir.

Şekil 3.33.d, Akfix E300 ile birleştirilmiş $a=30$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında z-ekseni yönündeki gerilme dağılımını göstermektedir. Gerilme dağılımı olarak Şekil 3.33.b'ye benzer bir durum görülmektedir.

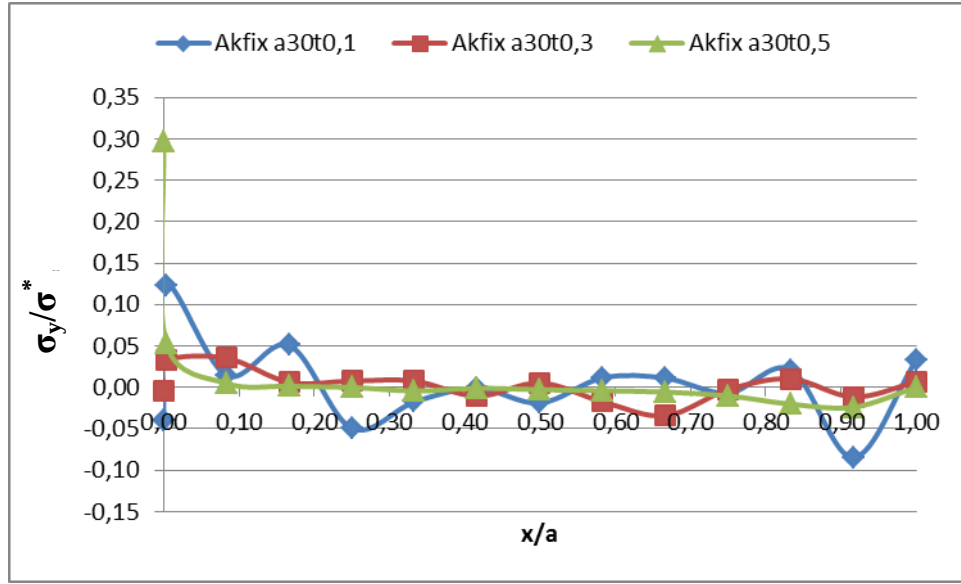
Şekil 3.3.e, Akfix E300 ile birleştirilmiş $a=30$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan kayma gerilmesi dağılımını göstermektedir. Kayma gerilmesi oranı $t=0.1$ için $t=0.3$ ve $t=0.5$ 'ten farklı bir durum göstermiştir. $t=0.1$ için kayma gerilmesi oranı $x/a= 0.58$ 'de minimum değer almıştır. Diğer iki yapıştırıcı kalınlığında $x/a= 0$ 'da minimum ve $x/a= 1$ 'de maksimum değerler elde edilmiştir. Kayma gerilmesi dağılımının $t=0.3$ ve $t=0.5$ mm yapıştırıcı kalınlıklarında düzgün dağılmasının nedeni gerilmenin yapıştırıcı üzerinde A-C hattı boyunca yayılmasıdır. Yapıştırıcı kalınlığı arttıkça bu durum daha da belirgin hale gelmektedir. $t=0.1$ mm yapıştırıcı kalınlığında ise gerilme yapıştırıcı tabakası üzerinde düzgün dağılmayıp dalgalı bir yapı izleyerek bağlantının orta noktası civarında 0 değeri almıştır. Kayma gerilmesi dağılımı açısından $t=0.5$ mm yapıştırıcı kalınlığının uygun olduğu görülmektedir.



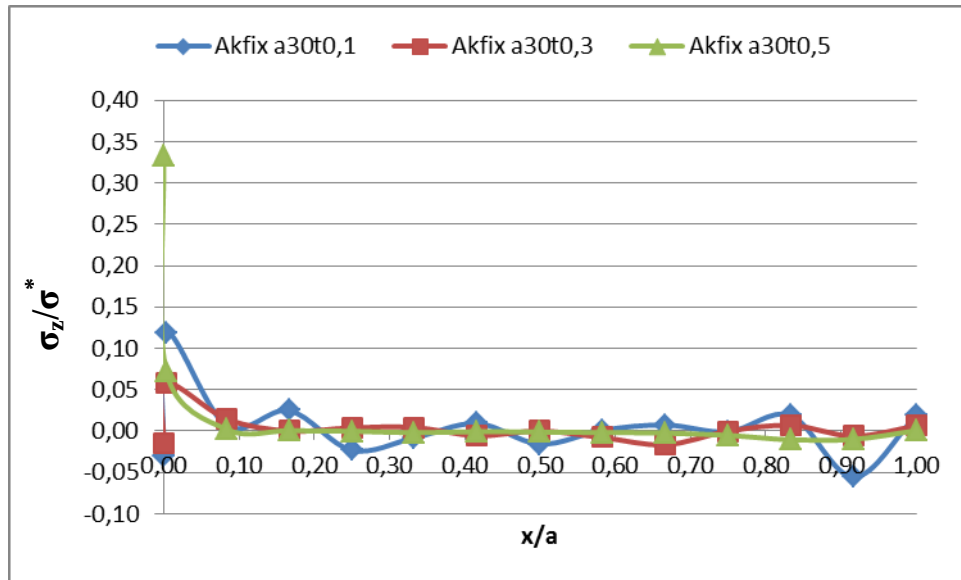
Şekil 3.33.a



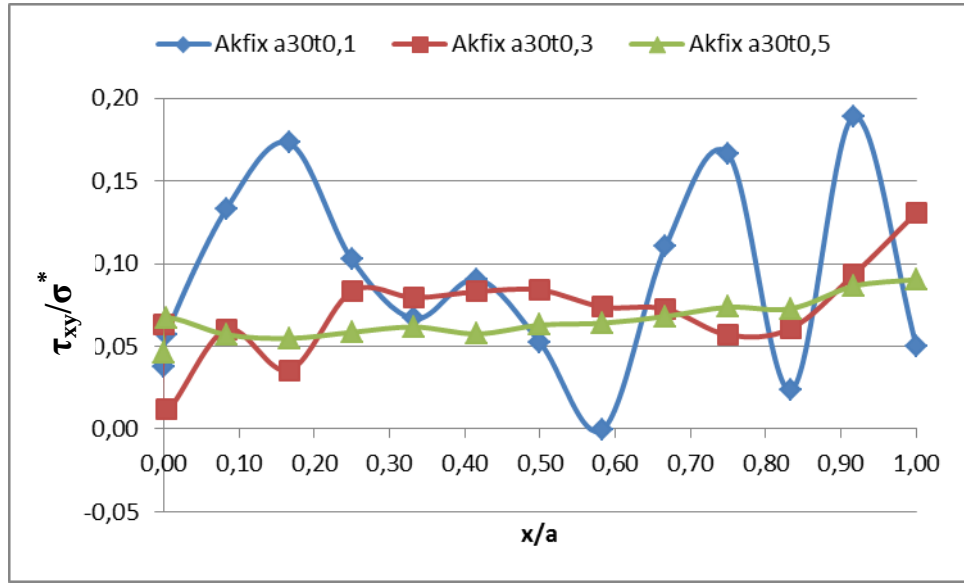
Şekil 3.33.b



Şekil 3.33.c



Şekil 3.33.d



Şekil 3.33.e

Şekil 3.33. Akfix E300 ile birleştirilmiş $a=30$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan; (a) eşdeğer ($\sigma_{eş}$), (b) normal (σ_x), (c) soyulma (σ_y), (d) normal (σ_z) ve (e) kayma (τ_{xy}) gerilme dağılımları

3.4.2.2. Devcon A Gerilme Dağılımları

Şekil 3.34 Devcon A ile birleştirilmiş sabit $a=10$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığında prizmatik geçmeli bağlantıda A-C hattı boyunca oluşan gerilme dağılımlarını göstermektedir

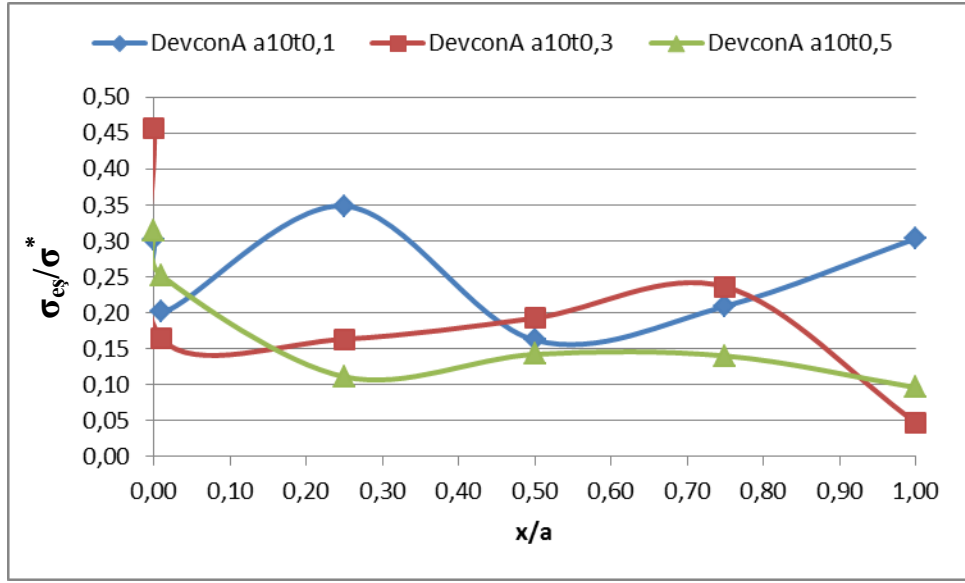
Şekil 3.34.a, Devcon A ile birleştirilmiş $a=10$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan eşdeğer gerilme dağılımı oranlarını göstermektedir. Eşdeğer gerilme oranı $t=0.3$ ve $t=0.5$ mm yapıştırıcı kalınlığı için $x/a=0$ 'da maksimum değerler almakta iken $x/a=1$ 'de minimum değerler almıştır. Eşdeğer gerilme oranı $t=0.1$ mm yapıştırıcı kalınlığında ise $x/a=0$ ve $x/a=0.5$ 'de minimum, $x/a=0.25$ ve $x/a=1$ 'de maksimum değerler almıştır. Eş değer gerilme oranının $t=0.3$ ve $t=0.5$ için benzer karakter sergilediği görülürken $t=0.1$ 'de farklı bir durum söz konusudur. Yapıştırıcı kalınlığı arttıkça eşdeğer gerilme oranında da azalma açıkça görülmektedir.

Şekil 3.34.b, Devcon A ile birleştirilmiş $a=10$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan normal gerilme dağılımı oranlarını göstermektedir. Normal gerilme oranı $x/a = 0$ 'da tüm kalınlıklar için maksimum değerler almıştır. $x/a = 0$ 'da gerilme $t=0.1$ mm için normal gerilme çekme gerilmesi şeklinde etki göstermekte iken $t=0.3$ ve $t=0.5$ mm için basma gerilmesi şeklinde etki göstermektedir. $0.01 \leq x/a \leq 0.25$ aralığında gerilme oranında azalma görülürken bu aralıktan bağlantının sonuna kadar tüm yapıştırıcı kalınlıklarında x eksenı boyunca 0 'a çok yakın değerler elde edilmiştir.

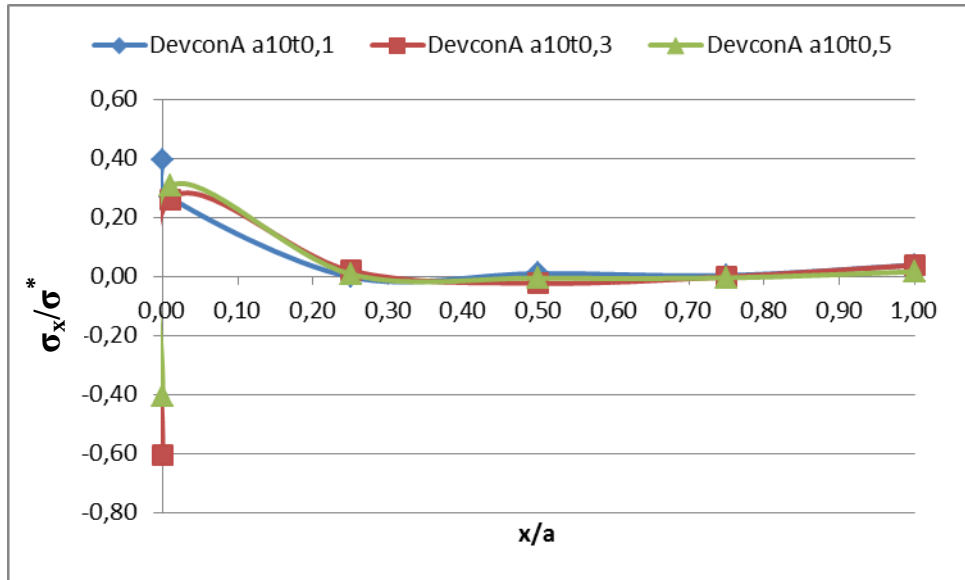
Şekil 3.34.c, Devcon A ile birleştirilmiş $a=10$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan soyulma gerilme dağılımı oranlarını göstermektedir. Gerilme dağılımı olarak Şekil 3.34.b'ye benzer bir durum görülmektedir.

Şekil 3.34.d, Devcon A ile birleştirilmiş $a=10$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında z -eksenı yönündeki gerilme dağılımını göstermektedir. Gerilme dağılımı olarak Şekil 3.34.b'ye benzer bir durum görülmektedir.

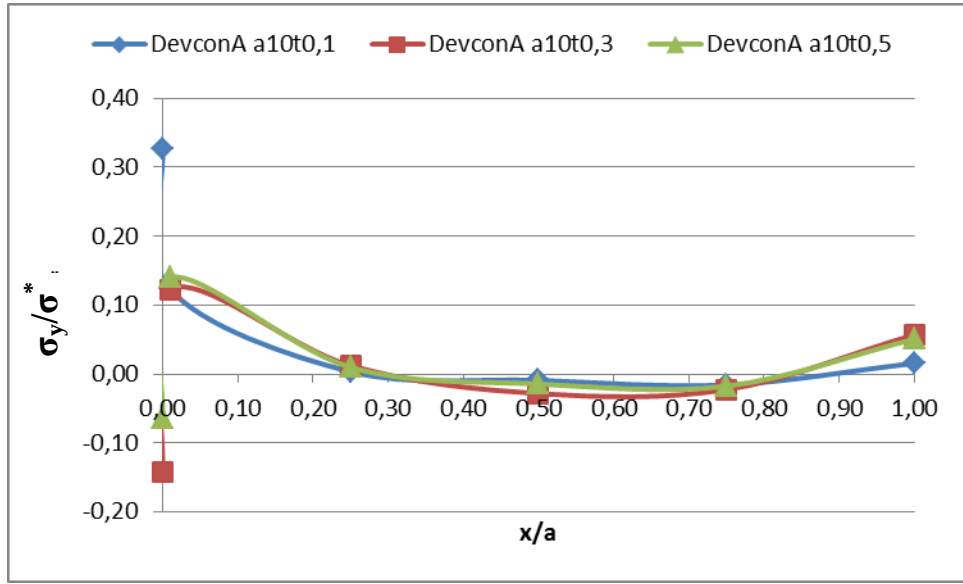
Şekil 3.34.e, Devcon A ile birleştirilmiş $a=10$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan kayma gerilmesi dağılımını göstermektedir. Kayma gerilmesi oranı $t=0.1$ için $t=0.3$ ve $t=0.5$ ' ten farklı bir durum göstermiştir. $t=0.1$ için kayma gerilmesi oranı $x/a = 0$ 'da minimum, $x/a = 1$ 'de maksimum değer almıştır. Diğer iki kalınlıkta yapıştırıcı bağlantının başında ve sonunda hemen hemen aynı gerilme değerleri görülmüş ve bağlantının orta noktasını geçtikten sonra gerilme değerlerinde artış olmuş $x/a = 0.75$ 'de maksimum değerler elde edilmiştir.



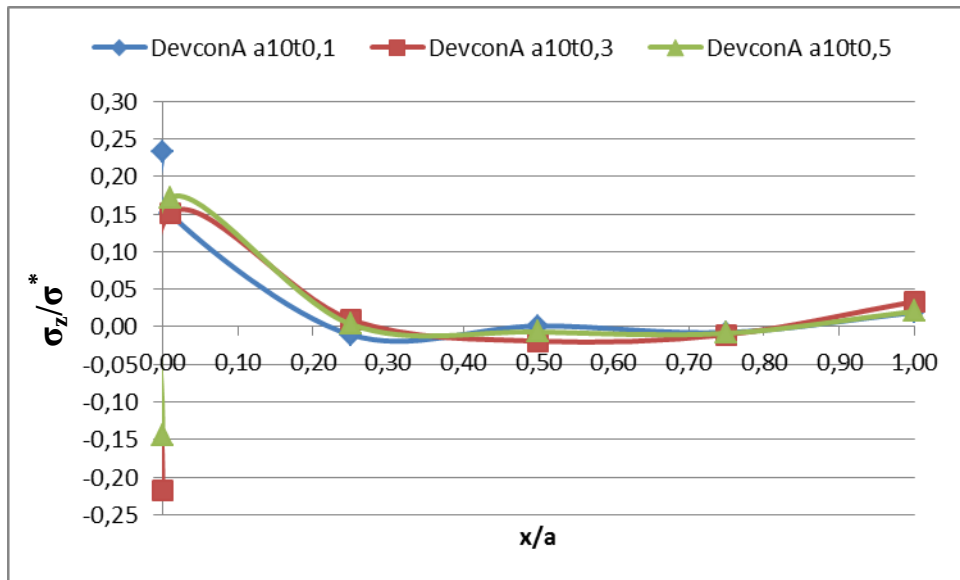
Şekil 3.34.a



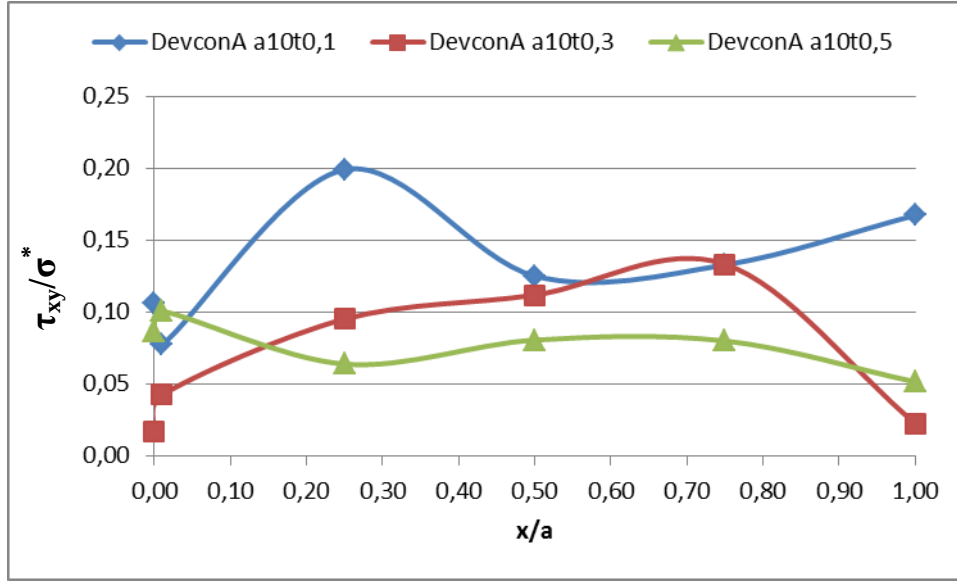
Şekil 3.34.b



Şekil 3.34.c



Şekil 3.34.d



Şekil 3.34.e

Şekil 3.34. Devcon A ile birleştirilmiş $a=10$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan; **(a)** eşdeğer ($\sigma_{eş}$), **(b)** normal (σ_x), **(c)** soyulma (σ_y), **(d)** normal (σ_z) ve **(e)** kayma (τ_{xy}) gerilme dağılımları

Şekil 3.35 Devcon A ile birleştirilmiş sabit $a=20$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığında prizmatik geçmeli bağlantıda A-C hattı boyunca oluşan gerilme dağılımlarını göstermektedir

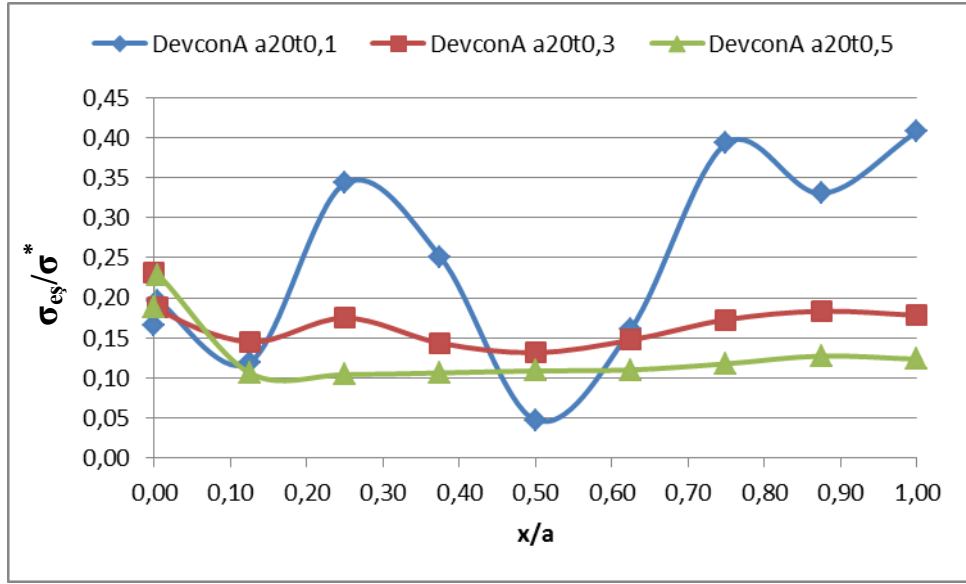
Şekil 3.35.a, Devcon A ile birleştirilmiş $a=20$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan eşdeğer gerilme dağılımı oranlarını göstermektedir. Eşdeğer gerilme oranı $t=0.3$ ve $t=0.5$ mm yapıştırıcı kalınlığı için $x/a = 0$ 'da maksimum iken $x/a = 1$ 'de minimum değerler almıştır. Eşdeğer gerilme oranı $t=0.1$ mm yapıştırıcı kalınlığında ise $x/a = 0.5$ 'de minimum $x/a = 1$ 'de maksimum değer almıştır. Eş değer gerilme oranı $t=0.3$ ve $t=0.5$ için benzer karakter sergilediği görülürken $t=0.1$ 'de farklı bir yapı sergilemiştir. $t=0.1$ mm yapıştırıcı kalınlığında dalgalı bir form görülürken, $t=0.3$ ve $t=0.5$ mm yapıştırıcı kalınlıklarında eşdeğer gerilmenin yapıştırma hattı boyunca düzgün dağıldığı görülmektedir. Yapıştırıcı kalınlığı arttıkça eşdeğer gerilme oranında da azalma açıkça görülmektedir.

Şekil 3.35.b, Devcon A ile birleştirilmiş $a=20$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan normal gerilme dağılımı oranlarını göstermektedir. Normal gerilme oranı $t=0.1$ için $x/a = 0$ 'da (A noktası) maksimum değer olarak bağlantının sonuna kadar küçük dalgalı bir formda devam etmiştir. $t=0.3$ ve $t=0.5$ için $x/a = 0.05$ 'te (B noktası) maksimum değer almış ve bağlantının sonuna kadar x eksenine paralel 0 ' a yakın değerlerde devam etmiştir. Yapıştırıcı kalınlığı arttıkça normal gerilme oranında azalma görülmüştür.

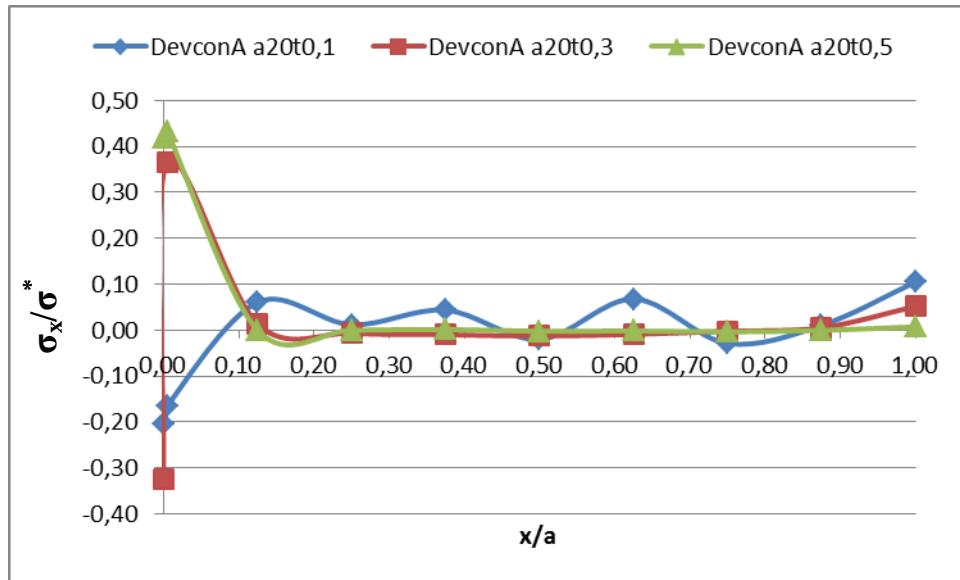
Şekil 3.35.c, Devcon A ile birleştirilmiş $a=20$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan soyulma gerilme dağılımı oranlarını göstermektedir. Gerilme dağılımı olarak Şekil 3.35.b'ye benzer bir durum görülmektedir.

Şekil 3.35.d, Devcon A ile birleştirilmiş $a=20$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında z -ekseni yönündeki gerilme dağılımını göstermektedir. Gerilme dağılımı olarak Şekil 3.35.b'ye benzer bir durum görülmektedir.

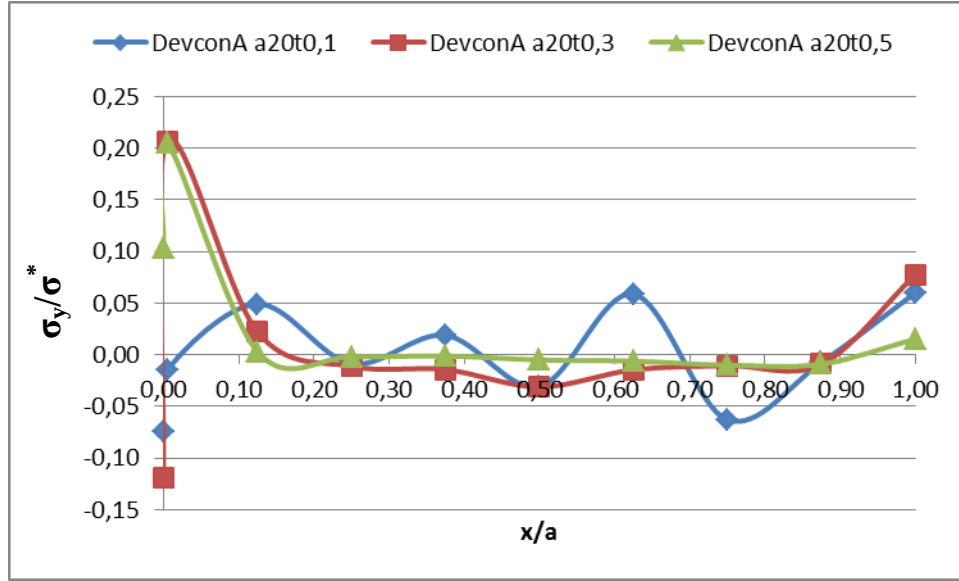
Şekil 3.35.e, Devcon A ile birleştirilmiş $a=20$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan kayma gerilmesi dağılımını göstermektedir. Kayma gerilmesi oranı $t=0.1$ için $t=0.3$ ve $t=0.5$ ' ten farklı bir durum göstermiştir. $t=0.1$ için kayma gerilmesi oranı $x/a = 0.5$ 'de minimum, $x/a = 1$ 'de maksimum değer almıştır. Diğer iki kalınlıkta yapıştırıcı bağlantının başında ve sonunda hemen hemen aynı gerilme değerleri görülmüş ve bağlantının orta noktasını geçtikten sonra gerilme değerlerinde artış olmuş $x/a = 1$ 'de maksimum değerler elde edilmiştir. Tüm yapıştırıcı kalınlıkları için $x/a = 0$ 'da birbirine çok yakın gerilme değerleri elde edilirken bağlantının sonunda çok farklı değerler elde edilmiştir. Kayma gerilmesi dağılımının $t=0.3$ ve $t=0.5$ mm yapıştırıcı kalınlıklarında düzgün dağılmasının nedeni gerilmenin yapıştırıcı üzerinde A-C hattı boyunca yayılmasıdır. Yapıştırıcı kalınlığı arttıkça bu durum daha da belirgin hale gelmektedir. $t=0.1$ mm yapıştırıcı kalınlığında ise gerilme yapıştırıcı tabakası üzerinde düzgün dağılmayıp dalgalı bir yapı izleyerek bağlantının orta noktasında 0 ' a yakın değer almıştır. Kayma gerilmesi dağılımı açısından $t=0.3$ ve $t=0.5$ mm yapıştırıcı kalınlıklarının uygun olduğu görülmektedir.



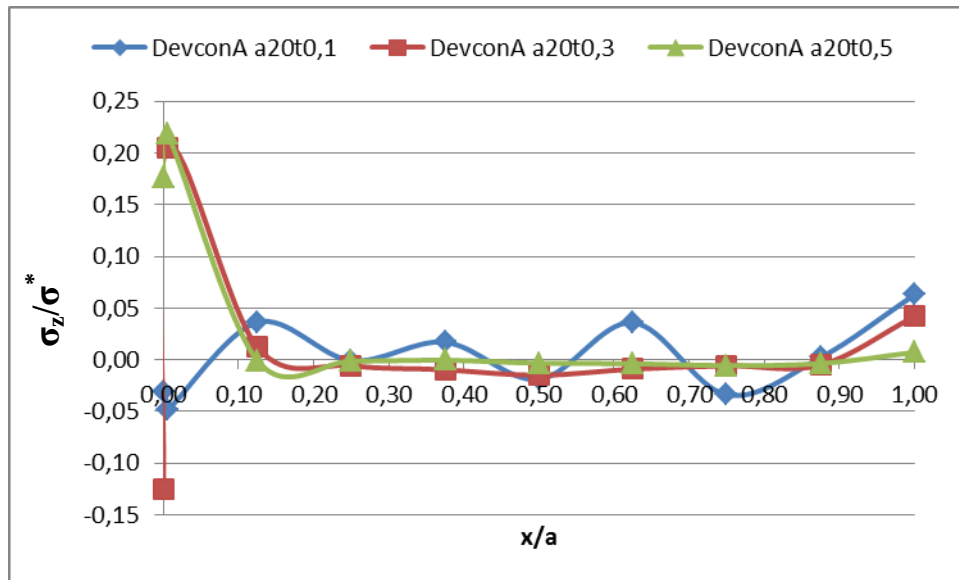
Şekil 3.35.a



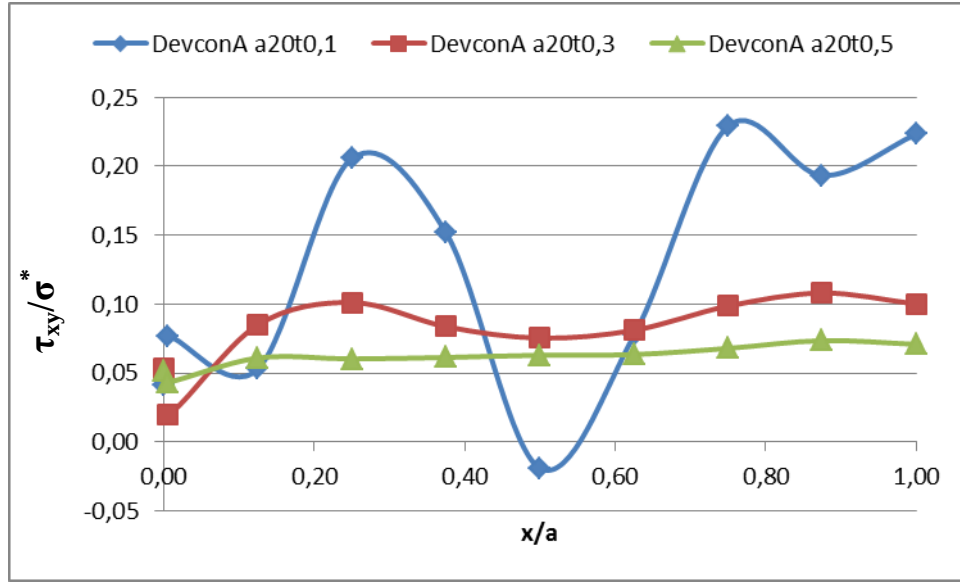
Şekil 3.35.b



Şekil 3.35.c



Şekil 3.35.d



Şekil 3.35.e

Şekil 3.35. Devcon A ile birleştirilmiş $a=20$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan; (a) eşdeğer (σ_{eq}), (b) normal (σ_x), (c) soyulma (σ_y), (d) normal (σ_z) ve (e) kayma (τ_{xy}) gerilme dağılımları

Şekil 3.36 Devcon A ile birleştirilmiş sabit $a=30$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığında prizmatik geçmeli bağlantıda A-C hattı boyunca oluşan gerilme dağılımlarını göstermektedir.

Şekil 3.36.a, Devcon A ile birleştirilmiş $a=30$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan eşdeğer gerilme dağılımı oranlarını göstermektedir. Eşdeğer gerilme oranı üç yapıştırıcı kalınlığı için $x/a = 0.16$ 'da minimum değer almakta iken $t=0.1$ için maksimum gerilme oranı $x/a = 0.91$ 'de, $t=0.3$ ve $t=0.5$ mm yapıştırıcı kalınlığı için $x/a = 1$ 'de maksimum değer almıştır. Eş değer gerilme oranı $t=0.3$ ve $t=0.5$ için benzer karakter sergilediği görülürken $t=0.1$ 'de farklı bir yapı sergilemiştir. $t=0.1$ mm yapıştırıcı kalınlığında dalgalı bir form görülürken, $t=0.3$ ve $t=0.5$ mm yapıştırıcı kalınlıklarında eşdeğer gerilmenin yapıştırma hattı boyunca düzgün dağıldığı görülmektedir.

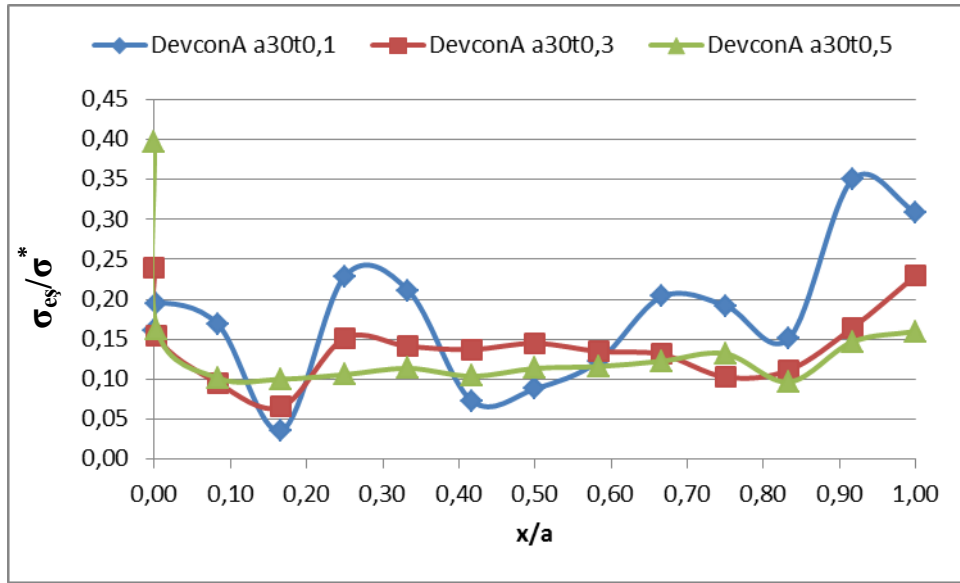
Şekil 3.36.b, Devcon A ile birleştirilmiş $a=30$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca

yapıştırıcı tarafında oluşan normal gerilme dağılımı oranlarını göstermektedir. Normal gerilme oranı tüm yapıştırıcı kalınlıklarında $x/a = 0$ 'da (A noktası) maksimum değer olarak bağlantının sonuna kadar küçük dalgalı bir formda devam etmiştir. En büyük gerilme oranı $t=0.5$ mm yapıştırıcı kalınlığına aittir. Yapıştırıcı kalınlığı arttıkça normal gerilme oranında azalma görülmüştür.

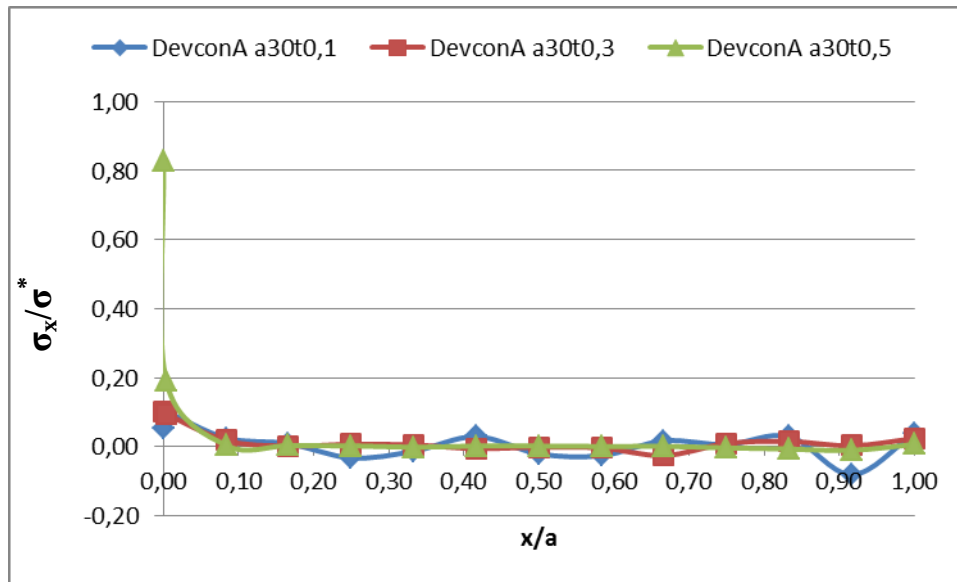
Şekil 3.36.c, Devcon A ile birleştirilmiş $a=30$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan soyulma gerilme dağılımı oranlarını göstermektedir. Gerilme dağılımı olarak Şekil 3.36.b'ye benzer bir durum görülmektedir.

Şekil 3.36.d, Devcon A ile birleştirilmiş $a=30$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında z-ekseni yönündeki gerilme dağılımını göstermektedir. Gerilme dağılımı olarak Şekil 3.36.b'ye benzer bir durum görülmektedir.

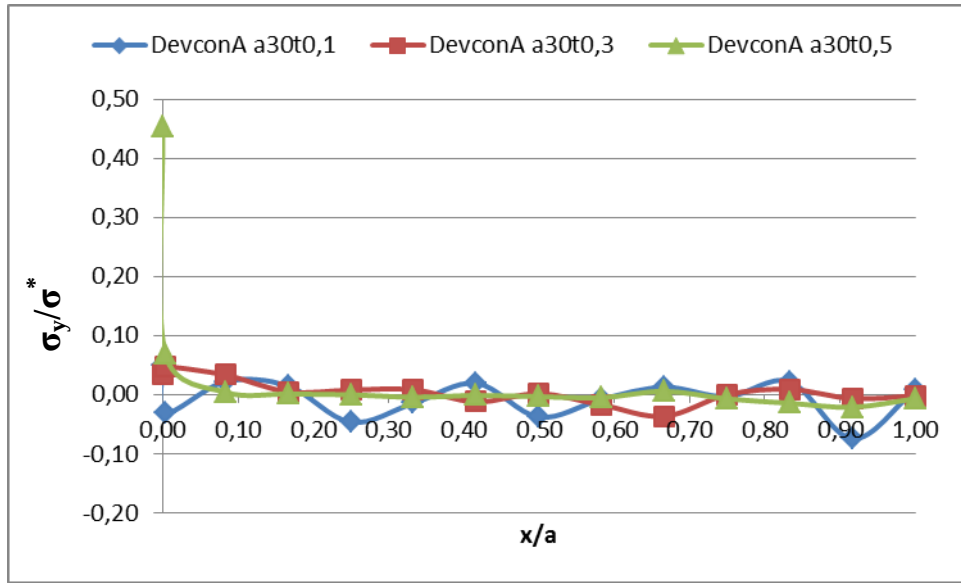
Şekil 3.6.e, Devcon A ile birleştirilmiş $a=30$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan kayma gerilmesi dağılımını göstermektedir. Kayma gerilmesi oranında tüm yapıştırıcı kalınlıklarında $x/a = 0$ 'da minimum ve $x/a = 1$ 'de maksimum değerler elde edilmiştir. Kayma gerilmesi dağılımı $t=0.1$ için $t=0.3$ ve $t=0.5$ 'ten farklı bir durum göstermiştir. $t=0.1$ mm dalgalı bir yapı mevcut iken $t=0.3$ ve $t=0.5$ 'te daha düzgün bir dağılım söz konusudur. Yapıştırıcı kalınlığı arttıkça bu durum daha da belirgin hale gelmektedir. Kayma gerilmesi dağılımı açısından $t=0.5$ mm yapıştırıcı kalınlığının uygun olduğu görülmektedir.



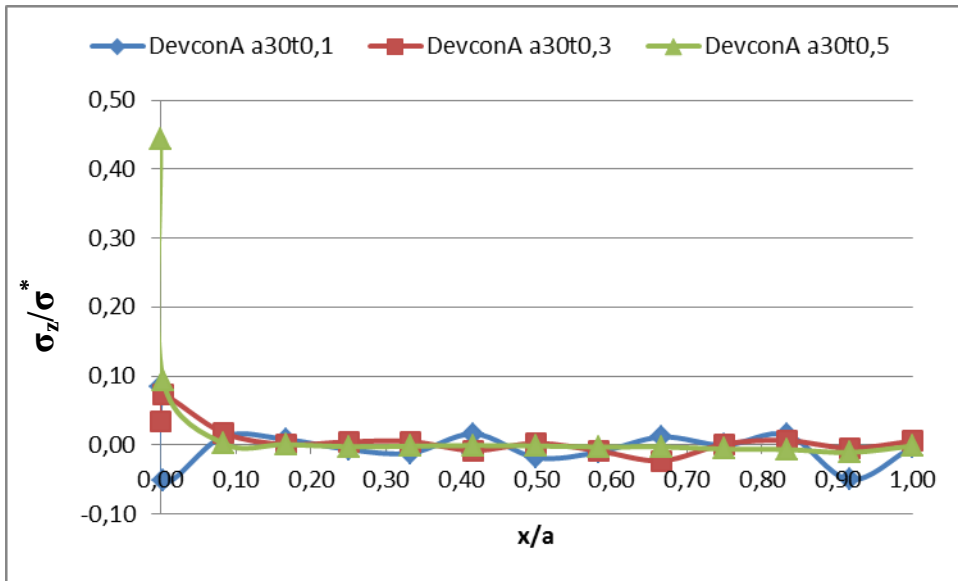
Şekil 3.36.a



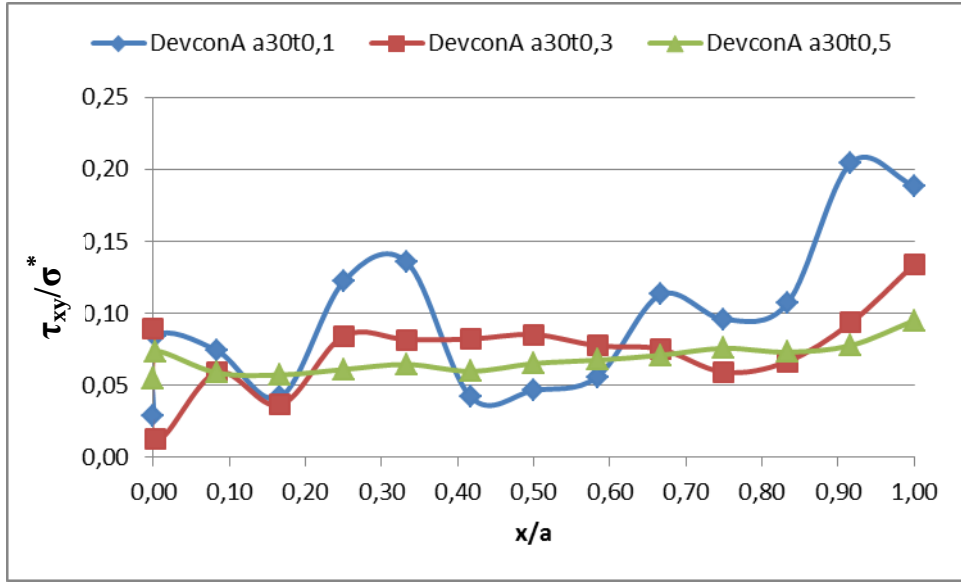
Şekil 3.36.b



Şekil 3.36.c



Şekil 3.36.d



Şekil 3.36.e

Şekil 3.36. Devcon A ile birleştirilmiş $a=30$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan; (a) eşdeğer ($\sigma_{eş}$), (b) normal (σ_x), (c) soyulma (σ_y), (d) normal (σ_z) ve (e) kayma (τ_{xy}) gerilme dağılımları

3.4.2.3. Devcon Titanyum Gerilme Dağılımları

Şekil 3.37 Devcon Titanyum ile birleştirilmiş sabit $a=10$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığında prizmatik geçmeli bağlantıda A-C hattı boyunca oluşan gerilme dağılımlarını göstermektedir.

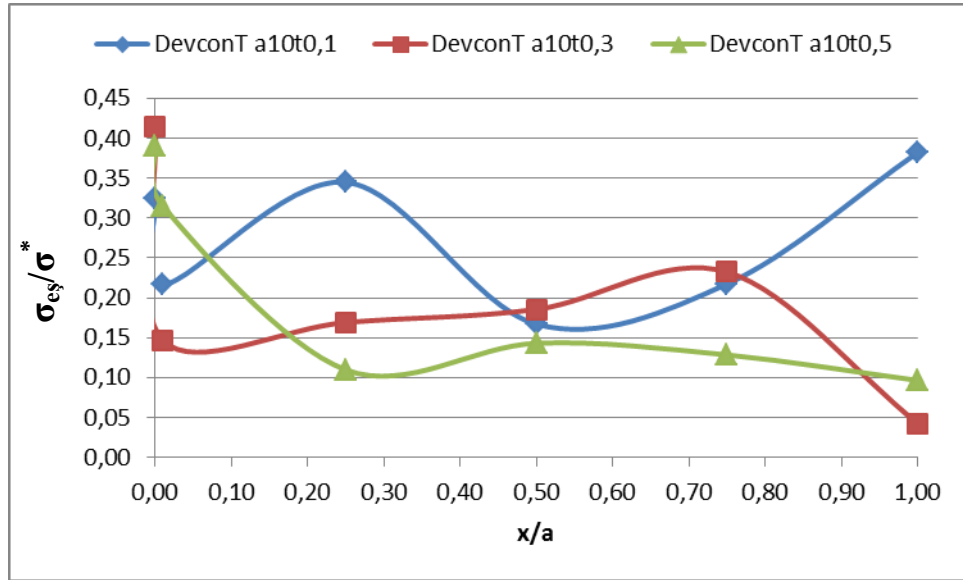
Şekil 3.37.a, Devcon Titanyum ile birleştirilmiş $a=10$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan eşdeğer gerilme dağılımı oranlarını göstermektedir. Eşdeğer gerilme oranı $t=0.3$ ve $t=0.5$ mm yapıştırıcı kalınlığı için $x/a = 0$ 'da maksimum değerler almakta iken $x/a = 1$ 'de minimum değerler almıştır. Eşdeğer gerilme oranı $t=0.1$ mm yapıştırıcı kalınlığında ise $x/a = 0$ ve $x/a = 0.5$ 'de minimum, $x/a = 0.25$ ve $x/a = 1$ 'de maksimum değerler almıştır. Eş değer gerilme oranı $t=0.3$ ve $t=0.5$ için benzer karakter sergilediği görülürken $t=0.1$ 'de farklı bir durum söz konusudur. Yapıştırıcı kalınlığı arttıkça eşdeğer gerilme oranında da azalma açıkça görülmektedir. Maksimum eş değer gerilme oranı $x/a = 0$ 'da $t=0.3$ mm yapıştırıcı kalınlığında 0.41 olarak elde edilmiştir.

Şekil 3.37.b, Devcon Titanyum ile birleştirilmiş $a=10$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan normal gerilme dağılımı oranlarını göstermektedir. Normal gerilme oranı $x/a = 0$ 'da tüm kalınlıklar için maksimum değerler almıştır. $x/a= 0$ 'da gerilme $t=0.1$ mm için normal gerilme çekme gerilmesi şeklinde etki göstermekte iken $t=0.3$ ve $t=0.5$ mm için basma gerilmesi şeklinde etki göstermektedir. $0.01 \leq x/a \leq 0.25$ aralığında gerilme oranında azalma görülürken bu aralıktan bağlantının sonuna kadar tüm yapıştırıcı kalınlıklarında x eksenı boyunca 0 'a çok yakın değerler elde edilmiştir. Maksimum normal gerilme oranı $x/a = 0$ 'da $t=0.1$ mm yapıştırıcı kalınlığında 0.57 olarak elde edilmiştir.

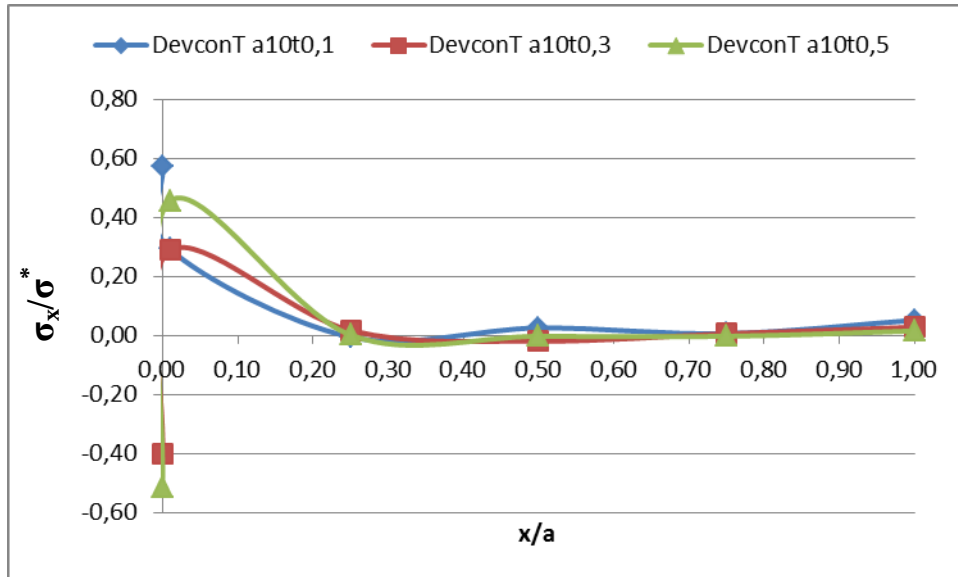
Şekil 3.37.c, Devcon Titanyum ile birleştirilmiş $a=10$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan soyulma gerilme dağılımı oranlarını göstermektedir. Gerilme dağılımı olarak Şekil 3.37.b'ye benzer bir durum görülmektedir.

Şekil 3.37.d, Devcon Titanyum ile birleştirilmiş $a=10$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında z -eksenı yönündeki gerilme dağılımını göstermektedir. Gerilme dağılımı olarak Şekil 3.37.b'ye benzer bir durum görülmektedir.

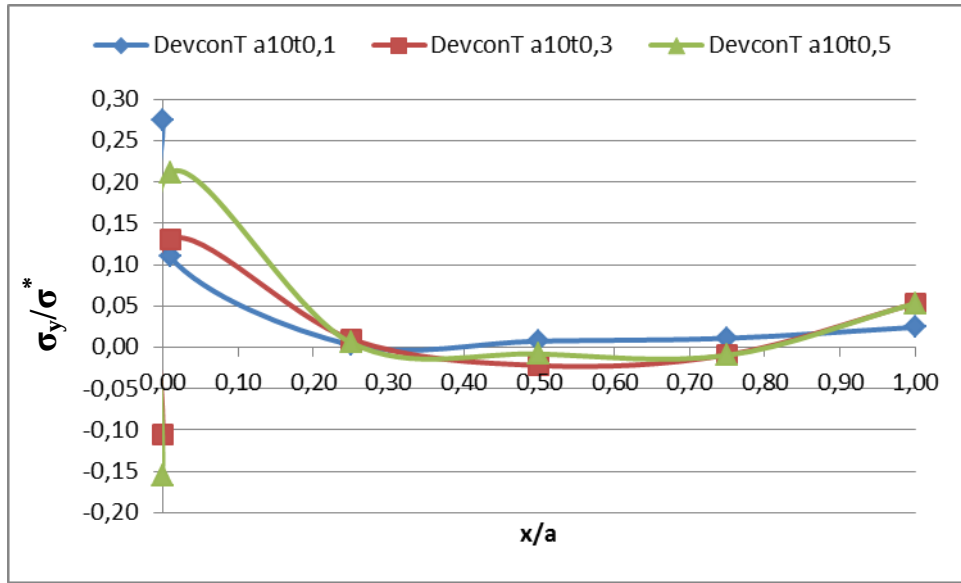
Şekil 3.37.e, Devcon Titanyum ile birleştirilmiş $a=10$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan kayma gerilmesi dağılımını göstermektedir. Kayma gerilmesi oranı $t=0.1$ için $t=0.3$ ve $t=0.5$ 'ten farklı bir durum göstermiştir. $t=0.1$ için kayma gerilmesi oranı $x/a = 0$ 'da minimum, $x/a = 1$ 'de maksimum değer almıştır. Diğer iki kalınlıkta yapıştırıcı bağlantının başında ve sonunda hemen hemen aynı gerilme değerleri görülmüş ve bağlantının orta noktasını geçtikten sonra gerilme değerlerinde artış olmuş $x/a = 0.75$ 'de maksimum değerler elde edilmiştir. Maksimum kayma gerilmesi oranı $x/a = 1$ 'de $t=0.1$ mm yapıştırıcı kalınlığında 0.22 olarak elde edilmiştir.



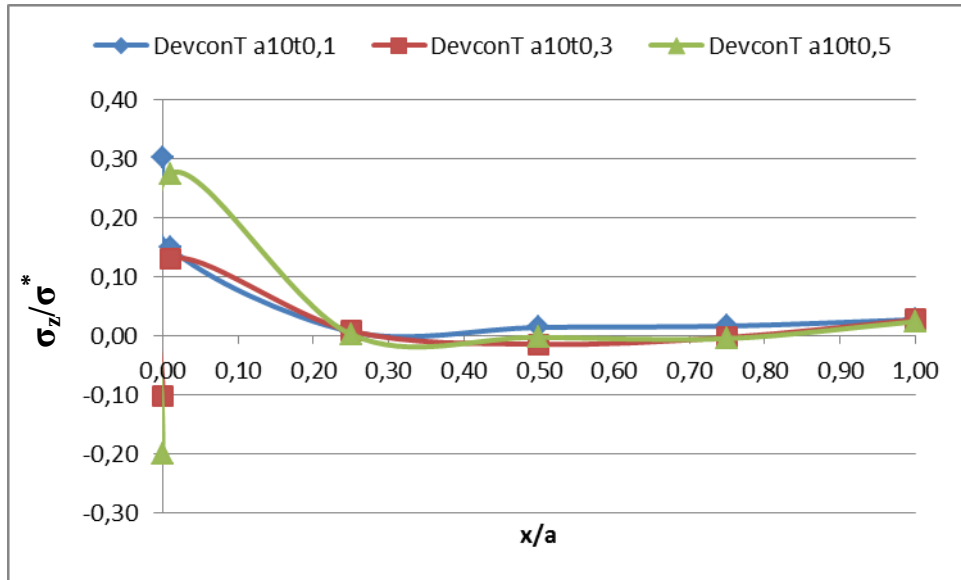
Şekil 3.37.a



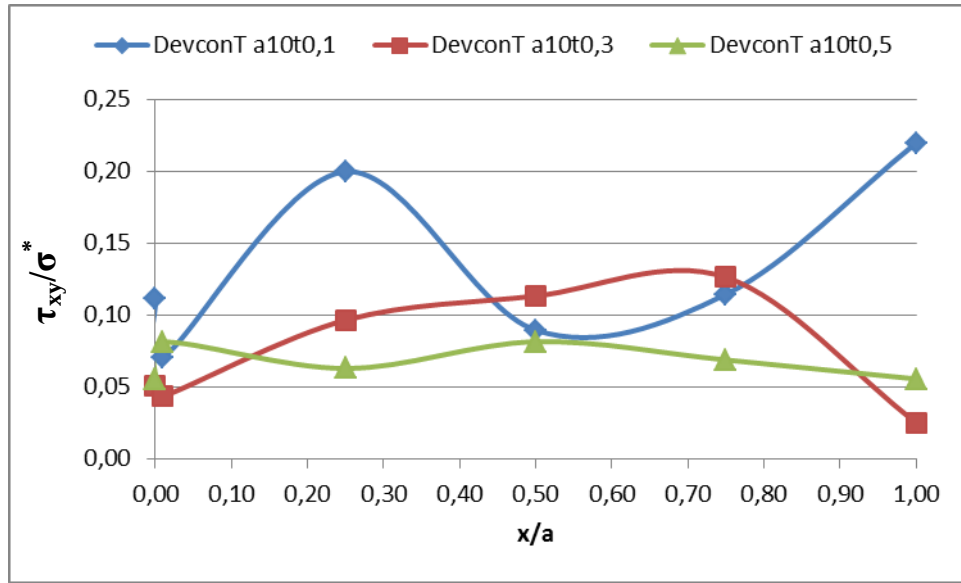
Şekil 3.37.b



Şekil 3.37.c



Şekil 3.37.d



Şekil 3.37.e

Şekil 3.37. Devcon Titanyum ile birleştirilmiş $a=10$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan; (a) eşdeğer ($\sigma_{eş}$), (b) normal (σ_x), (c) soyulma (σ_y), (d) normal (σ_z) ve (e) kayma (τ_{xy}) gerilme dağılımları

Şekil 3.38 Devcon Titanyum ile birleştirilmiş sabit $a=20$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığında prizmatik geçmeli bağlantıda A-C hattı boyunca oluşan gerilme dağılımlarını göstermektedir.

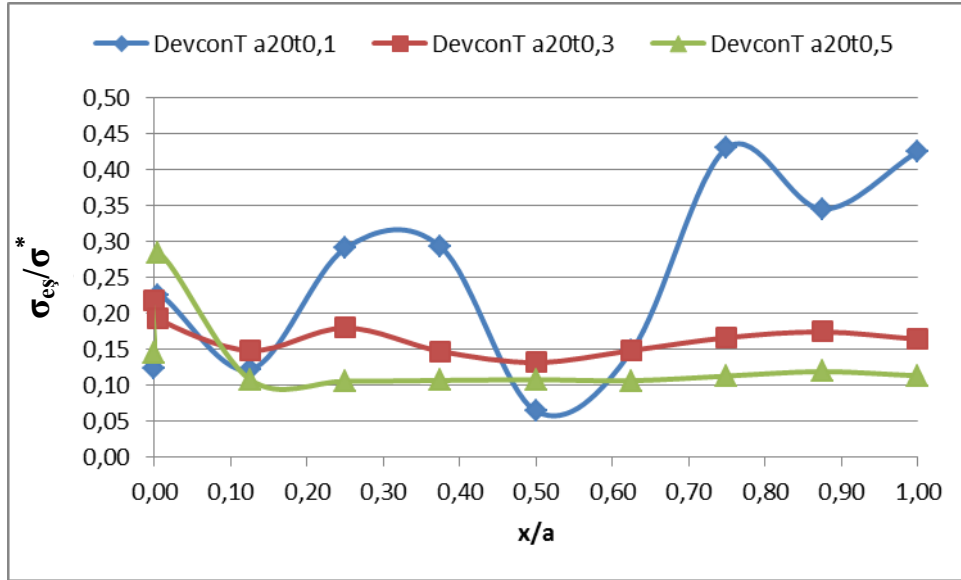
Şekil 3.38.a, Devcon Titanyum ile birleştirilmiş $a=20$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan eşdeğer gerilme dağılımı oranlarını göstermektedir. Eşdeğer gerilme oranı $t=0.3$ ve $t=0.5$ mm yapıştırıcı kalınlığı için $x/a=0$ 'da maksimum değerler almakta iken $x/a=1$ 'de minimum değerler almıştır. Eşdeğer gerilme oranı $t=0.1$ mm yapıştırıcı kalınlığında ise $x/a=0.5$ 'de minimum $x/a=1$ 'de maksimum değer almıştır. Eş değer gerilme oranı $t=0.3$ ve $t=0.5$ için benzer karakter sergilediği görülürken $t=0.1$ 'de farklı bir yapı sergilemiştir. $t=0.1$ mm yapıştırıcı kalınlığında dalgalı bir form görülürken, $t=0.3$ ve $t=0.5$ mm yapıştırıcı kalınlıklarında eşdeğer gerilmenin yapıştırma hattı boyunca düzgün dağıldığı görülmektedir. Yapıştırıcı kalınlığı arttıkça eşdeğer gerilme oranında da azalma açıkça görülmektedir.

Şekil 3.38.b, Devcon Titanyum ile birleştirilmiş $a=20$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan normal gerilme dağılımı oranlarını göstermektedir. Normal gerilme oranı $t=0.1$ için $x/a = 0$ 'da (A noktası) maksimum değer olarak bağlantının sonuna kadar küçük dalgalı bir formda devam etmiştir. $t=0.3$ ve $t=0.5$ için $x/a = 0.05$ ' te (B noktası) maksimum değer almış ve bağlantının sonuna kadar x eksenine paralel 0 ' a yakın değerlerde devam etmiş bağlantının sonunda az miktarda artmıştır. Yapıştırıcı kalınlığı arttıkça normal gerilme oranında azalma görülmüştür.

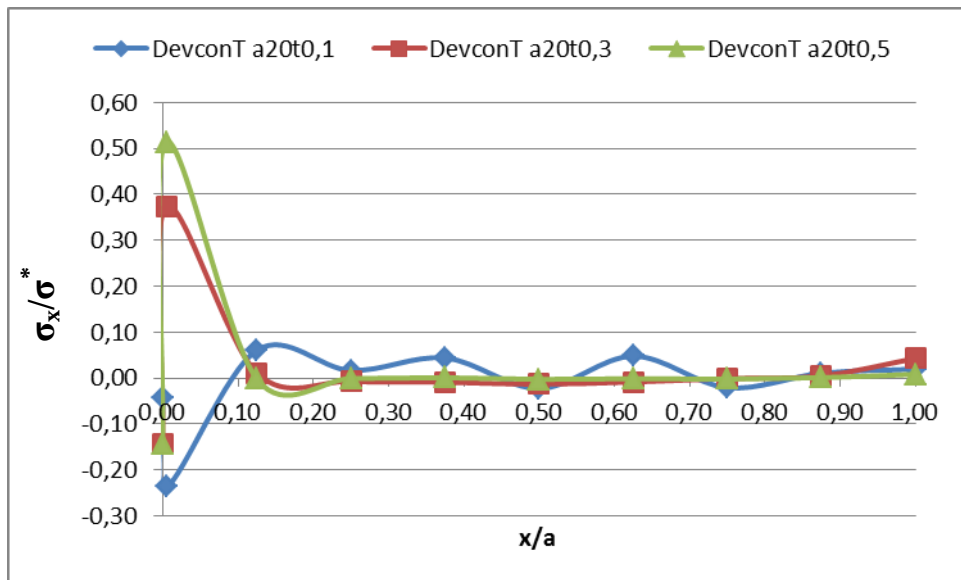
Şekil 3.38.c, Devcon Titanyum ile birleştirilmiş $a=20$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan soyulma gerilme dağılımı oranlarını göstermektedir. Gerilme dağılımı olarak Şekil 3.38.b'ye benzer bir durum görülmektedir.

Şekil 3.38.d, Devcon Titanyum ile birleştirilmiş $a=20$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında z -ekseni yönündeki gerilme dağılımını göstermektedir. Gerilme dağılımı olarak Şekil 3.38.b'ye benzer bir durum görülmektedir.

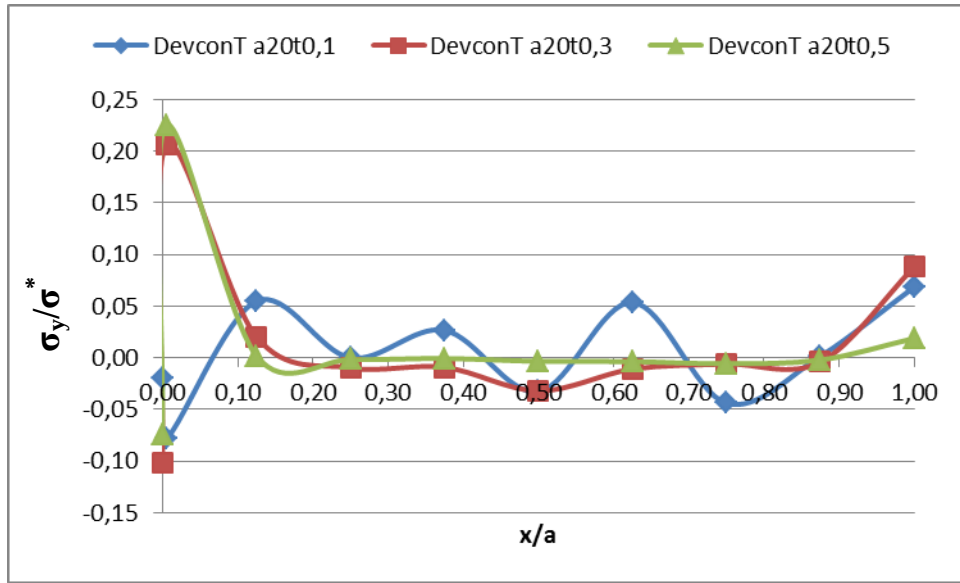
Şekil 3.38.e, Devcon Titanyum ile birleştirilmiş $a=20$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan kayma gerilmesi dağılımını göstermektedir. Kayma gerilmesi oranı $t=0.1$ için $t=0.3$ ve $t=0.5$ 'ten farklı bir durum göstermiştir. $t=0.1$ için kayma gerilmesi oranı $x/a = 0.5$ 'de minimum, $x/a = 1$ 'de maksimum değer almıştır. Diğer iki kalınlıkta yapıştırıcı bağlantının başında ve sonunda hemen hemen aynı gerilme değerleri görülmüş ve bağlantının orta noktasını geçtikten sonra gerilme değerlerinde artış olmuş $x/a = 1$ 'de maksimum değerler elde edilmiştir. Tüm yapıştırıcı kalınlıkları için $x/a = 0$ 'da birbirine çok yakın gerilme değerleri elde edilirken bağlantının sonunda çok farklı değerler elde edilmiştir. Kayma gerilmesi dağılımının $t=0.3$ ve $t=0.5$ mm yapıştırıcı kalınlıklarında düzgün dağılmasının nedeni gerilmenin yapıştırıcı üzerinde A-C hattı boyunca yayılmasıdır. Yapıştırıcı kalınlığı arttıkça bu durum daha da belirgin hale gelmektedir. $t=0.1$ mm yapıştırıcı kalınlığında ise gerilme yapıştırıcı tabakası üzerinde düzgün dağılmayıp dalgalı bir yapı izleyerek bağlantının orta noktasında 0 değeri almıştır. Kayma gerilmesi dağılımı açısından $t=0.3$ ve $t=0.5$ mm yapıştırıcı kalınlıklarının uygun olduğu görülmektedir.



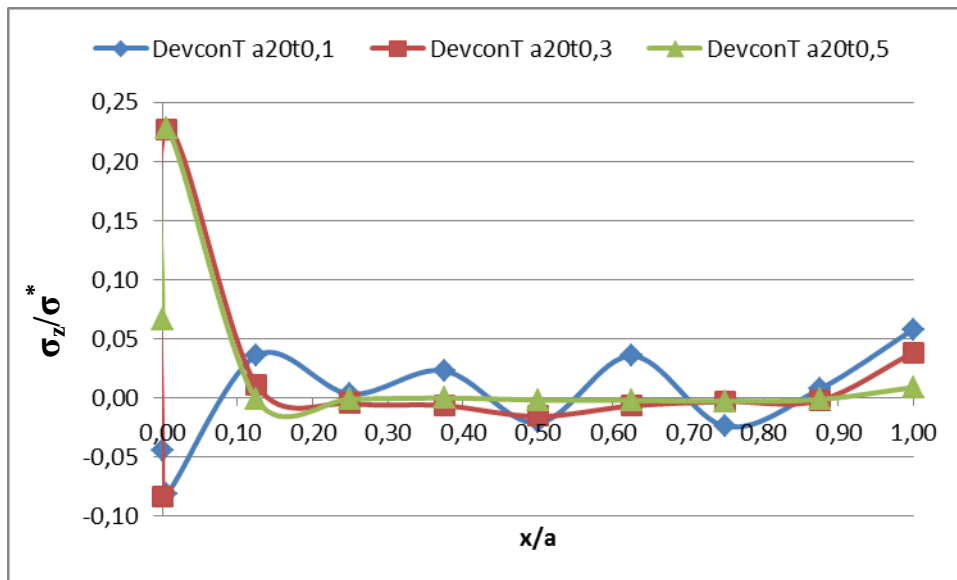
Şekil 3.38.a



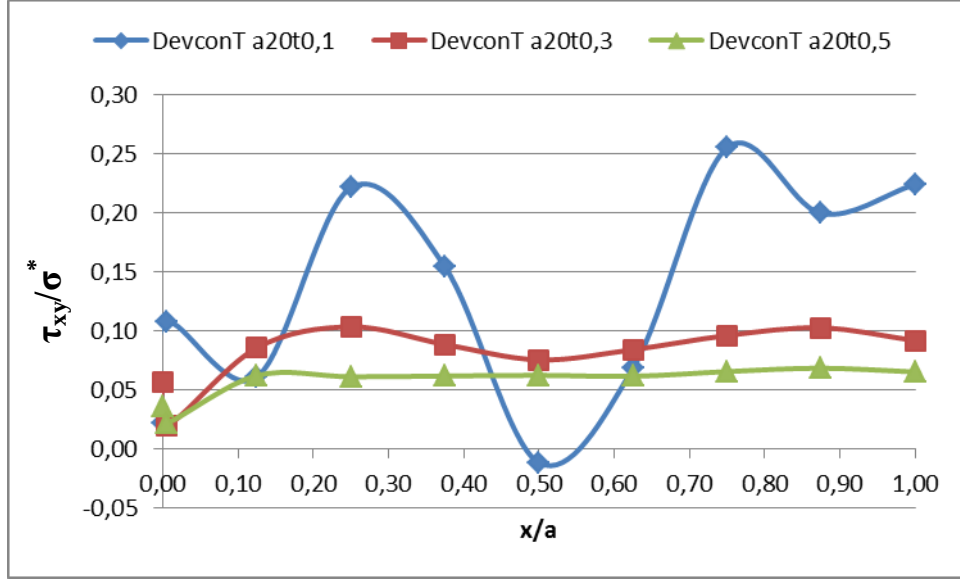
Şekil 3.38.b



Şekil 3.38.c



Şekil 3.38.d



Şekil 3.38.e

Şekil 3.38. Devcon Titanyum ile birleştirilmiş $a=20$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan; (a) eşdeğer ($\sigma_{eş}$), (b) normal (σ_x), (c) soyulma (σ_y), (d) normal (σ_z) ve (e) kayma (τ_{xy}) gerilme dağılımları

Şekil 3.39 Devcon Titanyum ile birleştirilmiş sabit $a=30$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığında prizmatik geçmeli bağlantıda A-C hattı boyunca oluşan gerilme dağılımlarını göstermektedir

Şekil 3.39.a, Devcon Titanyum ile birleştirilmiş $a=30$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan eşdeğer gerilme dağılımı oranlarını göstermektedir. Eşdeğer gerilme oranı $t=0.1$ mm için bağlantının orta noktasında, $t=0.3$ ve $t=0.5$ mm için $x/a = 0.16$ 'da minimum değer almakta iken için maksimum gerilme oranı $x/a = 0.91$ 'de, $t=0.3$ ve $t=0.5$ mm yapıştırıcı kalınlığı için $x/a = 1$ 'de maksimum değer almıştır. Eşdeğer gerilme oranı $t=0.1$ ve $t=0.3$ mm yapıştırıcı kalınlıklarında dalgalı bir form izlerken, $t=0.5$ mm yapıştırıcı kalınlığında eşdeğer gerilmenin yapıştırma hattı boyunca daha düzgün dağıldığı görülmektedir. Maksimum gerilme oranı $t=0.1$ için 0.32 olarak elde edilmiştir.

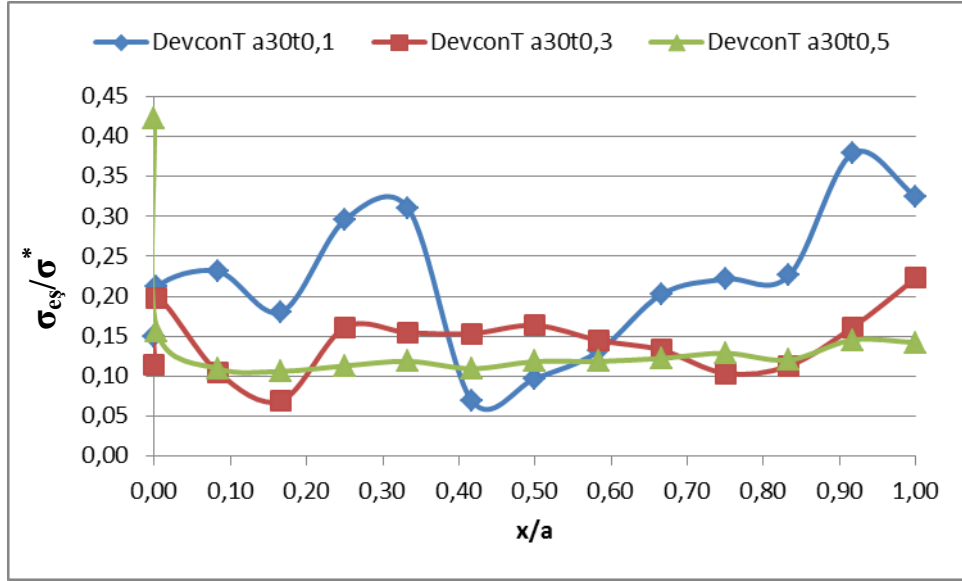
Şekil 3.39.b, Devcon Titanyum ile birleştirilmiş $a=30$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı

boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan normal gerilme dağılımı oranlarını göstermektedir. Normal gerilme oranı tüm yapıştırıcı kalınlıklarında $x/a = 0$ 'da (A noktası) maksimum değer olarak bağlantının sonuna kadar küçük dalgalı bir formda devam etmiştir. En büyük gerilme oranı $t=0.5$ mm yapıştırıcı kalınlığına aittir. Yapıştırıcı kalınlığı arttıkça normal gerilme oranında azalma görülmüştür.

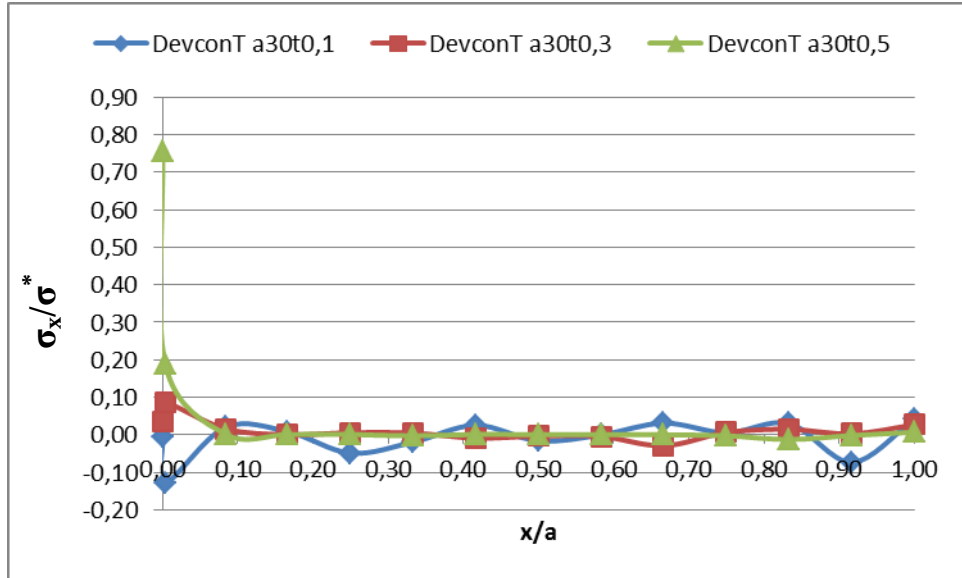
Şekil 3.39.c, Devcon Titanyum ile birleştirilmiş $a=30$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan soyulma gerilme dağılımı oranlarını göstermektedir. Gerilme dağılımı olarak Şekil 3.39.b'ye benzer bir durum görülmektedir.

Şekil 3.39.d, Devcon Titanyum ile birleştirilmiş $a=30$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında z-ekseni yönündeki gerilme dağılımını göstermektedir. Gerilme dağılımı olarak Şekil 3.39.b'ye benzer bir durum görülmektedir.

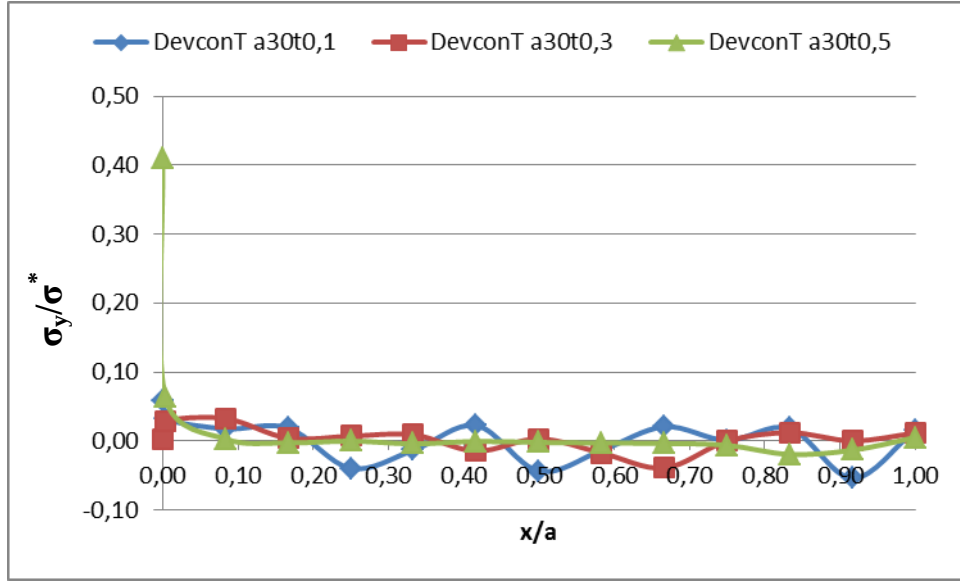
Şekil 3.9.e, Devcon Titanyum ile birleştirilmiş $a=30$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan kayma gerilmesi dağılımını göstermektedir. Kayma gerilmesi oranında tüm yapıştırıcı kalınlıklarında $x/a = 0$ 'da minimum ve $x/a = 1$ 'de maksimum değerler elde edilmiştir. Kayma gerilmesi dağılımı $t=0.1$ için $t=0.3$ ve $t=0.5$ 'ten farklı bir durum göstermiştir. $t=0.1$ ve $t=0.3$ 'te dalgalı bir yapı mevcut iken $t=0.5$ ' te daha düzgün bir dağılım söz konusudur. Yapıştırıcı kalınlığı arttıkça bu durum daha da belirgin hale gelmektedir. Kayma gerilmesi dağılımı açısından $t=0.5$ mm yapıştırıcı kalınlığının uygun olduğu görülmektedir. Maksimum gerilme oranı $t=0.1$ için 0.18 olarak elde edilmiştir.



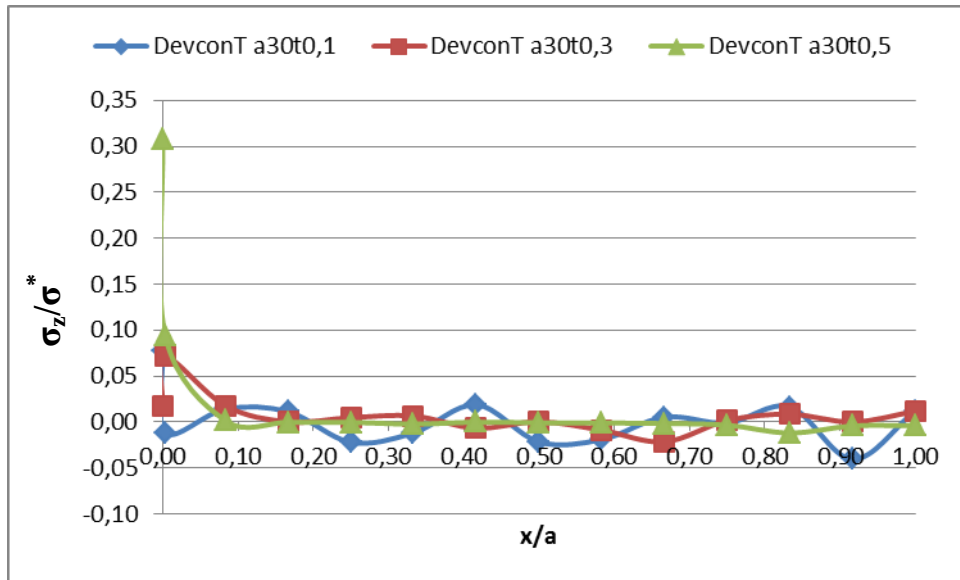
Şekil 3.39.a



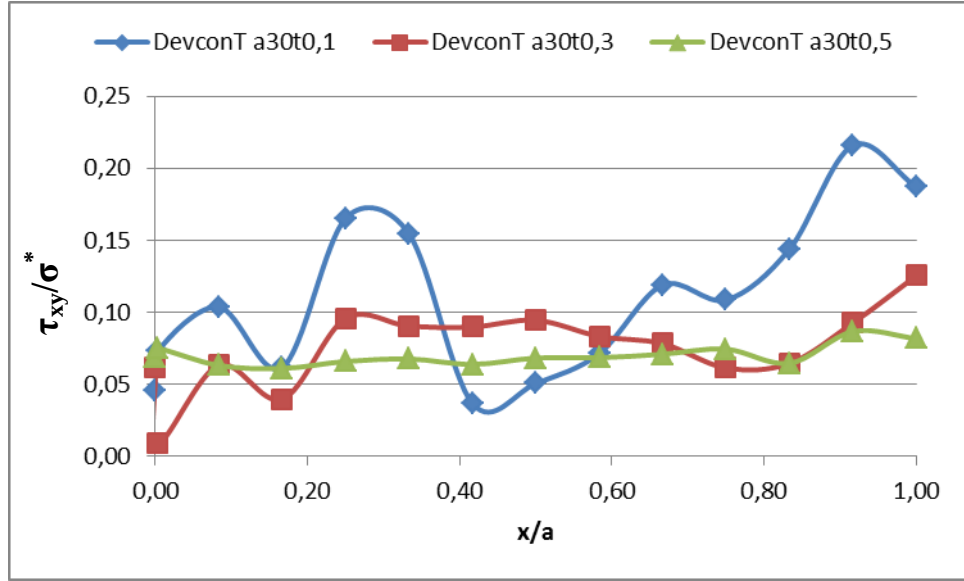
Şekil 3.39.b



Şekil 3.39.c



Şekil 3.39.d



Şekil 3.39.e

Şekil 3.39. Devcon Titanyum ile birleştirilmiş $a=30$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan; (a) eşdeğer ($\sigma_{eş}$), (b) normal (σ_x), (c) soyulma (σ_y), (d) normal (σ_z) ve (e) kayma (τ_{xy}) gerilme dağılımları

3.4.2.4. Erde GTR Gerilme Dağılımları

Şekil 3.40 Erde GTR ile birleştirilmiş sabit $a=10$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığında prizmatik geçmeli bağlantıda A-C hattı boyunca oluşan gerilme dağılımlarını göstermektedir

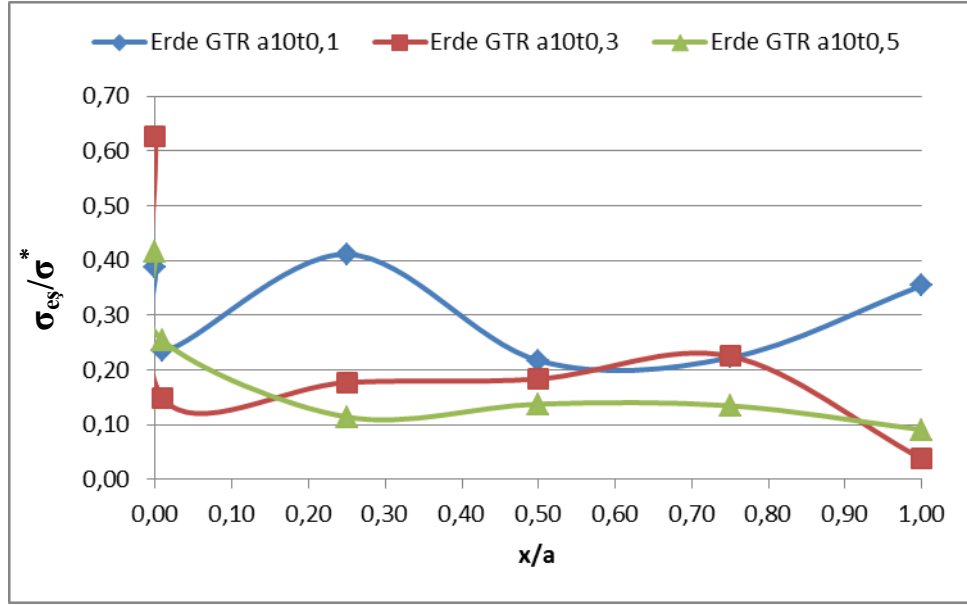
Şekil 3.40.a, Erde GTR ile birleştirilmiş $a=10$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan eşdeğer gerilme dağılımı oranlarını göstermektedir. Eşdeğer gerilme oranı $t=0.3$ ve $t=0.5$ mm yapıştırıcı kalınlığı için $x/a=0$ 'da maksimum değerler almakta iken $x/a=1$ 'de minimum değerler almıştır. Eşdeğer gerilme oranı $t=0.1$ mm yapıştırıcı kalınlığında ise $x/a=0.01$ ve $x/a=0.5$ 'de minimum, $x/a=0.25$ ve $x/a=1$ 'de maksimum değer almıştır. Maksimum eş değer gerilme oranı $x/a=0$ 'da $t=0.3$ mm yapıştırıcı kalınlığında 0.62 olarak elde edilmiştir.

Şekil 3.40.b, Erde GTR ile birleştirilmiş $a=10$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan normal gerilme dağılımı oranlarını göstermektedir. Normal gerilme oranı $x/a = 0$ 'da tüm kalınlıklar için maksimum değerler almıştır. $x/a = 0$ 'da gerilme $t=0.1$ mm için normal gerilme çekme gerilmesi şeklinde etki göstermekte iken $t=0.3$ ve $t=0.5$ mm için basma gerilmesi şeklinde etki göstermektedir. $0.01 \leq x/a \leq 0.25$ aralığında gerilme oranında azalma görülürken bu aralıktan bağlantının sonuna kadar tüm yapıştırıcı kalınlıklarında x eksenini boyunca 0 'a çok yakın değerler elde edilmiştir. Maksimum normal gerilme oranı $x/a = 0$ 'da $t=0.3$ mm yapıştırıcı kalınlığında 0.88 olarak elde edilmiştir.

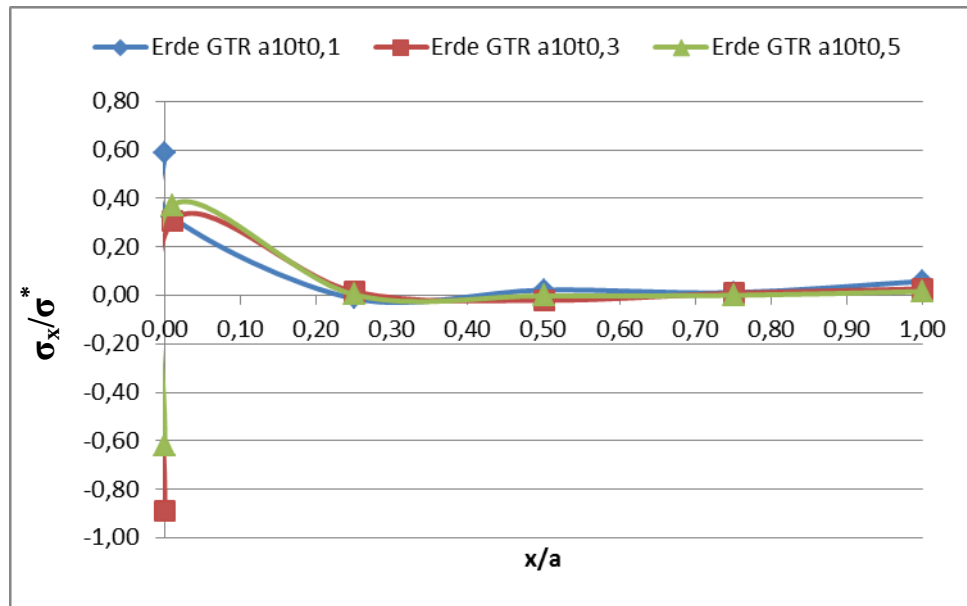
Şekil 3.40.c, Erde GTR ile birleştirilmiş $a=10$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan soyulma gerilme dağılımı oranlarını göstermektedir. Gerilme dağılımı olarak Şekil 3.40.b'ye benzer bir durum görülmektedir.

Şekil 3.40.d, Erde GTR ile birleştirilmiş $a=10$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında z -ekseni yönündeki gerilme dağılımını göstermektedir. Gerilme dağılımı olarak Şekil 3.40.b'ye benzer bir durum görülmektedir.

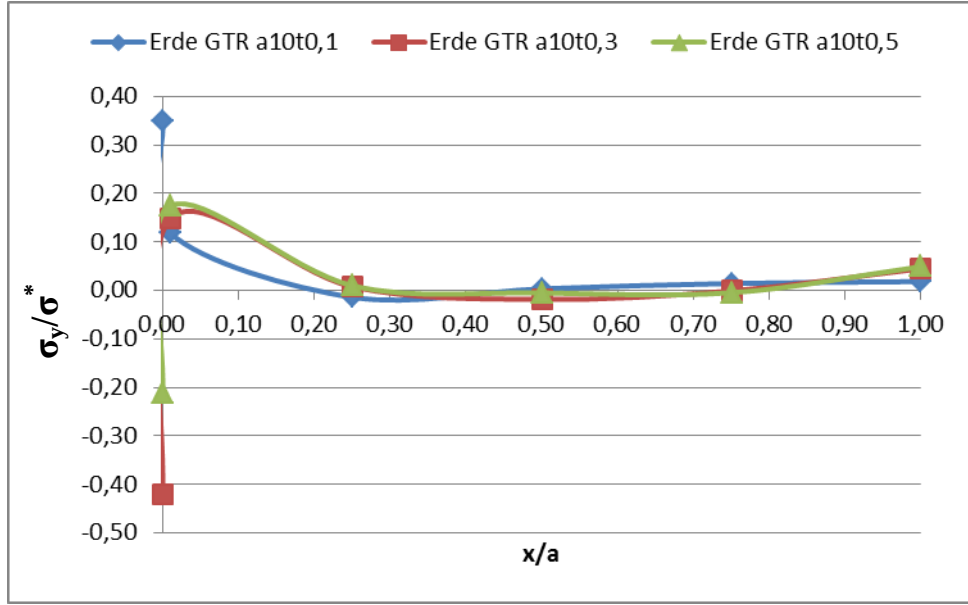
Şekil 3.40.e, Erde GTR ile birleştirilmiş $a=10$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan kayma gerilmesi dağılımını göstermektedir. Kayma gerilmesi oranı $t=0.1$ için $t=0.3$ ve $t=0.5$ 'ten farklı bir durum göstermiştir. $t=0.1$ için kayma gerilmesi oranı $x/a = 0$ 'da minimum, $x/a = 0.25$ 'de maksimum değer almıştır. Diğer iki kalınlıkta yapıştırıcı bağlantının başında ve sonunda hemen hemen aynı gerilme değerleri görülmüş ve bağlantının orta noktasını geçtikten sonra gerilme değerlerinde artış olmuş $x/a = 0.75$ 'de maksimum değerler elde edilmiştir. Maksimum kayma gerilmesi oranı $x/a = 0.25$ 'de $t=0.1$ mm yapıştırıcı kalınlığında 0.24 olarak elde edilmiştir.



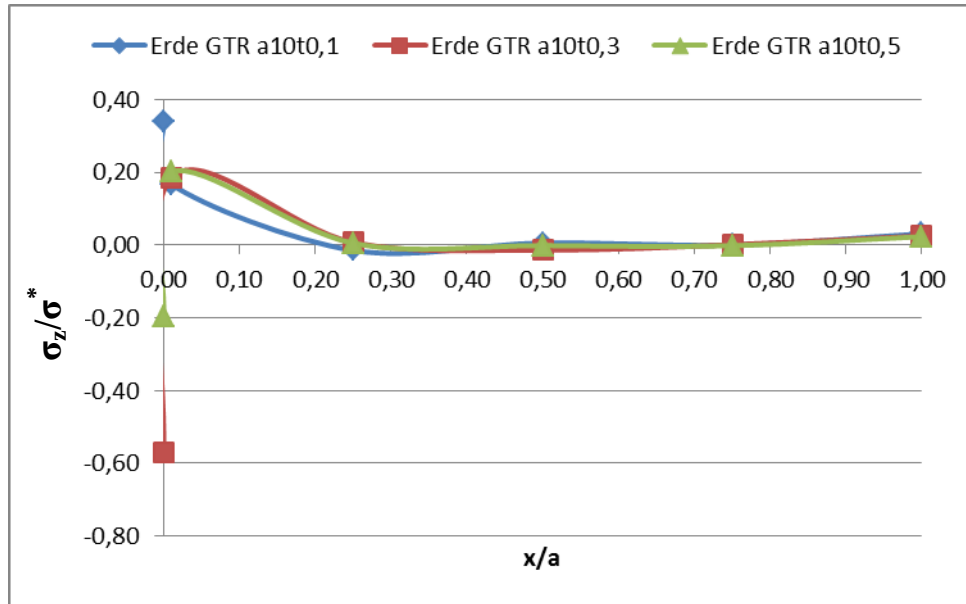
Şekil 3.40.a



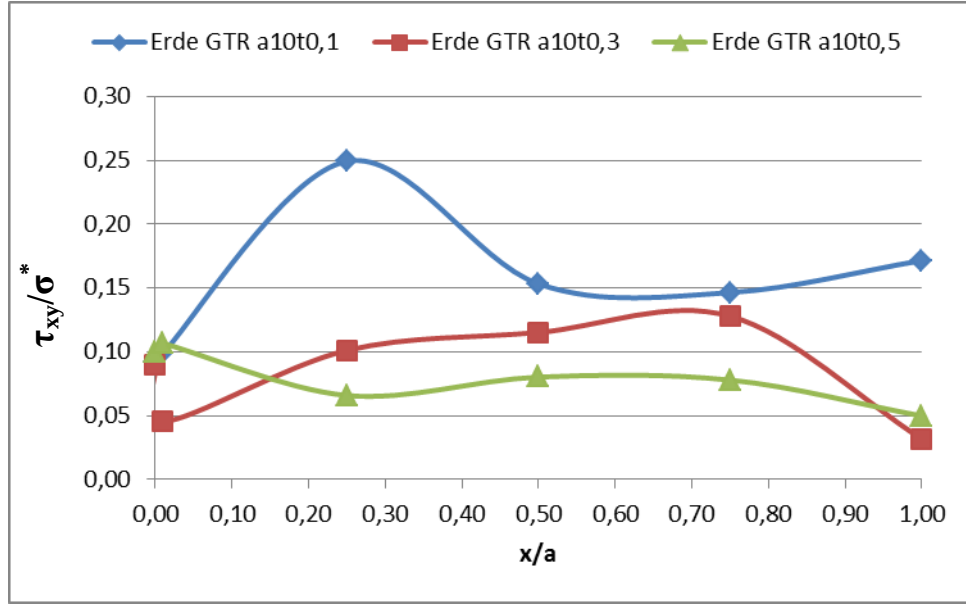
Şekil 3.40.b



Şekil 3.40.c



Şekil 3.40.d



Şekil 3.40.e

Şekil 3.40. Erde GTR ile birleştirilmiş $a=10$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan; (a) eşdeğer ($\sigma_{eş}$), (b) normal (σ_x), (c) soyulma (σ_y), (d) normal (σ_z) ve (e) kayma (τ_{xy}) gerilme dağılımları

Şekil 3.41 Erde GTR ile birleştirilmiş sabit $a=20$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığında prizmatik geçmeli bağlantıda A-C hattı boyunca oluşan gerilme dağılımlarını göstermektedir.

Şekil 3.41.a, Erde GTR ile birleştirilmiş $a=20$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan eşdeğer gerilme dağılımı oranlarını göstermektedir. Eşdeğer gerilme oranı $t=0.3$ ve $t=0.5$ mm yapıştırıcı kalınlığı için $x/a=0$ 'da maksimum değerler almakta iken $x/a=1$ 'de minimum değerler almıştır. Eşdeğer gerilme oranı $t=0.1$ mm yapıştırıcı kalınlığında ise $x/a=0.5$ 'de minimum $x/a=1$ 'de maksimum değer almıştır. Eşdeğer gerilme oranı $t=0.3$ ve $t=0.5$ için benzer karakter sergilediği görülürken $t=0.1$ 'de farklı bir yapı sergilemiştir. $t=0.1$ mm yapıştırıcı kalınlığında dalgalı bir form görülürken, $t=0.3$ ve $t=0.5$ mm yapıştırıcı kalınlıklarında eşdeğer gerilmenin yapıştırma hattı boyunca

düzgün dağıldığı görülmektedir. Yapıştırıcı kalınlığı arttıkça eşdeğer gerilme oranında da azalma açıkça görülmektedir.

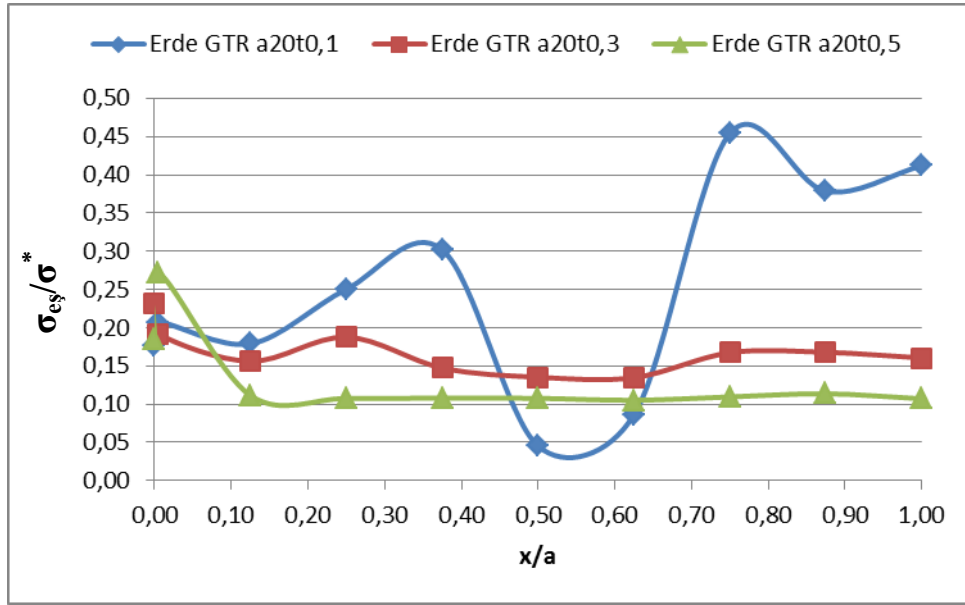
Şekil 3.41.b, Erde GTR ile birleştirilmiş $a=20$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan normal gerilme dağılımı oranlarını göstermektedir. $x/a = 0$ 'da gerilme $t=0.5$ mm için normal gerilme çekme gerilmesi şeklinde etki göstermekte iken $t=0.1$ ve $t=0.3$ mm için basma gerilmesi şeklinde etki göstermektedir. Normal gerilme oranı $t=0.1$ için $x/a = 0$ 'da (A noktası) maksimum değer olarak bağlantının sonuna kadar küçük dalgalı bir formda devam etmiştir. $t=0.3$ ve $t=0.5$ için $x/a = 0.05$ ' te maksimum değer almış ve bağlantının sonuna kadar x eksenine paralel 0 ' a yakın değerlerde devam etmiş bağlantının sonunda az miktarda artmıştır. Yapıştırıcı kalınlığı arttıkça normal gerilme oranında azalma görülmüştür.

Şekil 3.41.c, Erde GTR ile birleştirilmiş $a=20$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan soyulma gerilme dağılımı oranlarını göstermektedir. Gerilme dağılımı olarak Şekil 3. 41.b'ye benzer bir durum görülmektedir.

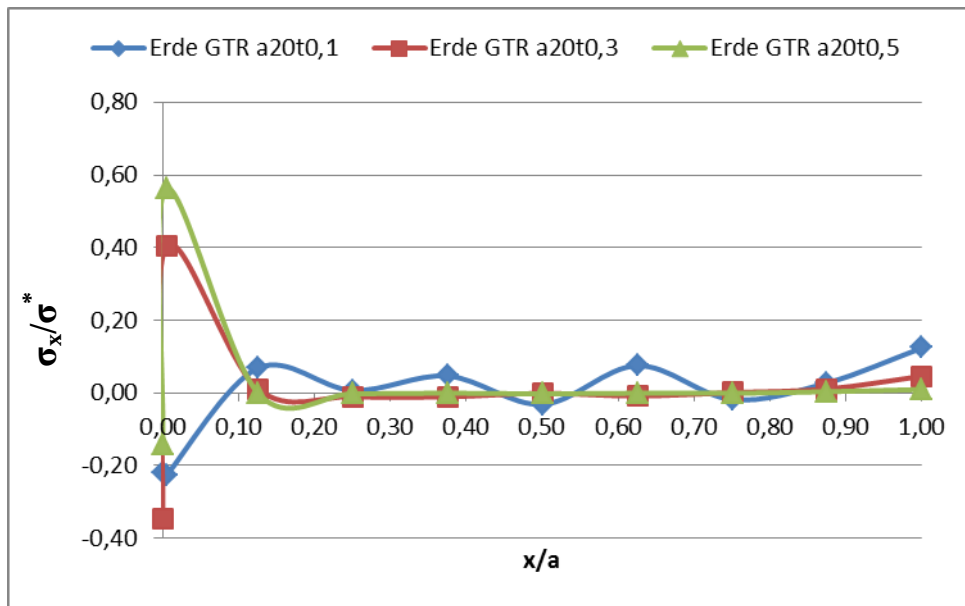
Şekil 3.41.d, Erde GTR ile birleştirilmiş $a=20$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında z-ekseni yönündeki gerilme dağılımını göstermektedir. Gerilme dağılımı olarak Şekil 3. 41.b'ye benzer bir durum görülmektedir.

Şekil 3. 41.e, Erde GTR ile birleştirilmiş $a=20$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan kayma gerilmesi dağılımını göstermektedir. Kayma gerilmesi oranı $t=0.1$ için $t=0.3$ ve $t=0.5$ ' ten farklı bir durum göstermiştir. $t=0.1$ için kayma gerilmesi oranı $x/a = 0.5$ 'de minimum, $x/a = 1$ 'de maksimum değer almıştır. Diğer iki kalınlıkta bağlantının orta noktasını geçtikten sonra gerilme değerlerinde artış olmuş $x/a = 1$ 'de maksimum değerler elde edilmiştir. Tüm yapıştırıcı kalınlıkları için $x/a = 0$ 'da birbirine çok yakın gerilme değerleri elde edilirken bağlantının sonunda çok farklı değerler elde edilmiştir. Kayma gerilmesi dağılımının $t=0.3$ ve $t=0.5$ mm yapıştırıcı kalınlıklarında düzgün dağılmasının nedeni gerilmenin yapıştırıcı üzerinde A-C hattı boyunca yayılmasıdır. Yapıştırıcı kalınlığı arttıkça bu durum daha da belirgin hale gelmektedir.

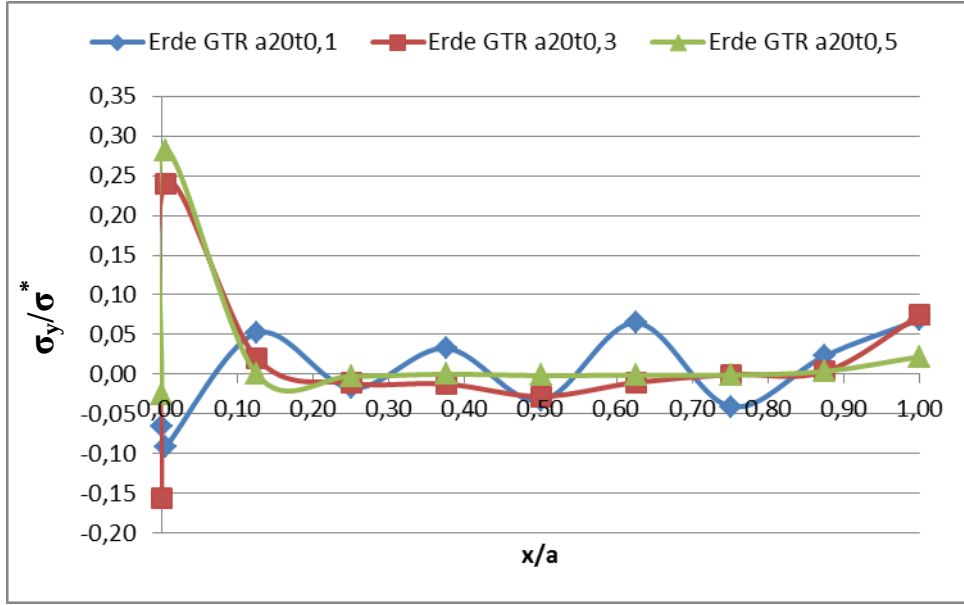
$t=0.1$ mm yapıştırıcı kalınlığında ise gerilme yapıştırıcı tabakası üzerinde düzgün dağılmayıp dalgalı bir yapı izleyerek bağlantının orta noktasında 0 değeri almıştır. Kayma gerilmesi dağılımı açısından $t=0.3$ ve $t=0.5$ mm yapıştırıcı kalınlıklarının uygun olduğu görülmektedir.



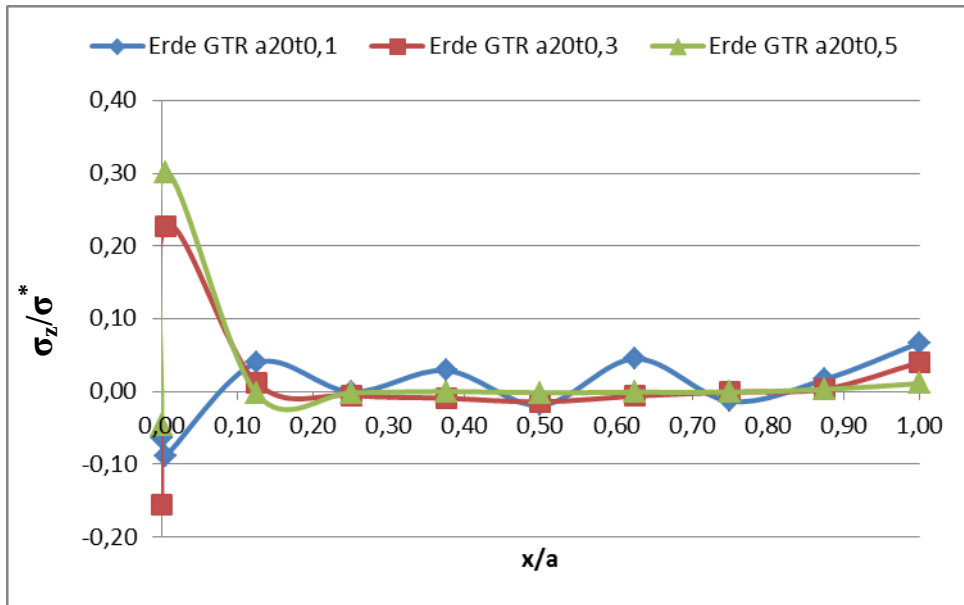
Şekil 3.41.a



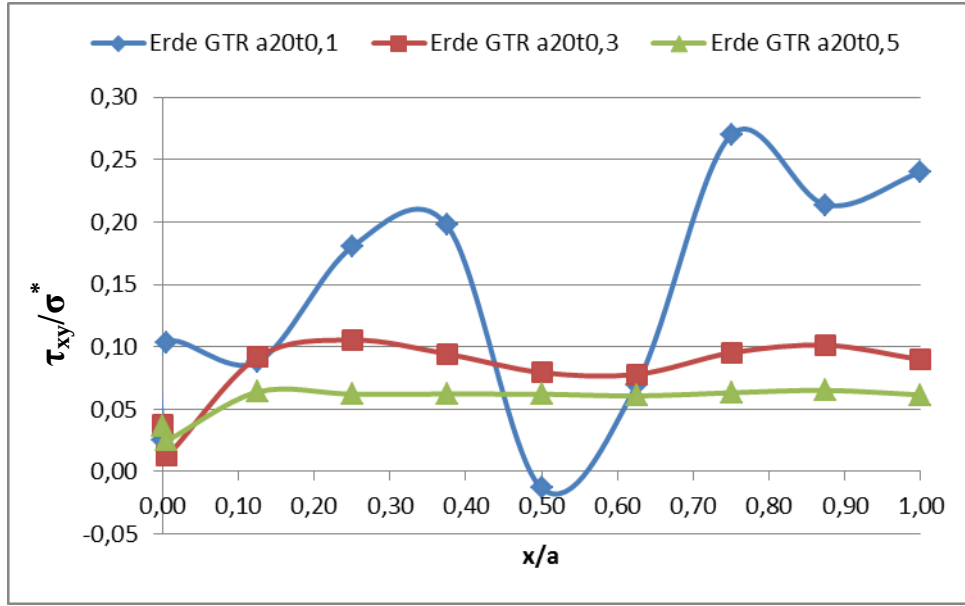
Şekil 3.41.b



Şekil 3.41.c



Şekil 3.41.d



Şekil 3.41.e

Şekil 3.41. Erde GTR ile birleştirilmiş $a=20$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan; (a) eşdeğer ($\sigma_{eş}$), (b) normal (σ_x), (c) soyulma (σ_y), (d) normal (σ_z) ve (e) kayma (τ_{xy}) gerilme dağılımları

Şekil 3.42 Erde GTR ile birleştirilmiş sabit $a=30$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığında prizmatik geçmeli bağlantıda A-C hattı boyunca oluşan gerilme dağılımlarını göstermektedir.

Şekil 3.42.a, Erde GTR ile birleştirilmiş $a=30$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan eşdeğer gerilme dağılımı oranlarını göstermektedir. Eşdeğer gerilme oranı $t=0.1$ için $x/a = 0.16$ 'da maksimum değer almakta iken $t=0.3$ ve $t=0.5$ mm yapıştırıcı kalınlığı için minimum değerler almıştır. $x/a = 0.58$ 'de $t=0.1$ için eşdeğer gerilme oranı minimum değer almıştır. $t=0.3$ ve $t=0.5$ mm yapıştırıcı kalınlığında ise eşdeğer gerilme $x/a = 1$ 'de maksimum değer almıştır. Eş değer gerilme oranı $t=0.3$ ve $t=0.5$ için benzer karakter sergilediği görülürken $t=0.1$ 'de farklı bir yapı sergilemiştir. $t=0.1$ mm yapıştırıcı kalınlığında dalgalı bir form görülürken, $t=0.3$ ve $t=0.5$ mm yapıştırıcı

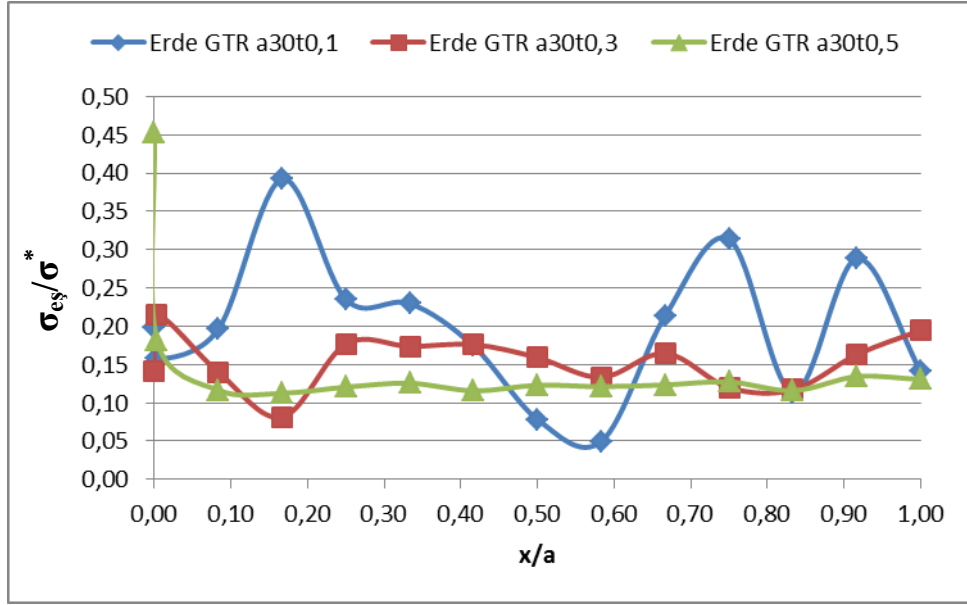
kalınlıklarında eşdeğer gerilmenin yapıştırma hattı boyunca düzgün dağıldığı görülmektedir.

Şekil 3.42.b, Erde GTR ile birleştirilmiş $a=30$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan normal gerilme dağılımı oranlarını göstermektedir. Normal gerilme oranı tüm yapıştırıcı kalınlıklarında $x/a = 0$ 'da (A noktası) maksimum değer olarak bağlantının sonuna kadar küçük dalgalı bir formda devam etmiştir. En büyük gerilme oranı $t=0.5$ mm yapıştırıcı kalınlığına aittir. Bağlantının sonuna yaklaştıkça yapıştırıcı kalınlığı arttıkça normal gerilme oranında azalma görülmüştür.

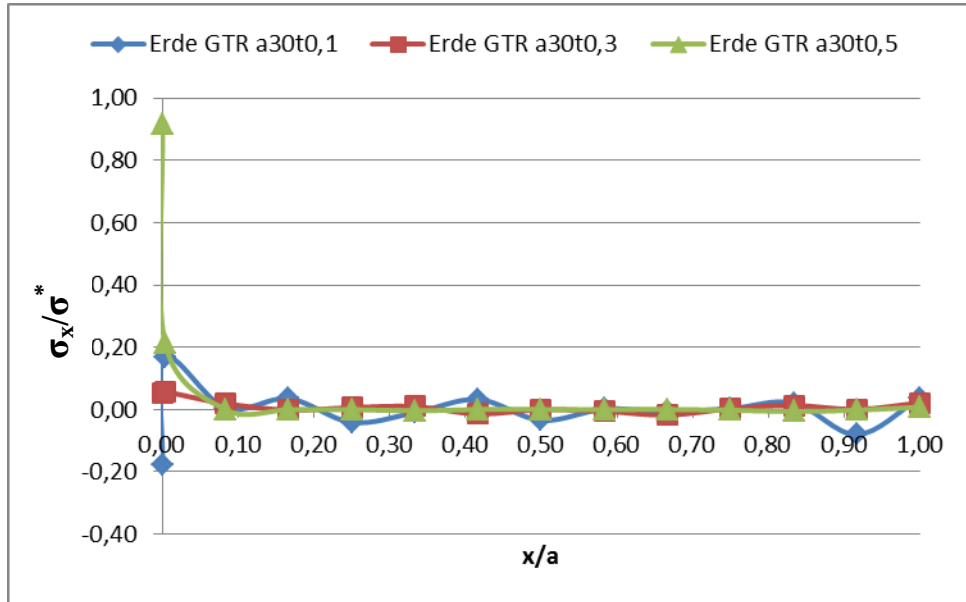
Şekil 3.42.c, Erde GTR ile birleştirilmiş $a=30$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan soyulma gerilme dağılımı oranlarını göstermektedir. Gerilme dağılımı olarak Şekil 3.42.b'ye benzer bir durum görülmektedir.

Şekil 3.42.d, Erde GTR ile birleştirilmiş $a=30$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında z-ekseni yönündeki gerilme dağılımını göstermektedir. Gerilme dağılımı olarak Şekil 3.42.b'ye benzer bir durum görülmektedir.

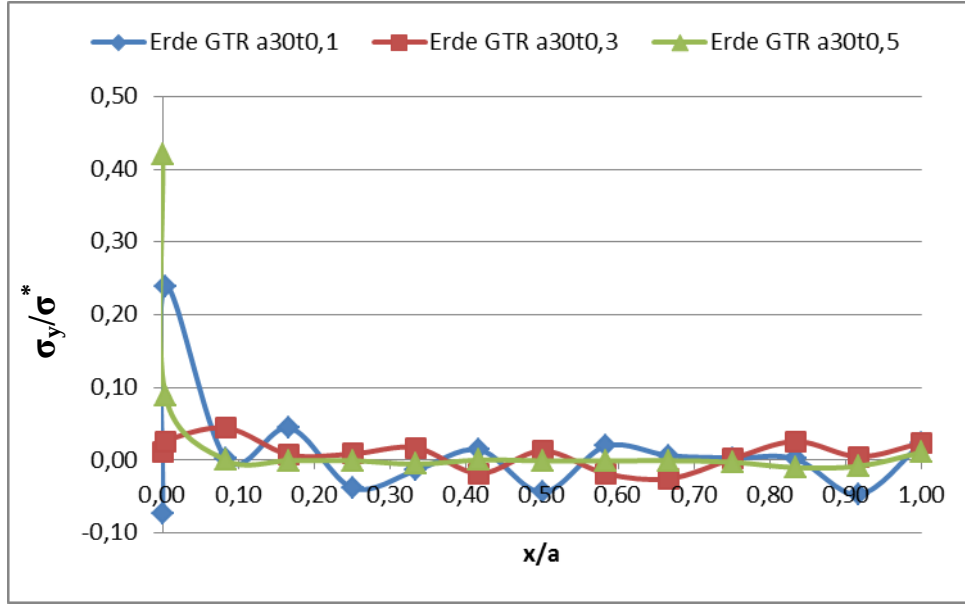
Şekil 3.42.e, Erde GTR ile birleştirilmiş $a=30$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan kayma gerilmesi dağılımını göstermektedir. Kayma gerilmesi oranı $t=0.1$ için $t=0.3$ ve $t=0.5$ 'ten farklı bir durum göstermiştir. $t=0.1$ için kayma gerilmesi oranı $x/a = 0.58$ ve $x/a = 0.93$ 'de minimum değer almıştır. Diğer iki yapıştırıcı kalınlığında $x/a = 0$ 'da minimum ve $x/a = 1$ 'de maksimum değerler elde edilmiştir. Kayma gerilmesi dağılımının $t=0.3$ ve $t=0.5$ mm yapıştırıcı kalınlıklarında düzgün dağılmasının nedeni gerilmenin yapıştırıcı üzerinde A-C hattı boyunca yayılmasıdır. Yapıştırıcı kalınlığı arttıkça bu durum daha da belirgin hale gelmektedir. $t=0.1$ mm yapıştırıcı kalınlığında ise gerilme yapıştırıcı tabakası üzerinde düzgün dağılmayıp dalgalı bir yapı izleyerek bağlantının orta noktası civarında 0 değeri almıştır. Kayma gerilmesi dağılımı açısından $t=0.5$ mm yapıştırıcı kalınlığının uygun olduğu görülmektedir.



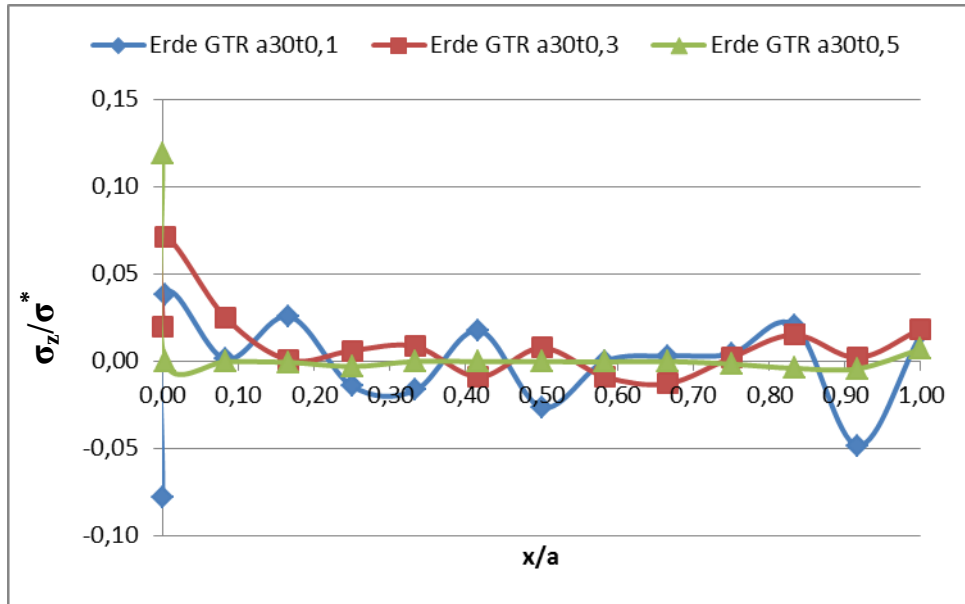
Şekil 3.42.a



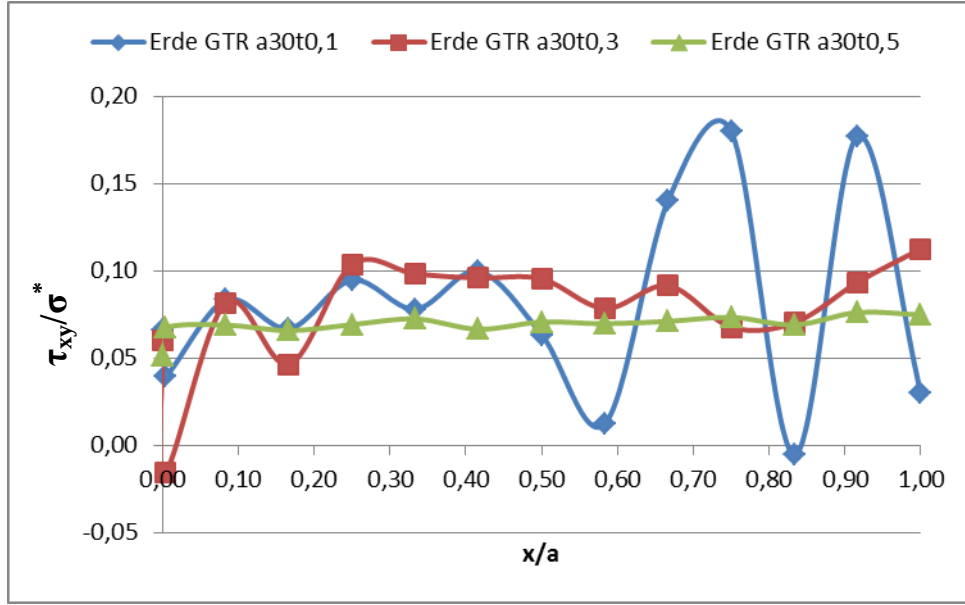
Şekil 3.42.b



Şekil 3.42.c



Şekil 3.42.d



Şekil 3.42.e

Şekil 3.42. Erde GTR ile birleştirilmiş $a=30$ mm bindirme uzunluğu ve $t=0.1, 0.3$ ve 0.5 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip prizmatik geçmeli bağlantı için A-C hattı boyunca yapıştırıcı tarafında oluşan; **(a)** eşdeğer ($\sigma_{eş}$), **(b)** normal (σ_x), **(c)** soyulma (σ_y), **(d)** normal (σ_z) ve **(e)** kayma (τ_{xy}) gerilme dağılımları

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, yapıştırıcı ile birleştirilmiş prizmatik geçmeli bağlantılarda bağlantı mukavemeti üzerine yüzey pürüzlülüğünün, yapıştırıcı kalınlığının ve bindirme mesafesinin etkisini tespit etmek amacıyla, 3 farklı bindirme mesafesinde, 3 farklı yapıştırma kalınlığında ve 3 farklı yüzey pürüzlülüğünde üretilen numuneler metal bağlantıların birleştirilmesinde yaygın olarak kullanılan epoksi bazlı 3 farklı yapıştırıcı ve akrilik bazlı bir yapıştırıcı olmak üzere toplam 4 yapıştırıcı kullanılarak birleştirilmiş ve toplam 90 adet prizmatik geçmeli bağlantı elde edilmiştir. Elde edilen bu bağlantılar eksenel çekme deneylerine maruz bırakılarak her bir bağlantının bağlantı mukavemeti tespit edilmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak sunulmuştur.

Genel olarak yapıştırıcı birleştirmeli bağlantıların mukavemeti; birleşen parçaların büyüklüğüne, kalınlığına, geometrisine, elastisite modülüne, yapıştırıcının kayma modülüne, yapışma uzunluğuna, yapışma yüzeylerinin ön işlemlerine, yapışma işlemine ve yapıştırıcı birleştirmeli bağlantının maruz kalacağı çevresel şartlara bağlıdır [74].

Çekme deneyinden sonra aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Tüm bindirme mesafeleri için soyulma etkisi oluşmuştur. Şekil 3.19 incelendiğinde yapıştırıcı bağlantılarında kohezyon (KH) ve adhezyon hasarının (AH) olduğu görülmektedir. Yapıştırıcıların tamamında yüzeyden soyulma (AH) ya da kopma şeklinde hasarlar oluşmuştur. Deney numunelerinin tümü incelendiğinde genellikle yüzey pürüzlülüğü yüksek ($R_a=5\mu m$) ve yapıştırıcı kalınlığı az olan bağlantılarda yapıştırıcının koparak ayrıldığı, yüzey pürüzlülüğü düşük ($R_a=1.00 \mu m$) ve yapıştırıcı kalınlığı fazla olan yüzeylerde ise yapıştırıcıların yüzeyden soyularak ayrıldığı görülmüştür. $R_a=3.00 \mu m$ yüzey pürüzlülüğüne sahip ve yapıştırıcı kalınlığı az olan bağlantılarda ise yapıştırıcıların koparak ayrıldığı tespit edilmiştir.

Tüm yapıştırıcılarda, yapıştırılan bağlantıların dayanımı $R_a=1.00 \mu m$ yüzey pürüzlülüğünde en düşük çıkmıştır. Yüzey pürüzlülüğü arttırıldığında yapıştırıcı dayanımı da artmaktadır. Çalışmada kullanılan yüzey pürüzlülük değerleri karşılaştırıldığında bağlantıların maksimum dayanıma $R_a=3.00 \mu m$ yüzey pürüzlülüğünde ulaştıkları ve bu değerden sonra pürüzlülüğün artırılması ile dayanımın azaldığı görülmüştür (Şekil 3.4,

Şekil 3.5 ve Şekil 3.6). Artan yüzey pürüzlülük değeri ile yapışma bölgesinde meydana gelen ortalama kayma gerilmeleri azalmıştır (Şekil 3.13, Şekil 3.14 ve Şekil 3.15).

En yüksek kayma dayanımı $R_a=3.00 \mu\text{m}$ yüzey pürüzlülüğünde 0.1 mm yapıştırıcı kalınlığında ve 10 mm bindirme mesafesinde Akfix E300 kullanılarak birleştirilen bağlantıda elde edilmiştir (Şekil 3.13).

Bindirme mesafesi arttıkça Şekil 3.7, Şekil 3.8 ve Şekil 3.9'dan görüleceği üzere tüm yapıştırıcılar için bağlantıların dayanımı artmıştır. Artan bindirme mesafesi yapışma bölgesinde meydana gelen ortalama kayma gerilmelerini azaltmış dolayısı ile bağlantının kayma dayanımına olumlu yönde katkı sağlamıştır (Şekil 3.16, Şekil 3.17 ve Şekil 3.18).

Her 3 bindirme mesafesi için de Akfix E300 ile birleştirilen bağlantıların kayma dayanımları Devcon A, Devcon Titanyum ve Erde GTR ile birleştirilen bağlantıların kayma dayanımlarından daha yüksek olarak tespit edilmiştir.

Yapıştırıcı kalınlığının bağlantının dayanımı üzerine etkisi, Şekil 3.1, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'den görüleceği gibi yapıştırıcı kalınlığı arttıkça bağlantının dayanımının azaldığı ve buna bağlı olarak yapışma bölgesinde meydana gelen ortalama kayma gerilme değerlerinin de azaldığı tespit edilmiştir (Şekil 3.10, Şekil 3.11 ve Şekil 3.12).

Yapıştırma bağlantılarının mukavemetine bindirme mesafesi ve yüzey pürüzlülüğünün önemli derecede etki ettiği, yapıştırıcı kalınlığının etkisinin diğer faktörlere göre az olduğu ancak gerilmenin dağılımına etkisinin oldukça fazla olduğu görülmüştür.

Özellikleri birbirinden farklı 4 yapıştırıcı kullanılarak, 3 farklı yapıştırma kalınlığında ve 3 farklı bindirme uzunluğunda birleştirilmiş prizmatik geçmeli bağlantılar için, yapıştırıcılar ve yapıştırılan malzemelerin gerilme-şekil değiştirme davranışları dikkate alınarak lineer (Akfix E300, Devcon A, Devcon Titanyum) ve non-lineer (Erde GTR) sonlu elemanlar yöntemi ile gerilme analizi yapılmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

Tablo 3.4'de verilen çekme deneyi sonucunda elde edilen hasar yükleri ile Ansys'de yapılan sonlu elemanlar analizi sonucunda elde edilen hasar yükleri arasında çok iyi bir uyumun olduğu görülmüştür .

Ansys sonlu eleman analiz sonuçlarına göre çekme yüküne maruz yapıştırma bağlantılarında maksimum eşdeğer gerilmeler yapıştırıcı ile yapıştırılan malzemelerin ara yüzeyinde meydana gelmektedir.

Eşdeğer gerilmenin ($\sigma_{eş}$) yapıştırılan malzemeler üzerindeki dağılımı incelendiğinde aynı bindirme uzunluğuna sahip farklı yapıştırıcı kalınlıkları için yapılan analizlerden yapıştırıcı kalınlığının gerilmenin dağılımına büyük ölçüde etki ettiği görülmüştür. Yapıştırıcı kalınlığı arttıkça yapıştırılan malzeme ve yapıştırıcı malzemelerin ara yüzeylerinde oluşan gerilmelerin değeri azalmış ve gerilme dağılımı yapışma hattı boyunca düzgün bir yapı oluşturmuştur. Örnek verilecek olursa $t=0.1$ mm yapıştırıcı kalınlığında eşdeğer gerilme dağılımı dalgalı formda ve değer olarak maksimum iken $t=0.5$ mm yapıştırıcı kalınlığında gerilme dağılımı oldukça düzgün ancak değer olarak minimum değerdedir.

Eşdeğer gerilme tüm bindirme uzunluklarında $t=0.3$ ve $t=0.5$ yapıştırıcı kalınlıklarında A-A' aralığında bağlantının (uç noktası) maksimum değerlere ulaşmış iken $t=0.1$ mm yapıştırıcı kalınlığında C noktasında (bağlantının sonu) maksimum değer almıştır. Maksimum eşdeğer gerilme değerleri yapıştırıcı bazında değerlendirildiğinde Erde GTR maksimum, Akfix E300 ise minimum değerler almıştır.

Yapıştırıcıların deneysel çalışmalardan elde edilen çekme dayanımları $\sigma_{Akfix} = 34.1\text{Mpa}$, $\sigma_{EGTR} = 7.9\text{Mpa}$, $\sigma_{DevconA} = 26.5\text{Mpa}$ ve $\sigma_{DevconT} = 22.1\text{Mpa}$ 'dır. Akfix E300'ün çekme dayanımı Erde GTR'den 3,35 kat fazla olmasına rağmen örneğin $a=10$ mm ve $t=0.3$ mm için Erde GTR eşdeğer gerilme değeri Akfix E300'den 2,13 kat daha fazla çıkmıştır. Erde GTR en düşük performans gösterdiği bağlantılarda bile Akfix E300 ile eşit gerilme değerleri elde edilmiştir. Devcon A ve Devcon T'nin davranışları da yapıştırıcı kalınlığına bağlı olarak değişim göstermiştir. $t=0.1$ için Akfix E300'den daha düşük gerilme değerleri elde edilirken $t=0.3$ ve $t=0.5$ 'de Akfix E300'den daha yüksek gerilme değerleri elde edilmiştir. Macun formundaki bu iki yapıştırıcı için genel olarak diğerlerine göre sıralamada arada kalan bir durum söz konusudur.

Normal gerilmeler (σ_x), göz önüne alındığında maksimum değerlerin tüm yapıştırıcı kalınlıkları ve bindirme uzunluklarında A-A' aralığında, minimum değerlerin ise B-C aralığında elde edildiği bağlantının sonunda ise yapıştırıcı kalınlığına göre bir miktar artışın olduğu görülmektedir.

Normal gerilme dağılımı açısından B-C aralığında yapıştırıcı kalınlığına bağlı olarak x eksenine paralel düz veya dalgalı bir yapı görülmüştür. $t=0.1$ 'de dalgalı yapı, $t=0.3$ ve $t=0.5$ 'de düz yapı görülmektedir. σ_x değerleri B-C aralığında 0 veya 0'a çok yakın değerler göstermiştir. Aynı bindirme uzunluğu için yapıştırıcı kalınlığı arttıkça normal gerilme değerlerinde artış görülmüştür. Farklı bindirme uzunluklarında bindirme uzunluğu arttıkça normal gerilmenin değeri de artmıştır. Normal gerilme maksimum değerleri çoğunlukla Erde GTR'de minimum değerler ise Devcon Titanyum'da görülmüştür.

Soyulma gerilme dağılımında (σ_y), tüm bindirme mesafelerinde ve yapıştırıcı kalınlıklarında normal gerilme (σ_x)'ye benzer bir yapı görülmüştür. Soyulma gerilimi tüm yapıştırıcılarda $x/a = 0$ 'da yani bindirmenin uç kısmında maksimum değere ulaşmıştır. Soyulma gerilmesinin normal gerilmeye göre farkı maksimum gerilme değerinin tüm yapıştırıcılar için az bir değerde düşüş göstermesi olmuştur ($\sigma_x/\sigma^* > \sigma_y/\sigma^*$).

Soyulma gerilme değerlerine bakıldığında Erde GTR'nin maksimum değerler aldığı görülmektedir. Bu durum diğer yapıştırıcıların çekme mukavemetleri Erde GTR'den yüksek olmasına rağmen diğerlerinden daha esnek bir yapıştırıcı olan Erde GTR'nin bağlantının uç kısmında oluşan soyulma gerilmelerini daha düzgün dağıtarak büyük şekil değişimlerini üzerine almasından kaynaklanmaktadır.

Z ekseninde oluşan gerilme dağılımları (σ_z), incelendiğinde gerilme dağılımları olarak soyulma gerilmelerine benzer özellikler görülmektedir. Soyulma gerilmesine göre farkı maksimum gerilme değerinin tüm yapıştırıcılar için soyulma gerilmesi maksimum değerinden daha düşük olmasıdır ($\sigma_y/\sigma^* > \sigma_z/\sigma^*$).

Kayma gerilmeleri (τ_{xy}) incelendiğinde yapıştırıcı kalınlığı değişiminin değer ve dağılım olarak kayma gerilmesine büyük oranda etki ettiği görülmüştür. Yapıştırıcı kalınlığı arttıkça kayma gerilmesi değerleri de azalmış $a=10$ mm ve $t=0.3$ mm dışındaki tüm analizlerde C noktasında maksimum değerler edilmiştir. A noktasında ise maksimum değerlerden biraz daha düşük değerler elde edilmiştir. Bağlantının orta noktalarında $t=0.1$ için 0 veya 0'a yakın değerler görülürken yapıştırıcı kalınlığı arttıkça kayma gerilmesi dağılımının düzelmesiyle beraber kayma gerilmesi değerlerinin arttığı ve bağlantının uç bölgelerindeki değerlere yakın değerler elde edilmiştir. Bindirme uzunluğunun artması kayma gerilmesinin büyüklüğüne etki etmekten çok gerilmenin dağılımına, maksimum ve minimum noktalarının yerinin değişmesine sebep olmuştur.

Kayma gerilmesi değerlerinde çoğunlukla Erde GTR'nin maksimum değerler aldığı görölmektedir. Bindirme uzunlukları ve yapıştırıcı kalınlığına göre çok az değişmekle birlikte kayma gerilme değerleri Erde GTR > Devcon Titanyum > Devcon A > Akfix E300 şeklinde sıralanmaktadır.

Yapıştırıcıların sadece çekme dayanımı dikkate alınarak, yapıştırma bağlantılarında gösterecekleri davranışı belirlemek zordur.

Bir yapıştırıcının kayma dayanımı (τ_{xy}), bağlantıdaki normal gerilmeler tamamıyla çıkarılırsa belirlenebilir. Birçok durumda yapıştırıcı tabakasında normal gerilmeler (σ_x , σ_y) hasarı kontrol eder. Bunun sonucu olarak ASTM D1002'de tanımlanan yöntemle bağlantının kayma dayanımı belirlenemez. Elde edilen kayma dayanımı, gerilme yığılmaları kritik bir seviyeye ulaştığında ve hasar oluştığında meydana gelen basit ortalama kayma gerilmeleridir. Yapıştırıcının gerçek kayma dayanımı değildir. Ortalama kayma gerilmesi (τ_{ort}), yapıştırıcıya ait malzeme özelliklerini temsil etmez. Bundan dolayı, tek başına tasarım parametresi olarak kullanılamaz [74].

KAYNAKLAR

- [1] **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.
- [2] **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.
- [3] **Aydın, M.D., Temiz, Ş., Özel, A., 2007.** Yapıştırma Bağlantılarının Dayanımı Üzerine Kürleşme Basıncının Etkisi, *8. Uluslar Arası Kırılma Konferansı Bildiriler Kitabı*, İstanbul, 7-9 Kasım, s. 470-479.
- [4] **Volkersen, O., 1938.** Die Nietkraftverteilung in zugbeanspruchten Nietverbindungen mit konstanten Laschenquerschnitten, *Luftfahrtforschung*, **15**, pp. 41-47.
- [5] **Volkersen, O., 1965.** Recherches sur la theorie des assambles colles, *Construction Metallique*, **4**, pp. 3-13.
- [6] **Goland, M. and Reissner, E., 1944.** The Stresses in Cemented Joints, *Journal of Applied Mechanics*, **11**, pp. 45-59.
- [7] **Muki, R. and Stenberg, E., 1968.** On the Stress analysis of overpping Bonded Elastic Sheets, *Int. J. Solids structures*, **4**, pp. 75-94.
- [8] **Erdogan, F., 1969.** Distribution of Adhesive Shear stres in a Stiffened Plate, *Technical Progress Report NASA*, December, NGR39-007-011.
- [9] **Erdogan F. and Ratwani, M., 1971.** Stres Distrubition in bonded Joints, *J. Composite Materials*, **15**, pp. 378-393.
- [10] **Renton, W.J. and Vinson, J.R., 1975a.** The Efficient Design of Adhesive Bonded Joints, *J. Adhesion*, **7**, pp. 175-193.
- [11] **Renton, W.J. and Vinson J.R., 1977.** Analysis of Bonded Joints Between Panels of Composite Materials, Transaction of the ASME, *J. Of applied Mechanics*, **44**, pp. 101-106.
- [12] **Hart-Smith, L.J., 1972.** Design and Analysis of Adhesive bonded Joints, McDonnell-Douglas Co. Report No:6059A, Long Beach, California.
- [13] **Hart-Smith, L.J., 1981.** Stres Analysis: A Continuum Mechanics Approach, *Developments in Adhesive-2*, Ed. Kinloch, A.J., Elsevier Applied Science Publishers, pp. 144, London.
- [14] **Wooley, G.R. and Carver, D.R., 1971.** Stress Concentration Factors for Bonded Lap Joints, *J.Aircraft*, **8**, no10, pp. 817-820.

- [15] **Renton, W.J. and Vinson, J.R.**, 1975b. On The Behaviour of Bonded Joints in composite Material Structures, *Engineering Fracture Mechanics*, **7**, pp. 41-60.
- [16] **Delale, F., Erdogan, F. and Aydinoglu, M.N.**, 1980. Stress in Adhesively Bonded Joints; Closed Form Solution, *Journal of Composite Materials*, **15**, pp. 249-271.
- [17] **Sawyer, J.W., and Cooper, P.A.**, 1981. Analytical and Experimental Results for Bonded Single Lap, Joints With Performed Adherends, *AIAA Journal*, **19/11**, pp. 1443-1451.
- [18] **Apalak, M.K., and Davies, R.**, 1993. Ananlysis and Design of Adhesively Bonded Corner Joints, *Int. J. Adhesion and Adhesives*, **13/4**, pp. 219-235.
- [19] **Apalak, M.K.**, 2000. Geometrically non-linear analysis of an adhesively bonded modified double containment corner joint, *I. Journal of Adhesion Science and Technology*, **9**, pp. 1159-1177.
- [20] **Li G, Lee, Sullivan P.**, 2001. Finite element and experimental studies on balanced single lap joints in tension, *Int. J. Adhesion Adhesives* **21**, pp.211–220.
- [21] **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*, **19(8)**, pp. 705-718.
- [22] **Lucas F.M.da Silva, Paulo J.C. das Neves, Adams, R.D.**, 2009. Analytical models of adhesively bonded joints Part I:Literature survey, *International Journal of Adhesion & Adhesives*, **29**, pp. 319–330.
- [23] **Ojalvo, I.U., Eidinoff, H.L.**, 1978. *AIAA J*, **16**, pp. 204.
- [24] **Srinivas, S.**, 1975. *NASA Technical Note*, NASA TN D-7855.
- [25] **Li W., Blunt, L., Stout K. J.**, 1997. Analysis and design of adhesive-bonded tee joints, *Int. J. Adhesion and Adhesives*, **17**, pp. 303-311.
- [26] **Hosseinzadeh, R., Taheri, F.**, 2009. Non-linear investigation of overlap length effect on torsional capacity of tubular adhesively bonded joints, *Composite Structures*, **91**, pp. 186–195.
- [27] **Nemes, O., Lachaud F.**, 2010. Double-lap adhesive bonded-joints assemblies modeling, *International Journal of Adhesion & Adhesives*, **30**, pp. 288–297.
- [28] **Shields, J.**, 1984. *Adhesives Handbook*, 3rd ed., Butterworth, London.
- [29] **Bascom WD., Cottington RL., Timmons CO.**, 1977. Fracture reliability of structural adhesives, *J. Appl. Polym. Sci. Appl. Polym. Symp.*, **32**, pp. 165–188.

- [30] **Kinloch AJ., Shaw SJ.**, 1981. The fracture resistance of a toughened epoxy adhesive, *J. Adhes.*, **12**, pp. 59–77.
- [31] **Mall S., Ramamurthy G.**, 1989. Effect of bond thickness on fracture and fatigue strength of adhesively bonded composite joints, *International Journal of Adhesion*, **9(1)**, pp. 33–37.
- [32] **Tamblin JS., Yang C., Harter P.**, 2001. Investigation of thick bondline adhesive joints, June, DOT/FAA/AR-01/33.
- [33] **Taib AA., Boukhili R., Achiou S., Gordon S., Boukehili H.**, 2006. Bonded joints with Composite adherends. Part1.Effect of specimen configuration, adhesive thickness, spew fillet and adherend stiffness on fracture, *Int. J. Adhes. Adhes.*, **26**, pp. 226–236.
- [34] **Daghiyani HR., Ye L., Mai Y-W.**, 1995. Mode-I fracture behaviour of adhesive joints part I. relationship between fracture energy and bond thickness, *J. Adhes.*, **53**, pp.149–162.
- [35] **Abou-Hamda MM., Megahed MM., Hammouda MMI.**, 1998. Fatigue crack growth in double cantilever beam specimen with an adhesive layer, *Engng. Fract. Mech.*, **60**, pp. 605–614.
- [36] **Kawashita LF., Kinloch AJ., Moore DR., Williams JG.**, 2008. The influence of bond line thickness and peel arm thickness on adhesive fracture toughness of rubber toughened epoxy–aluminium alloy laminates. *Int. J. Adhes. Adhes.*, **28**, pp.199–210.
- [37] **Bascom WD., Cottingham RL., Jones RL., Peyser P.**, 1975. The fracture of epoxy and elastomer-modified epoxy polymers in bulk and as adhesives. *J. Appl. Polym. Sci.*, **19**, pp. 2545–2562.
- [38] **Schmueser DW., Johnson NL.**, 1990. Effect of bondline thickness on mixed-mode debonding of adhesive joints to electroprimed steel surfaces, *J. Adhes.*, **32**, pp. 171–91.
- [39] **Chai H.**, 1988. Fracture work of thin bondline adhesive joints, *J. Mater. Sci. Lett.*, **7** pp. 399–401.
- [40] **Kahramana R., Sunarb M., Yilbas B.**, 2008. Influence of adhesive thickness and filler content on the mechanical performance of aluminum single-lap jointsbonded with aluminum powder filled epoxy adhesive, *J Mater Process Technol.*, **205**, pp. 183–189.
- [41] **Da Silva LFM., Carbas RJC., Critchlow GW., Figueiredo MAV., Brown K.**, 2009. Effect of material surface treatment and environment on the shear strength of single lap joints, *Int. J. Adhes. Adhes.*, **29**, pp. 621–632.

- [42] **Azari, S., Papini, M., Spelt, J.K.,** 2011. Effect of adhesive thickness on fatigue and fracture of toughened epoxy joints – Part I: Experiments. *Engineering Fracture Mechanics*, **78**, pp. 153–162.
- [43] **Jarry E., Shenoi RA.,** 2006. Performance of butt strap joints for marine applications, *International Journal of Adhesion & Adhesives*, **26**, pp. 162–176.
- [44] **Grant LDR., Adams RD., DaSilva LFM.,** 2009. Experimental and numerical analysis of single lap joints for the automotive industry, *International Journal of Adhesion & Adhesives*, **29**, pp. 405–413.
- [45] **Davies P., Sohier L., Cognard J. et al.** 2009. Influence of adhesive bondline thickness on joint strength, *International Journal of Adhesion & Adhesives*, **29**, pp.724–736.
- [46] **Nemeş, O., Lachaud, F.,** 2010. Double-lap adhesive bonded-joints assemblies modeling. *International Journal of Adhesion & Adhesives*, **30**, pp. 288–297.
- [47] **Venables, J. D.,** 1984. *Journal of Materials Science*, **19**, pp. 2431-2453.
- [48] **Loctite Worldwide Design Handbook,** 1998.
- [49] **Sancaktar, E., Gomatam, R.,** 1998. A study on the Effects of Surface Roughness on The Strength of single Lap Joints, *ASME DE*, **100**, pp. 91-111,
- [50] **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.
- [51] **Hitchcock SJ., Carroll NT., Nicholas MG.,** 1981. Some effects of substrate roughness on wettability, *J. Mater. Sci.*,**16**, pp.714–732.
- [52] **Sargent, JP.,** 1994. Adherend surface morphology and its influence on the peel strength of adhesive joints bonded with modified phenolic and epoxy structural adhesives, *Int. J. Adhesion Adhesives*, **14(1)**, pp. 21–30.
- [53] **Shahid, M., Hashim, S.A.,** 2002. Effect of surface roughness on the strength of cleavage joints, *International Journal of Adhesion & Adhesives*, **22**, pp. 235–244.
- [54] **Şekercioğlu, 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.
- [55] **Turgut, A., and Sancaktar, E.,** 1991. The Effects of Cure and Loading Conditions on Fiber matrix Adhesion. *The Adhesion Society*, **41**, pp.24-26.

- [56] **DeMejo LP., Rimai DS., Sharpe LH.,** 1999. Fundamentals of Adhesion and Interfaces. Taylor & Francis; London.
- [57] **Deraguin BV., Smilga VP.,** 1967. *J. Appl. Phys.*, **38**, 4609.
- [58] **Deraguin BV, Toporov YP.,** 1983. *Physiochem Aspects Polym Proc Int Symp.*;2, pp. 605.
- [59] **Cross JA. In: Mittal KL, ed.,** 1979. Surface Contamination:Its Genesis, Detection and Control, Vol. 2, p. 89. Plenum Press, New York.
- [60] **Possart W.,** 1988. *Int J Adhes.*, **8**, pp. 77.
- [61] **Petrie EM.,** 2002. Plastics and adhesives as adhesives.In: Harper CA, ed. Handbook of Plastics and Elastomers. 4th ed., McGraw-Hill, New York.
- [62] **Bikerman JJ.,** 1967. Causes of poor adhesion. *Indus Eng Chem.*, **59(9)**, 40e4.
- [63] **Morrissey, M.A. and Johnson, W.R.,** 1985. Adhesive and Cements, *Douglas Aircraft Company Design Handbook*, California.
- [64] **Kaya, F.,** 2004. *Ana Hatlariyla Yapıştırıcılar*, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [65] **Ciba-Geigy,** 1993. Ciba composites: Redux Bonding Technology, Pub. No. RGU 201A Duxford-Chambridge.
- [66] **Loctite Global Tasarım Elkitabı,** 2005. Erasmusdruck GmbH, Mainz, Germany.
- [67] **Adams, R.D. and Wake, W.C.,** 1984. Structura Adhesive Joint in Engineering, *Elsevier Scinece Publisher*, London.
- [68] **Taib, A.A., Boukhili, R., Achion, S. and Boukehili, A.,** 2006. Bonded joints with coposite adherends. Part II. Finite element analysis of joggle lap joints, *International Journal of Adhesion & Adhesives*, **26**, pp. 237- 248.
- [69] **Adams, R.D.,** 1989. Strength Predictions for Lap Joints, Especially with Composite Adherents, A Review. *Journal of Adhesion*, **30**, pp. 219-242.
- [70] **ISO 527-2,** 1993. Plastics-Determination of tensile properties- Part 2: Test conditions for Mouldingand extrusion plastics.
- [71] **ASTM D1002,** 1983. Standard test method for strength properties of adhesives in shear by tension loading (metal-to-metal).
- [72] **Aydın, M.D.,** 2003. Yapıştırıcı ile Birleştirilmiş Tek Tesirli Bindirme Bağlantısının Mekanik Özelliklerinin Deneysel ve Teorik İncelenmesi, *Doktora Tezi*, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

- [73] Aydın, M.D., Temiz, Ş. ve Özel, A., 2004. Yapısal Yapıştırıcıların Mekanik Özelliklerinin Belirlendiği Deneysel Yöntemler, *Mühendis ve Makine*, Cilt **45** (536), sayfa 18-24.
- [74] Solmaz, M.Y., 2008. Yapıştırıcı İle Birleştirilmiş Bağlantıların Mekanik Analiz ve Tasarımları, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [75] Temiz, S., 2006. Application of Bi-adhesive In Double-Strap Joints Subjected To Bending Moment, *J. Adhesion Sci. Technol.*, **20**, pp.1547-1560.
- [76] Duncan, B.C., Hinopoulos, G., Robb, K.O. and Arranz, E., 2000. Rate and Temperature Dependet Mechanical Properties of a Flexible Adhesive, NPL Report CMMT (A) 262, UK.
- [77] Dean, G.D. and Duncan, B.C., 1995. Tensile behavior of bulk specimens of adhesives. NPLReport DMM (B), UK.
- [78] Lilleheden, L., 1994. Mechanical Properties of Adhesives in Situ and in Bulk, *Int. J. Adhesion and Adhesives*, **14**(1), pp. 31-37.
- [79] <http://www.figes.com.tr/ansys/ansys-nedir.php>
- [80] Turgut, A. and Sancaktar, E., (1992). Viscoelastic and Processing Effects on The Fiber Matrix interphase Strength, *Journal of Adhesion*, **38**, pp. 111-129.
- [81] Turgut, A., Gür, M. ve Arslan, N., (1995). Birleştirmelerde Kullanılan Yapıştırıcı Malzemelerin Polimerleştirme Sıcaklığının ve Süresinin Çekme Mukavemeti ve Elastisite Modülüne Etkilerinin Araştırılması, Uluslararası Havacılık ve İleri Teknolojiler Sempozyumu, İ.T.Ü., İstanbul.
- [82] Solmaz M.Y., Turgut A., (2009). Yapıştırıcı ile Birleştirilmiş Basit Bindirme Bağlantılarında Serbest Uç Açısı ve Bindirme Mesafesinin Bağlantı Mukavemeti Üzerine Etkisinin Deneysel Olarak Araştırılması. *Fırat Üniv. Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **21**(2), s. 173-182.
- [83] Turgut, A. and Sancaktar, E., The Effects of Cure Temperature- Time and Curing Agent Content on The Fiber Matrix Interfacial Strength. **MAE-219**, Clarkson University, New York, U.S.A.

ÖZGEÇMİŞ

Sinan AYDIN 1975 yılında Sivas'ta doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Sivas' ta tamamladı. 1993 yılında Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümüne girdi ve 1997 yılında mezun oldu. 1998 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Kangal Meslek Yüksekokulunda Öğretim Görevlisi olarak göreve başladı ve aynı yıl Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek lisans eğitimine başladı. 2001 yılında yüksek lisans eğitimini tamamladı. 2003 yılında askerlik görevini 1010. Ana tamir fabrikası (Arifiye/Sakarya) Ar-ge bölümünde yedek subay olarak tamamladı. 2008 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim dalında doktora öğrenimine başladı. Halen Cumhuriyet Üniversitesi Kangal Meslek Yüksekokulunda Makina ve Metal Teknolojileri Bölümü Başkanı olarak görevini sürdürmektedir. Evli ve iki çocuk babasıdır.