

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

**KOMPOZİT YAMAYLA TAKVİYE EDİLMİŞ ÇEKMEYE MARUZ VE
İÇİNDE DEĞİŞKEN MERKEZLİ DAİRESEL DELİK BULUNAN
PLAKANIN GERİLME ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YASEMİN TAŞ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**TEZ DANIŞMANI
Prof. Dr. AYDIN TURGUT**

BİNGÖL-2020

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

**KOMPOZİT YAMAYLA TAKVİYE EDİLMİŞ ÇEKMEYE MARUZ VE
İÇİNDE DEĞİŞKEN MERKEZLİ DAİRESEL DELİK BULUNAN
PLAKANIN GERİLME ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YASEMİN TAŞ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**TEZ DANIŞMANI
Prof. Dr. AYDIN TURGUT**

BİNGÖL-2020

ÖNSÖZ

Tez çalışmaları sürecinde gerekli destek ve katkılarından dolayı danışman hocam Prof. Dr. Aydın TURGUT'a teşekkür ederim.

Sayısal analiz kısmında hiçbir emeğini esirgemeyen, yaptıkları yönlendirmeler ve katkılarından dolayı Fırat Üniversitesi Makine Mühendisliğindeki değerli hocalarım Prof. Dr. Mete Onur KAMAN'a ve Arş. Gör. Serkan ERDEM'e, teşekkür ederim.

Tez çalışma sürecimde yanımda olan değerli aileme tezin hazırlanması sırasında verdikleri maddi manevi destekten dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Yasemin TAŞ
Bingöl 2020

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xi
ABSTRACT.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	2
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	5
3.1. Kompozit Malzemeler.....	5
3.2. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları.....	7
3.3. Matris Malzemeye Göre Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	8
3.3.1. Polimer Matrisli Kompozit Malzemeler.....	8
3.3.2. Seramik Matrisli Kompozit Malzemeler.....	9
3.3.3. Metal Matrisli Kompozit Malzemeler.....	9
3.4. Takviye Ediciye Göre Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	9
3.4.1. Elyaf Takviyeli Kompozitler.....	9
3.4.2. Tabakalı Kompozitler.....	10
3.4.3. Partikül Takviyeli Kompozit.....	10
3.4.4. Hibrid (Karma) Kompozitler.....	10
3.5. Alüminyum ve Kullanım Alanları.....	10
3.5.1. Alüminyumların Kullanım Alanları.....	11
3.6. Yapıştırarak Birleştirme.....	12

3.7. Yapışma işlemi.....	12
3.7.1. Adhezyon.....	12
3.7.2. Kohezyon	13
3.8. Çözülemeyen Bağlama Elemanları.....	14
3.8.1. Yapıştırma Bağlantıları	14
3.8.1.1. Yapıştırma Bağlantılarının Avantajları.....	17
3.8.1.2. Yapıştırma Bağlantılarının Dezavantajları.....	17
3.8.2. Lehim Bağlantıları	17
3.8.3. Kaynak Bağlantıları	18
3.8.4. Perçin Bağlantıları	18
3.9. Sonlu Elemanlar Metodu.....	18
3.10. Sonlu Elemanlar Metodunun Avantajları ve Dezavantajları.....	19
3.11. ANSYS.....	20
3.12. Maksimum Biçim Değişirme Enerjisi (Von Mises).....	20
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	21
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	28
KAYNAKLAR.....	47
ÖZGEÇMİŞ.....	50

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

D	:Alüminyum levhada bulunan delik çapı, mm
E_x	:X yönündeki elastisite modülü
E_y	:Y yönündeki elastisite modülü
E_z	:Z yönündeki elastisite modülü
G_{xy}	:XY düzlemindeki kayma modülü
G_{xz}	:XZ düzlemindeki kayma modülü
G_{yz}	:YZ düzlemindeki kayma modülü
ν_{xy}	:XY düzlemindeki poisson oranı
ν_{xz}	:XZ düzlemindeki poisson oranı
ν_{yz}	:YZ düzlemindeki poisson oranı
W	:Yama genişliği
H	:Yama yüksekliği
L	:AB-CD hattı boyunca 1 birimlik mesafe
σ_x	:X eksenindeki gerilmeler
σ_y	:Y eksenindeki gerilmeler
σ_z	:Z eksenindeki gerilmeler
τ_{xz}	:XZ düzlemindeki kayma gerilmeleri
σ_{eş}	:Eş değer gerilmeler
d	:Kalınlık
t	:Yapıştırıcı kalınlığı
Al	:Alüminyum
Zn	:Çinko
Ni	:Nikel
Ti	:Titanyum

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1.	Kompozit Malzemelerdeki Matris ve Takviye Fazının Gösterimi	6
Şekil 3.2.	Teorik Yapıştırma Sisteminde Oluşan Tabakaların Şematik Görünüşü (Dorn,1993)	13
Şekil 3.3.	Adhezyon ve Kohezyon Olayları (Solmaz, 2008)	13
Şekil 3.4.	Yapıştırma Bağlantılarında Oluşan Hasar Modeli a)Adhezyon Hasarı b)Kohezyon Hasarı c)Yapıştırılan Malzemenin Kohezyon Hasarı	14
Şekil 3.5.	Yapıştırma Bağlantı Şekli	14
Şekil 3.6.	Bazı Yapıştırma Bağlantı Tipleri (Adams,1984)	15
Şekil 3.7.	En Yaygın Yük Tipleri ve Bindirme Bölgesindeki Gerilme Dağılımları (Solmaz, 2008)	16
Şekil 4.1.	a) Al T3-2024 Gerilme-Şekil Değiştirme Davranışı (Aydın, 2003) b) DP-460 Gerilme-Şekil Değiştirme Davranışı (Akpınar, 2012)	22
Şekil 4.2.	Çekme Yüküne Maruz Bırakılmış Sonlu Elemana Bölünmüş ve Sınır Şartları Uygulanmış Model (a)Yamalı, b. Yamasız)	23
Şekil 4.3.	Deney Numunelerinde Kullanılan Levhaların Boyutu ve Daire Merkezlerinin Konumları (a-b-c)	24
Şekil 4.4.	Deney Numunelerinde Kullanılan Yamaların Boyutları	24
Şekil 4.5.	Çift Yüzünden Yamaların(40x40x50x60mm) Uygulanmış Numunelerin Gösterimi (a-b-c)	25
Şekil 4.6.	Yamanmış Numunelerin Genel Görünümü	26
Şekil 4.7.	Sonlu Elemanlar Analizi İçin Kullanılan Eleman Tipi (Solid 186)	26
Şekil 4.8.	D=5 mm Çap Değerlerine Sahip Yamasız ve 40 mm Yama Uzunluğuna Sahip Yamalı Numunelerin Von-Mises Gerilme Dağılımı (a. Yamasız, b. Yamalı)	26

Şekil 4.9.	Merkezden Uzaklığı 8 mm, Daire Çapı 7 mm, Kalınlığı 2 mm, Yapıştırıcı Kalınlığı 0.2 mm, Yama Kalınlığı 1.5 mm Olan Numunenin Dügüm Sayısıyla Numunede Meydana Gelen Reaksiyon Kuvvetinin Değişimi	27
Şekil 5.1.	Yapıştırıcı Kalınlığı 0.2 mm, Al Levha Kalınlığı 2 mm Delik Çapı 5 mm Yama Boyutları 40 mmx40mm Olan ve Farklı Yama Kalınlığındaki Numunelerin Reaksiyon Kuvvet Grafiğı	28
Şekil 5.2.	Alüminyum Levha Kalınlığı 1.5 mm, Delik Çapı 5mm Olan Yamalı ve Yamasız Numunelerin Reaksiyon Kuvvet Grafiğı	28
Şekil 5.3.	Daire Çapı 5 mm Olan Yamasız ve Farklı Alüminyum Levha Kalınlığındaki Numunelerin Reaksiyon Kuvvet Grafiğı	29
Şekil 5.4.	Alüminyum Levha Kalınlığı 2 mm, Yamasız ve Farklı Daire Çaplarındaki Numunelerin Reaksiyon Kuvvet Grafiğı	29
Şekil 5.5.	Levha Kalınlığı=1.5 mm, Yapıştırıcı Kalınlığı=0.2 mm, Daire Çapı=5mm ve Farklı Yama Boyutlarındaki Numunelerin Reaksiyon Kuvvet Grafiğı	29
Şekil 5.6.	Yapıştırıcı Kalınlığı 0.2 mm, Al Levha Kalınlığı 1.5 mm, Delik Çapı 5 mm, Yama Boyutları 40mmx40mm Olan ve Delik Çaplarının Konumu Değişen Numunelerin Reaksiyon Kuvvet Grafiğı	30
Şekil 5.7.	Al Levha Kalınlığı 1.5 mm, Delik Çapı 5 mm ve Farklı Yapıştırıcı Kalınlığındaki Numunelerin Reaksiyon Kuvvet Grafiğı	30
Şekil 5.8.	Nümerik Analizde İncelenen Yörüngeler	30
Şekil 5.9.	Çift Tarafı Yamalı, Dairesel Delikli WxH=40x40 mm Boyutlarında ve Farklı Daire Çap Değerindeki Numunelerin AB Yörüngesinde Meydana Gelen Von-Mises ve Gerilme Dağılım Grafikleri.....	31
Şekil 5.10.	Çift Tarafı Yamalı, Daire Çapı 5 mm, WxH=40x40 mm Boyutlarında ve Farklı Al Levha Kalınlığındaki Numunelerin AB Yörüngesinde Meydana Gelen Von-Mises ve Gerilme Dağılım Grafikleri	32

Şekil 5.11.	Çift Tarafı Yamalı, Daire Çapı 5 mm, WxH=40x40 mm Boyutlarında ve Farklı Delik Merkezlerindeki Numunelerin AB Yörüngesinde Meydana Gelen Von-Mises ve Gerilme Dağılım Grafikleri	33
Şekil 5.12.	Çift Tarafı Yamalı, Daire Çapı 5 mm, WxH=40x40 mm Boyutlarında ve Farklı Yapıştırıcı Kalınlığındaki Numunelerin AB Yörüngesinde Meydana Gelen Von-Mises ve Gerilme Dağılım Grafikleri	34
Şekil 5.13.	Çift Tarafı Yamalı, Daire Çapı 5 mm ve wxH Yama Boyutları Değişen Numunelerin AB Yörüngesinde Meydana Gelen Von-Mises ve Gerilme Dağılım Grafikleri	35
Şekil 5.14.	Çift Tarafı Yamalı, Daire Çapı 5 mm, WxH=40x40 mm Boyutlarında ve Farklı Yama Kalınlığındaki Numunelerin AB Yörüngesinde Meydana Gelen Von-Mises ve Gerilme Dağılım Grafikleri	36
Şekil 5.15.	Çift Tarafı Yamalı, Daire Çapı 5 mm, WxH=40x40 mm Boyutlarında ve Farklı Al Levha Kalınlığındaki Numunelerin CD Yörüngesinde Meydana Gelen Von-Mises ve Gerilme Dağılım Grafikleri	37
Şekil 5.16.	Çift Tarafı Yamalı, Daire Çapı 5 mm, WxH=40x40 mm Boyutlarında ve Farklı Yama Kalınlığındaki Numunelerin CD Yörüngesinde Meydana Gelen Von-Mises ve Gerilme Dağılım Grafikleri	38
Şekil 5.17.	Çift Tarafı Yamalı, Daire Çapı 5 mm, WxH=40x40 mm Boyutlarında ve Farklı Yapıştırıcı Kalınlığındaki Numunelerin CD Yörüngesinde Meydana Gelen Von-Mises ve Gerilme Dağılım Grafikleri	39
Şekil 5.18.	Çift Tarafı Yamalı, Dairesel Delikli WxH=40x40 mm Boyutlarında ve Farklı Daire Çap Değerindeki Numunelerin CD Yörüngesinde Meydana Gelen Von-Mises ve Gerilme Dağılım Grafikleri.....	40
Şekil 5.19.	Çift Tarafı Yamalı, Daire Çapı 5 mm ve wxH Yama Boyutları Değişen Numunelerin CD Yörüngesinde Meydana Gelen Von-Mises ve Gerilme Dağılım Grafikleri	41
Şekil 5.20.	Çift Tarafı Yamalı, Daire Çapı 5 mm, WxH=40x40 mm Boyutlarında ve Farklı Delik Merkezlerindeki Numunelerin CD Yörüngesinde Meydana Gelen Von-Mises Ve Gerilme Dağılım Grafikleri	42

Şekil 5.21. Yamasız, Daire Çapı 5 mm ve Farklı Al Levha Kalınlığındaki Numunelerin AB Yörüngesinde Meydana Gelen Von-Mises ve Gerilme Dağılım Grafikleri.....	43
Şekil 5.22. Yamasız, Al Levha Kalınlığı 2 mm ve Farklı Daire Çapındaki Numunelerin AB Yörüngesinde Meydana Gelen Von-Mises ve Gerilme Dağılım Grafikleri.....	44
Şekil 5.23. Yamasız, Al Levha Kalınlığı 2 mm Olan ve Farklı Delik Merkezlerindeki Konumuna Göre Numunelerin AB Yörüngesinde Meydana Gelen Von-Mises ve Gerilme Dağılım Grafikleri	45



TABLULAR LİSTESİ

Tablo 4.1.	Alüminyum Malzeme Özellikleri.....	21
Tablo 4.2.	Yapıştırıcı ve Yama Malzeme Özellikleri.....	21
Tablo 4.3.	Sayısal Analiz Numune Boyutları.....	23

KOMPOZİT YAMAYLA TAKVİYE EDİLMİŞ ÇEKMEYE MARUZ VE İÇİNDE DEĞİŞKEN MERKEZLİ DAİRESEL DELİK BULUNAN PLAKANIN GERİLME ANALİZİ

ÖZET

Bu çalışmada; kompozit yamayla takviye edilmiş çekmeye maruz ve içinde değişken merkezli dairesel delik bulunan plakanın gerilme analizi sayısal olarak incelenmiştir. Alüminyum plaka malzemesi Al-T3-2024'dür. Cam elyaf takviyeli kompozit malzeme bindirme bağlantısında kullanılmıştır. Yapıştırıcı DP460 bağlantı malzemesi olarak kullanılmıştır. Sonlu elemanlar analiz programı olan ANSYS 14.5 yardımıyla sayısal analizler gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada; yama kalınlığı, yapıştırıcı kalınlığı, alüminyum levha kalınlığı, yama boyu, delik çapı, delik merkezinin konumunun değişimlerinin çekmeye etkisi araştırılmıştır. Her numune için reaksiyon kuvvetleri bulunmuştur. σ_x , σ_z , τ_{xz} gerilme dağılımları incelenmiş ve grafiklerle gösterilmiştir. Yama uzunluğu artıkça yapışma yüzeyi arttığı için numunelerin mukavemeti artmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bindirme bağlantıları, gerilme dağılımları, kompozit, sonlu elemanlar yöntemi, yapıştırıcılar.

TENSION ANALYSIS OF THE PLATE WITH COMPOSITE PATCH, WITHOUT REINFORCED PULLING AND A VARIOUS CENTER CIRCULAR HOLE

ABSTRACT

In this study; The stress analysis of the plate, which is exposed to tensile reinforced with composite patches and which has a circular hole with a variable center, is numerically examined. Aluminum plate material is Al-T3-2024. Glass fiber reinforced composite material was used as thrust connection. It was created using DP460 adhesive material as bonding material. ANSYS 14.5, a finite element analysis program, was used for numerical analysis. In this analysis, the effects of patch thickness, adhesive thickness, aluminum plate thickness, patch length, hole diameter, location of the hole center on the shrinkage were investigated. Reaction forces were found for each sample. Stress distributions of σ_x , σ_z , τ_{xz} are examined and shown in graphics. As the patch length increases, the strength of the samples increases as the adhesion surface increases.

Keywords: Overlay connections, stress distributions, composite, finite element method, adhesives.

1. GİRİŞ

Yapıştırıcılı bağlantıların kullanım alanı gelişen teknolojiyle birlikte geleneksel yöntemlerden olan perçin, kaynak, lehim gibi bağlantılara göre artmıştır. Geleneksel bağlantılara göre yapıştırıcılı bağlantıların üstün özelliklere sahip olduğu yapılan birçok deneysel, sayısal, sonlu elemanlar metoduyla yapılan araştırmalarla kanıtlanmıştır. (Solmaz, 2018)

Kaynak, lehim, perçin gibi çözülemeyen bağlantı yöntemlerine göre gerilme dağılımları daha düzgündür. Yapıştırıcılı bağlantılar çözülemeyen bağlantı elemanlarının taşıyabildikleri yükleri ve daha fazlasını taşıyabilmektedirler ayrıca maliyet olarak daha uygundur. Geleneksel bağlantı yöntemlerine göre yapıştırıcılı bağlantılar yapıştırıcı bölgesinde yük transferini muazzam sağlar, yapıştırıcı tabaka boyunca gerilmenin düzenli dağılımını sağlar, kolay montaj, dizayn kolaylığı, zaman ve maliyetin azaltılması ve farklı malzemeleri (metal, kompozit vb.) birleştirilmesine olanak tanır. Endüstriyel birçok alanda özellikle havacılık, uzay, otomotivde ve birçok sanayi dalında darbeye maruz kalarak hasar almış parçaların onarımında ve birleştirilmesi gereken parçaların montajında kullanım alanı bulmaktadır.

Birleştirilecek malzemelerin yüzeylerinin yapıştırıcıya tamamen temas etmesi için yapıştırıcının sıvı formda olması gerekmektedir. Yapıştırılacak olan yüzeylerin her yerine yapıştırıcının temas etmesi işleme ıslatma denilmektedir. Güçlü yapıştırma bağlantısının sağlanmasındaki en önemli unsur ıslatma işlemidir. Yapıştırılan yüzey iyice ıslatıldıktan sonra katılaşmaya başlar. Sıvı halden katı hale gelen yapıştırıcıdan çözücünün uzaklaşması, yapıştırıcının soğuması işlemleri gerçekleşerek birleştirme işlemleri tamamlanır. (Bowditch, 1986)

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Yapılan kaynak araştırmasında bu konuyla ilgili yapılan çalışmalar tespit edilmiş ve aşağıda özetlenmiştir.

Wooley ve Carver (1971); sonlu elemanlar yöntemini yapıştırıcıyla birleştirilmiş bağlantılarının analizinde kullanan ilk kişilerdir.

Jeandrau (1991); yapmış olduğu çalışmada değişik yapıştırma bağlantılarının burulma ve çekmeye maruz bırakılarak elastik, plastik, elastoplastik gerilme analizlerini sonlu elemanlar metoduyla araştırmıştır.

Arslan ve arkadaşı (1996); üzerinde U çentikler bulunan aksenal tekil yüklü düzlem izotropik levhaların gerilme analizi sonlu elemanlar yöntemiyle araştırılmıştır.

Singh et al. (1999); sonlu elemanlar analiz metoduyla yapıştırıcı tabakasında meydana gelen elastoviskoplastik olayı göz önünde bulundurarak yapıştırma bağlantısının gerilme analizini araştırmışlardır.

Tanaka et al. (2000); yapmış oldukları çalışmada yapıştırıcı yardımı ile bir tarafı yamayla takviye edilmiş ve çekmeye tabi tutulan bağlantının analizi incelenmiştir.

Sayman ve arkadaşı (2001); yaptığı çalışmada merkezinde delik içeren, metal matris türüne göre metal matrisli kompozit plakanın elastoplastik gerilmesini araştırmıştır.

Higuchi et al. (2003); yaptıkları çalışmada epoksi yapıştırıcı vasıtasıyla T biçimindeki alüminyum parça alın kısmından yapıştırılarak gerilme dağılımları deneysel ve sayısal olarak incelenmiş ve sonuç olarak; yapıştırıcı kalınlığının artmasıyla gerilme değerleri azalmıştır. Ayrıca malzemenin young modülünün azalmasıyla ara yüzeyde meydana gelen maksimum gerilmenin azaldığı görülmüştür.

Crocombe et al. (2004); iki tarafı yapıştırıcı yardımı ile yamayla takviye edilmiş kompozitlerin değişik yüklere göre yorulma ömürleri araştırılmış ve çatlakların oluştuğu yerlerde mühim araştırmalar yapmışlardır. Önerilen yöntemle yorulma ömürleri hakkında önemli artışlar olduğunu saptamışlardır. Özenç (2007); bu çalışmada yapıştırma bağlantılarının darbe yükleri altındaki davranışlarının incelenmiştir. Tek taraflı bindirme bağlantılarının; yapıştırıcı kalınlıkları değiştirilerek, bakır, çelik gibi metallerin darbe dirençlerinin belirlenen parametrelere göre nasıl değiştiği gözlenmiştir. Yapılan deney sonucunda darbe direncini her bir parametrenin etkilediği gözlenmiştir. Ayrıca alüminyum esaslı malzemenin çelik ve bakır malzemeye göre daha düşük darbe mukavemeti gösterdiği deney sonucunda görülmüştür.

Karakaya vd. (2008); yapılan çalışmada Abaqus 6.7 sonlu elemanlar analiz programında epoksi cinsi yapıştırıcı kullanılarak yapıştırılmış kompozitin eğilme davranışı deneysel incelemiştir.

Choi et al. (2008); iki farklı malzemenin yapıştırılmasıyla elde edilen yapıştırma bağlantısında bindirme mesafenin ne kadar etkili olduğu deneysel incelenmiştir.

Turgut vd. (2009); sonlu elemanlar analiz programı ANSYS 10.0 yardımıyla farklı yapıştırıcılar kullanılarak çelik sacların Z biçimine getirilerek gerilme analizi incelenmiştir. Analiz sonuçlarının yanında deneysel sonuçlarda elde edilerek analiz ve deney sonuçları grafiklerle mukayese edilmiştir ve sonuçların birbirini desteklediği görülmüştür.

Kaman vd. (2010); sonlu elemanlar analiz programı ANSYS 11.0 yardımıyla, bir tarafı yamayla takviye edilmiş yapıştırıcı yardımıyla yapıştırılmış iki kompozitin hasar analizini deneysel ve nümerik yöntemle incelenmiştir

Kumar et al. (2010); yapılan bu çalışmada çekmeye tabi tutulan tek taraflı yamayla takviye edilmiş iki farklı yapıştırıcıyla yapıştırılan bağlantının gerilme analizi sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmiştir.

Razmi (2011); yapıştırıcı ile yapıştırılan kompozit malzemelerin aynı sınır şartları ve kuvvet karşısında bağlantı bölgelerinde oluşan gerilme değerleri ANSYS programıyla incelenmiştir ve mukayese sonuçlarına göre en uygun bağlantı şekli saptanmıştır.

Şahin (2011); Devcon marka yapıştırıcıyla yapıştırılmış kompozit köpüklerin tek taraflı bindirme bağlantısı araştırılmıştır.

Kaman ve arkadaşı (2013); sonlu elemanlar analiz programı ANSYS 12.1 yardımıyla yapılan çalışmada çatlak içeren Al T3-2024 levha yapıştırıcı yardımıyla tek tarafı kompozit yamayla onarılarak yorulma davranışı araştırılmıştır.

Sülü (2018); sonlu elemanlar analiz programı ANSYS yardımıyla yapılan çalışmada çekmeye maruz DP410 yapıştırıcısı vasıtasıyla gömülü bir tarafı yamayla takviye edilmiş kompozit malzemenin gerilme analizi araştırılmıştır.

Yapılan bu çalışmada kompozit yamayla takviye edilmiş çekmeye maruz ve içinde değişken merkezli dairesel delik bulunan plakanın gerilme analizi incelenmiştir. ANSYS 14.5 sonlu elemanlar analiz programı yardımıyla belirlenen çizim gerçekleştirilmiştir ve gerekli parametreler (alüminyum plaka malzemesi Al-T3-2024, bindirme bağlantısı olarak cam elyaf takviyeli kompozit malzeme, bağlantı malzemesi olarak DP-460 yapıştırıcı malzemesinin özellikleri) programa atanarak çizimi gerçekleştirilip analizi yapılmıştır. Bu analizde yama kalınlığı, yapıştırıcı kalınlığı, alüminyum levha kalınlığı, yama boyu, delik çapı, delik merkezinin konumunun değişimlerinin çekmeye etkisi incelenmiştir. Her numune için reaksiyon kuvvetleri bulunmuştur. Gerekli grafikler elde edilip sonuçlar grafiklere göre yorumlanmıştır ve araştırma tamamlanmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Kompozit Malzemeler

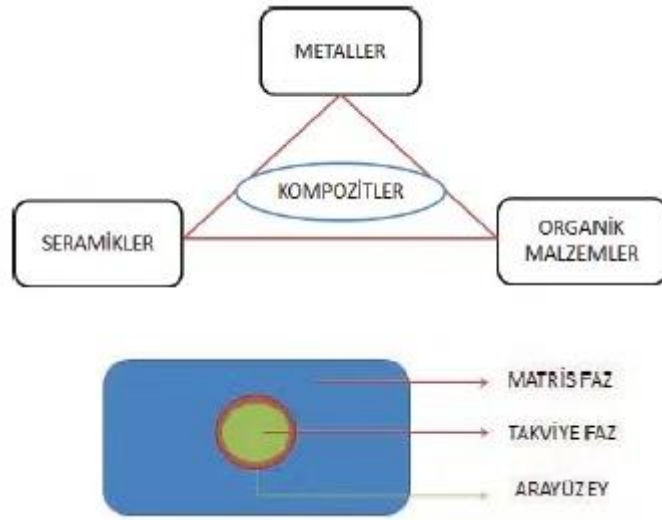
Yapıldığı malzemeye göre üstün özelliklere sahip olan iki veya daha fazla malzemenin mikroskobik veya makroskobik seviyede birleşmesiyle oluşan malzemeye kompozit malzeme denir. Kompozit malzemedeki amaç; birbirini tamamlamak diğerinin zayıf yönünün kapatmaktır. Kompozit malzemede şunlara dikkat edilir.

1. Natürel bir malzeme olmalıdır.
2. Birbirleri içinde çözünmeyecek ve atom alışverişi yapmayacak malzeme olmalıdırlar
3. Birbirlerini tamamlayarak üstün özellikli yeni malzeme oluştururlar.

Kompozit malzemeye mikroskobik açıdan bakıldığında heterojen, makroskobik açıdan bakıldığında homojen bir malzeme gibi davranmak zorundadır.

Kompozit malzeme kavramı yeni bir kavram gibi dursa da ilk kullanım yılları eskilere dayanmaktadır. Mühendislik konusu olarak kendinden bahsettirmesi 1940'lı yılların başlarını almaktadır. En eski kullanım yeri olarak M.Ö. 1600'lü yıllarda Mısır'da farklı renklerde ve boyutlardaki ince cam lifleri olan amforaların kullanıldığı yapılan kazılarda ortaya çıkmıştır. Kompozitlerin kullanımına başka örnekler verecek olursak; Japon samurayların lamine çelikler kullanarak kılıç yapması, Moğollar tarafından üretimi bir yıl süren hayvanların kemikleri ve toynaklarıyla ağaçlardan elde edilen parçaların birleştirilmesiyle kompozit yayların yapılması, 1946 senesinde kompozitten bot yapılması, Anadolu insanının geçmişten beri yaptığı kerpiç malzeme örnek olarak verilmektedir.

Kompozit malzemeler matris ve takviye elemanından oluşmaktadır. Kompozitler matrislere göre seramik, polimer, metal kompozit olmak üzere üç kısma ayrılır.



Şekil 3.1. Kompozit malzemelerdeki matris ve takviye fazının gösterimi (url)

Matris fazı; takviye fazına ara yüzey sayesinde uygulanan herhangi bir kuvveti gönderir ve dağılımını sağlar. Bunun sayesinde takviye elemanının zarara uğraması engellenir. Matris malzemelerinin mekanik özellikleri ne kadar iyiyse yükü taşıyan takviye elemanları görevlerini o kadar yerine getirebilir. Takviye fazı, malzemenin elastikiyetini etkileyen önemli kısımdır. Üretim sırasında matris fazın tane büyüklüğüne göre iletilen yükleri dağıtır. Ara yüzey bağı ise, matris yapı ile takviye elemanı arasında bağlayıcılık görevi yapar. Kırılgan özellik gösterir. Buna rağmen matris faza gelen herhangi bir kuvveti kırılmaya uğramadan takviye fazına gönderir. Kompozit malzemenin dayanıklı olması isteniyorsa ara yüzey bağının istenilen şekilde olması gerekir.

Kompozit malzemelerde üstünlük sağlaması istenen bazı özellikler şunlardır;

- Mukavemet,
- Korozyon dayanımı,
- Isıya dayanım,
- Elektrik iletkenliği,
- Ağırlık,
- Estetik görünüm,
- Fiyat vb.dir.

Kompozit malzemede eğilme ve çekme mukavemetleri çoğu metalik malzemeden daha iyidir. Malzemelerden tasarruf sağlanarak hem hafif hem yüksek mukavemetli mekanik özellikleri çok iyi olan kompozit malzeme üretimi sağlanabilir. Kompozit malzemelerde büyük ve karmaşık parçalar bir parça halinde kalıplanabilir. Eğer istenirse kalıplama esnasında kalıcı renklendirme ekstra masraf ve işçilik istemeden reçineye istenilen pigmentler ilave edilerek elde edilebilir. Kompozit malzemeler sünek malzeme oldukları için şekil verilmesi kolaydır. Sünek olmalarının bir avantajı da titreşim tutabilme ve şok yutabilirler. Yüksek ısı gerektiren yerlerde ısı iletim katsayısı düşük olan kompozitler tercih edilir. Özel katkı maddeleri kullanılarak ısıya olan dayanımları istenirse artırılıp azaltılabilir. Kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin farklı hale getirilmesinde kompozit malzemelerin içine halat, ahşap, tel demir gibi malzemeler gömülerek yerleştirilmesi sağlanır.

Kompozit malzemelerin üretim maliyetleri çok yüksektir ve üretimi de kolay değildir. Kompozit malzemelerin sıcaklık dirençleri ve kimyasal dirençleri matris malzemeye bağlıdır. Matris malzeme grupları da genelde polimer matrisli malzemelerdir. Kompozit malzemelerin boyutsal istikrarının farklılık göstermesinde nem emmeleri yatar. Çekme, basma, eğilme, kesme mukavemetleri aynı malzeme için farklılık gösterir ki bu da içyapılarındaki farklı bileşenlerden kaynaklanmaktadır. Kompozit malzemeler geri dönüşümü olmayan malzemelerdir.

3.2. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları

- Denizcilik sektöründe; deniz motosikletleri, kanolar, sörf tahtası yapımında kullanılır.
- Tıp alanında; tıbbi cihazların imalatı, tekerlekli sandalyeler, tıbbi tetkik cihazları dış muhafazalarında kullanılır.
- Robot teknolojisinde kullanılır.
- Kimya sanayisinde; borular ve bağlantı parçaları, asit tankları ve kaplamaları, arıtma ekipmanları, endüstriyel platform ve korkuluklar, havalandırma kanallarında kullanılır.
- Elektrik-Elektronik teknolojisinde; elektrik ve aydınlatma direkleri, antenler, sigorta- panel kutuları, aydınlatma gövdelerinde kullanılır.

- Müzik aletlerinde; keman, gitar, akustik gitar, çelloda kullanılır.
- İnşaat sektöründe; taşıyıcı profiller, beton kalıpları, iç ve dış cephe kaplamaları, prefabrik binalar, köprülerde kullanılır.
- Otomotiv sektöründe; fitre kutularında, pedallarda, cam sileceklerinde,, dikiz aynalarında, hava giriş manifoldlarında, otomobil kaporta, kamyon ve otobüs yan panelleri, konteyner imalatı, karayolu işaret levhalarında kullanılır.
- Savunma sanayi ve havacılık sektöründe; helikopter gövde ve parçalarında, uçak gövde parçalarında, uçağın burun ve kanat parçalarında, havan toplarının gövdeleri ve sandıklarında, kurşungeçirmez panellerin imalatında, mayınlarda kullanılır.
- Tarım ve gıda sektöründe; gıda depolama tanklarında, kültür balıkçılığının ekipmanlarında, silolarda, tahıl depolarında, seralarda kullanılır.
- Spor malzemeleri imalatında; tenis racketlerinde, yüksek atlama sırtıklarında, sörf, yarış tekneleri gibi birçok alanda yararlanılmaktadır.

3.3. Matris Malzemeye Göre Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

3.3.1. Polimer Matrisli Kompozit Malzemeler

En yaygın kullanıma sahip olan malzeme gruplarıdır. Genellikle petrokimya esaslıdır. Korozyona karşı dirençli, uzun süreli kullanım için uygun, işlenme açısından şekillendirilmeleri kolay olan malzeme grubudur. Polimer matrisli kompozitler, termoset ve termoplastikler olarak iki gruba ayrılırlar.

Termoset matrisler; düşük viskozitede olmalarından dolayı lif takviyeli kompozit yapımında tercih edilir. Sıvı halde bulunurlar. Kullanılırken katılaştırıcı katılarak jel haline getirilip katılaştırılarak kullanılırlar. Yüksek sıcaklıklarda katı hallerinde yumuşama olmaz. İzotropiktirler. Termoplastikler gibi geri dönüştürülemezler.

Termoplastik matrisli kompozitlerse genelde sünek ve ısıyla eritilebilen, soğutma ile katılaştırılabilen malzemelerdir ve bu özelliğin avantajı olarak tekrar şekillendirilebilirler. Termoplastikler daha avantajlı malzeme gruplarıdır. Bu avantajlar; geri dönüşümü olması, raf ömrünün fazla olması, ısıyla eritilip, soğutmayla katılaşması herhangi bir maddeyle eritilip katılaştırılmaması, sünek malzeme olması başlıca avantajlarıdır. Bu kadar avantajlı

malzeme olmasına karşın çok tercih edilememesinin nedeni; yüksek maliyeti ve üretiminin kolay olmaması ve hammaddesinin ucuz olmamasıdır.

3.3.2. Seramik Matrisli Kompozit Malzemeler

Yüksek elastisite modülüne sahip, yüksek sıcaklıklara dayanımı oldukça iyi olan bunun yanında hafif olan malzeme grubudur. Yüksek sıcaklıklarda çalışması zorunlu olan parçalar için muazzam bir tercihtir. Bu malzeme gruplarının liflerle takviye edilmesinin nedeni; sert ve kırılğan olmalarının getirisi olan düşük süneklik ve tokluktur.

3.3.3. Metal Matrisli Kompozit Malzemeler

Metal matrisli kompozitlerin ana malzemesi olarak genellikle; çinko (Zn), magnezyum (Mg), alüminyum (Al), titanyum (Ti), bakır (Cu), nikel (Ni) gibi metal ve metal alaşımları matris malzemesi olarak tercih edilir. Metal matrisli kompozitlerde; takviye malzemesi olarak genellikle sürekli fiberler, partiküller ve viskerler kullanılmaktadır.

3.4. Takviye Ediciye Göre Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

3.4.1. Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemeler

Matris yapıda ince elyafların bulunmasıyla oluşan malzeme grubudur. Kompozit malzemenin mukavemetini matris içindeki elyafların konumu, elyafların hatasız olması ve elyafla matris arasındaki bağın yapısı etkilemektedir. Bağ yapısı ne kadar iyiye boşluklar azalır ve elyaflara temas artar, yükün düzgün yayılımını sağlar. Matris içindeki elyaflar birbirlerine göre paralel gelecek şekilde dizilirse mukavemetleri yüksek olacaktır, elyaflara göre dik olacak şekilde dizilirse de mukavemetleri düşük olacaktır. Kompozit yapının mukavemeti elyafların mukavemetine bağlıdır. Matrislerden elyaflara iletilen yük miktarları elyafların boyuna göre artıp azalmaktadır.

3.4.2. Tabakalı Kompozitler

Bilinen en eski ve en çok kullanılan kompozit tipidir. Çok kullanılmasının ana sebebinde etkisi altında kalacağı yüklenme koşullarına göre tasarlanma imkânı sunmasından ve malzeme yönünün tercih edilen doğrultuda tanımlanmasından kaynaklanmaktadır. Tercih edilmesinin bir diğer nedenleri arasında ısı ve neme karşı olan dayanımları ve metallere göre hafif ve mukavemetlerinin oldukça iyi olması yatar. Tabakalı kompozitlerde matrislerde farklı elyaf katmanlarının bir araya gelmesiyle mukavemeti yüksek malzemeler elde edilir. Uçakların kuyruk ve kanatlarının yüzey kaplama malzemesinde sıklıkla kullanılır.

3.4.3. Partikül Takviyeli Kompozit Malzemeler

Matris içinde bir ya da daha fazla malzemeden oluşan partiküllerin rastgele dizilmesiyle oluşan kompozit tipidir. İzotropik malzeme olarak adlandırılmasının sebebi; matrislerdeki partiküllerin rastgele dizilmesine rağmen homojen olmasından dolayıdır. Matris grubu olarak polimer, seramik, metal matrisli kompozit malzemeler tercih edilebilir. Mukavemetlerini parçacıkların boyutlarının aynı ya da farklı olması etkiler. Parçacık boyutları farklı olursa mukavemetleri düşer. Kaya, kum ve çimentonun karışımı olan beton partikül takviyeli kompozit malzemelere güzel bir örnektir. Betona esneklik ve mukavemet sağlamak için betona gömülü çelik çubuklar kullanılır. Roketlerin pervanelerinde partikül takviyeli kompozitler kullanılmaktadır.

3.4.4. Hibrid (Karma) Kompozit Malzemeler

İki ya da daha fazla elyaf aynı kompozit içinde bulunuyorsa bu kompozitlere hibrid kompozitler denir. Grafit ve kevlar cinsi iki elyafın aynı matriste bir araya gelmesiyle oluşan malzeme hibrid kompozittir.

3.5. Alüminyum ve Kullanım Alanları

Mühendislikte çelikten sonra en sık tercih edilen metaldir. Doğada boksit cevheri şeklinde bulunan bu element gümüş renkte, sünek oksidasyona karşı dirençli elementtir. Doğada

fazla bulunan bu elementin atom numarası on üçtür. Özellikle hafifliği sebebiyle uçak ve otomobillerde sıklıkla tercih edilirler.

Alüminyumun çok tercih edilmesinin ana sebepleri şu şekilde sıralanabilir.

- Hafif yapıdırlar.
- Hafif olmalarına rağmen alaşımlandırıldıklarında yüksek dayanım gösterirler.
- Sünek olduğu için tekrar tekrar kullanılabilirler.
- Yüksek korozyon direnci gösterirler.
- Kolayca şekillendirilebilirler.
- İşlenebilme kabiliyetleri yüksektir.
- Yüksek ısı ve elektriksel iletkenliğine sahiptirler.

3.5.1. Alüminyumların Kullanım Alanları

- Alüminyumun ulaştırma sektöründe kullanımı; otomobillerde, blok silindir ve üst kapaklarında, farlarda, karterde, egzozlarda, pistonda ve daha birçok parçada alüminyum kullanılmaktadır. Sadece otomobillerle sınırlı kalmayıp, uçaklarda, trenlerde, gemilerde tercih edilmektedir.
- Ambalaj malzemelerinde kullanımı; alüminyumun kolay şekillendirilebilmesi, hava, nem, buhar, su geçirmemesi, folyo şeklinde imal edilebilmesi bu sektörde tercih sebebidir. Çevre şartlarından etkilenmemesi sebebiyle gıda ve ilaç sektörünün vazgeçilmez ürünüdür.
- Alüminyumun içecek kutularında kullanımı; başta içecek sektörü olmak üzere birçok yiyeceklerde kullanılan metallerin büyük çoğunluğu alüminyum olmasının başlıca sebepleri; geri dönüşümü olan malzeme olması, hafif olması, açmak için zorlamaya gerek kalmaması, dayanımlı, hızlı şekilde soğutabilme gibi özelliklerinden kaynaklanmaktadır.
- Elektrik/Elektronik devrelerinde kullanımı; motor bobin sarımlarında, kablolarda kullanılmasının ana nedeni iletken metal olmasıdır. Elektronikte kullanımının başında kayıt diskleri, şaseler, transistor soğutucuları gelmektedir.
- Alüminyumun inşaat sektöründe kullanımı; binalarda çatı ve cephe kaplamalarında, merdivenlerde, inşaat iskelelerinde, kapılarda, pencerelerde kullanılır.

3.6. Yapıştırarak Birleştirme

Sürekli bir bağlantı şekli olduğundan dolayı sökülemezler. Sökülme işlemi olmadığından yapıştırma işlemini gerçekleştirmek için kullanılacak malzemeleri iyi tanımak gerekir ve düzgün bir planlamanın da yapılması gerekir. Yapıştırma teknolojisi kullanıldığından beri en uygun yapıştırma bağlantısı ve görülen eksiklikler için birçok araştırmalara başvurulmuştur.

3.7. Yapışma işlemi

Yapışma işlemi için yapıştırılacak yüzeyleri iyice temizlenmiş metal ya da metal olmayan malzemeler ve yapıştırıcı gerekmektedir. Yapıştırma bağlantıların performansı ve dayanıklılığı, bunların dışında malzeme ve yapıştırıcı özelliklerine, malzeme ve yapıştırıcı arasındaki fiziksel-kimyasal iç etkileşime, bağlantı şartlarına, bağlantı geometrisine, bağlantıdaki artık gerilmelere ve yapıştırma hattındaki kusurlara bağlıdır. İyi bir yapışma ve uygun değer bağlantı performansı verecek yapıştırıcı-malzeme kombinasyonu için yukarıdaki faktörlerin hesaba katılması gerekir.

Yapıştırılan yüzeyler sayesinde yapıştırıcılar bir arada bulunur. Yapıştırılan yüzeyler aynı malzeme olabileceği gibi farklı malzeme grubundan da olabilir. Yapıştırma olayı için gerekli koşul adhezyon ve kohezyon olayıdır.

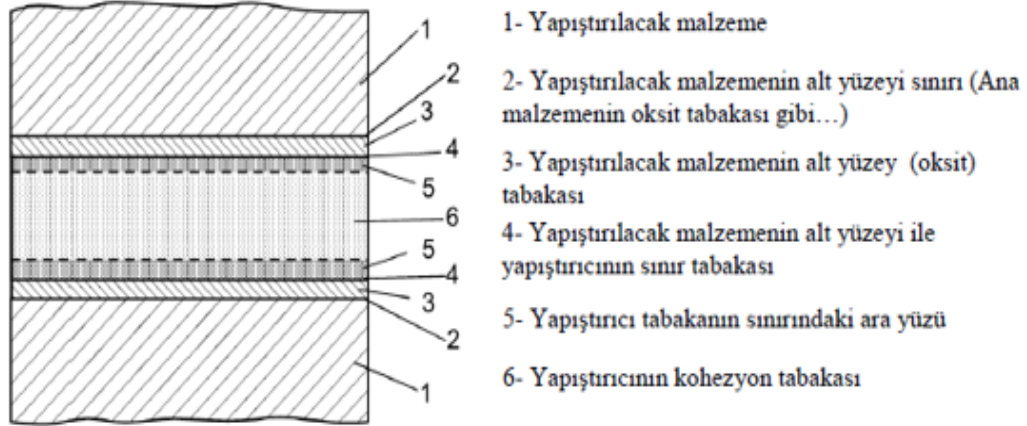
3.7.1. Adhezyon

Yapıştırılacak olan malzemelerin yüzeylerinde meydana gelen yapışma kuvvetine adhezyon denir. Yapışma olayındaki en önemli unsur Van der Waals kuvvetleridir. Yapıştırıcılar yapıştırılacak parçaların yüzeylerinde oluşan pürüzlere tam anlamıyla temas ederek o kısımları iyice ıslatarak moleküllerin arasındaki kuvvetleri güçlendirir. İyi bir yapıştırmanın gerçekleştirilmesi için malzeme yüzeylerinin iyice temizlenmesine ve ıslatmanın tam olarak gerçekleştirilmesi yani temas edilmemiş yüzey bırakılmamasına bağlıdır.

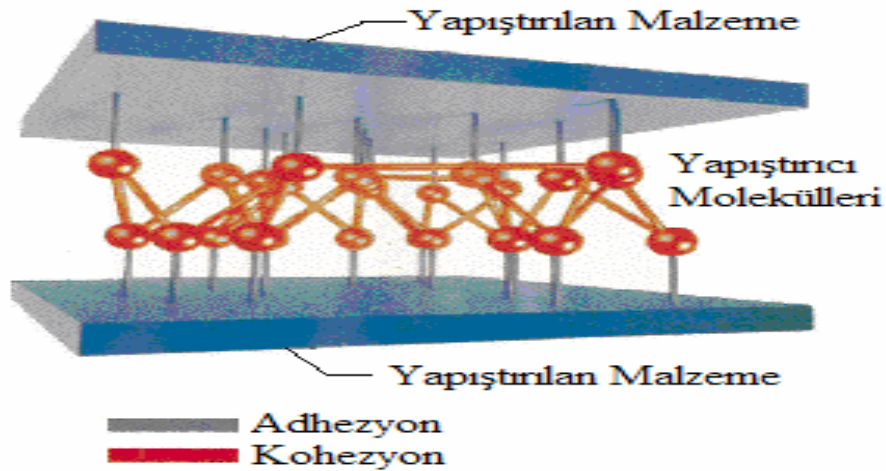
3.7.2. Kohezyon

Sadece yapıştırıcı moleküllerinin bir arada kalmasını sağlayan kuvvettir. Van der Waals kuvvetlerinin yanında moleküllerin kendi içlerinde birleşmesi kohezyon olayına yardımcı olur. Yapıştırma bağlantılarında adhezyon ve kohezyon kuvvetleri birbirlerine yakın olmalıdır.

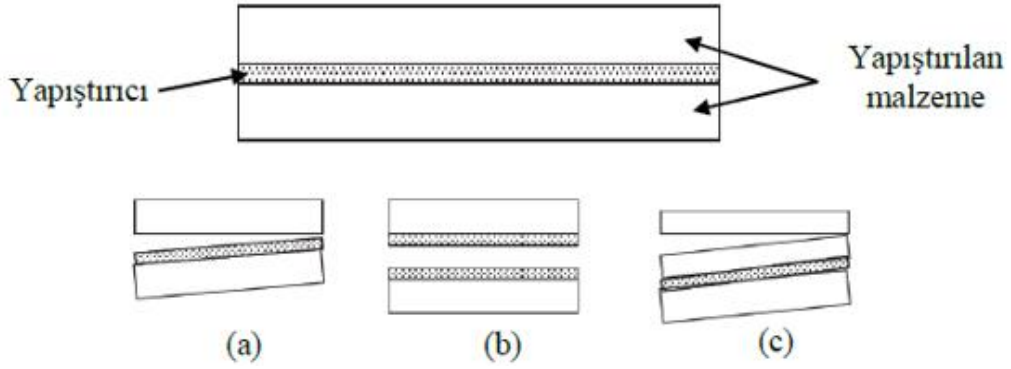
Şekil 3.2’de teorik yapıştırma sisteminde oluşan tabakaların şematik görünüşü, Şekil 3.3’de adhezyon ve kohezyon olayları, Şekil 3.4’te yapıştırma bağlantılarında oluşan hasar modelinin şekli verilmiştir.



Şekil 3.2. Teorik yapıştırma sisteminde oluşan tabakaların şematik görünüşü (Dorn, 1993)



Şekil 3.3. Adhezyon ve kohezyon olayları (Solmaz, 2008)



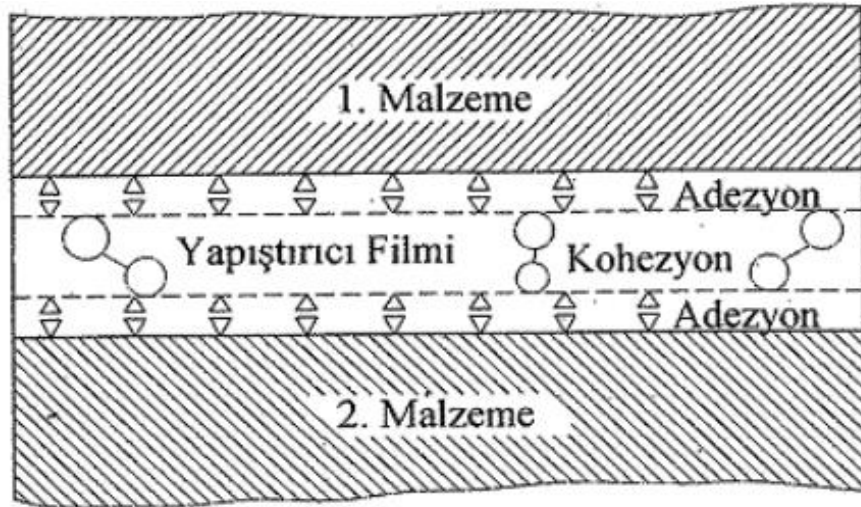
Şekil 3.4. Yapıştırma bağlantılarında oluşan hasar modeli a)adhezyon hasarı b)kohezyon hasarı c)yapıştırılan malzemenin kohezyon hasarı

3.8. Çözilemeyen Bağlama Elemanları

Lehim, kaynak, perçin ve yapıştırma bağlantıları şekil ya da maddeler yardımıyla birleştirildiklerinden dolayı sökülemezler. Sökülmeleri durumunda yüzeylerde meydana gelen hasarlardan dolayı tekrar kullanılmazlar.

3.8.1. Yapıştırma Bağlantıları

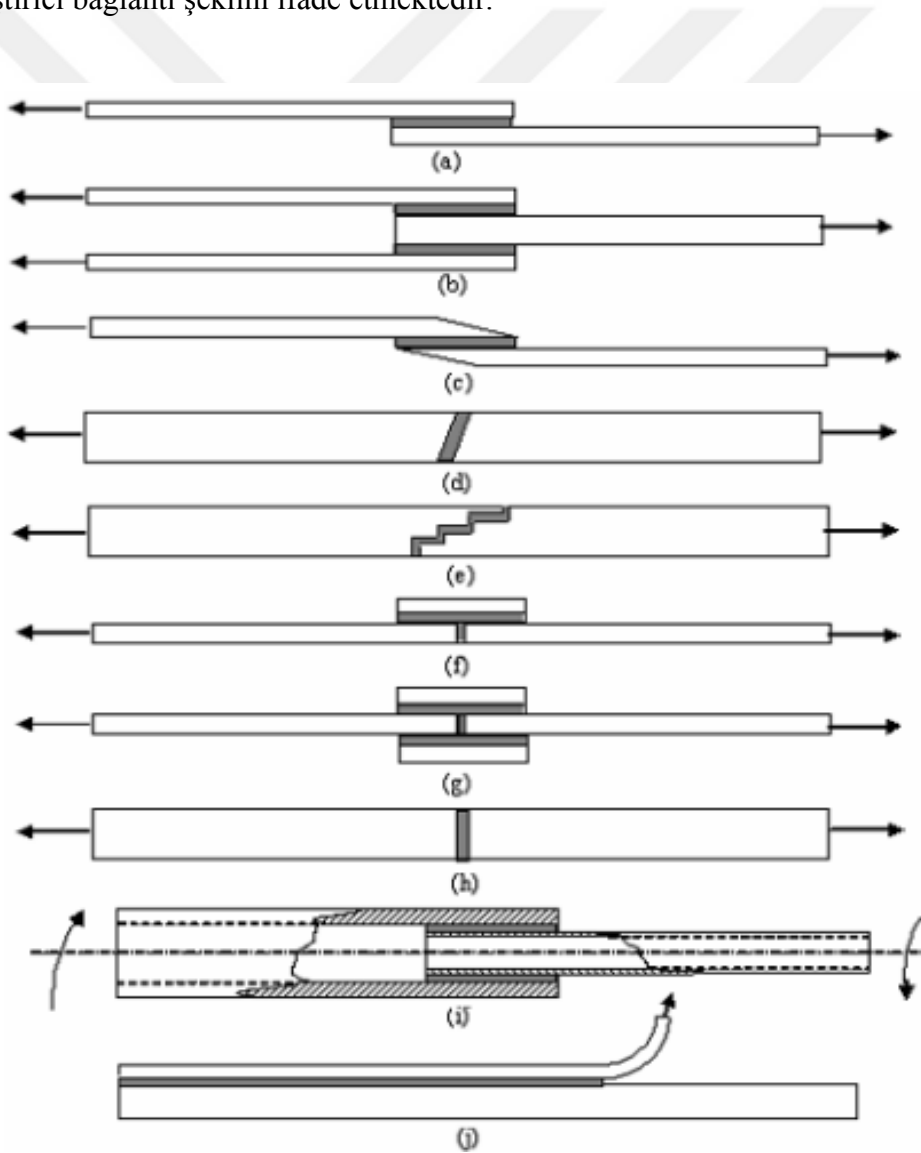
Aynı ya da farklı malzeme grubuna ait iki malzemenin yapıştırıcı yardımıyla birleştirilmesi işlemidir. Şekil 3.5.'te gösterilen şekilde yapıştırma bağlantılarını bir arada tutan adhezyon ve kohezyon kuvvetleri gösterilmiştir.



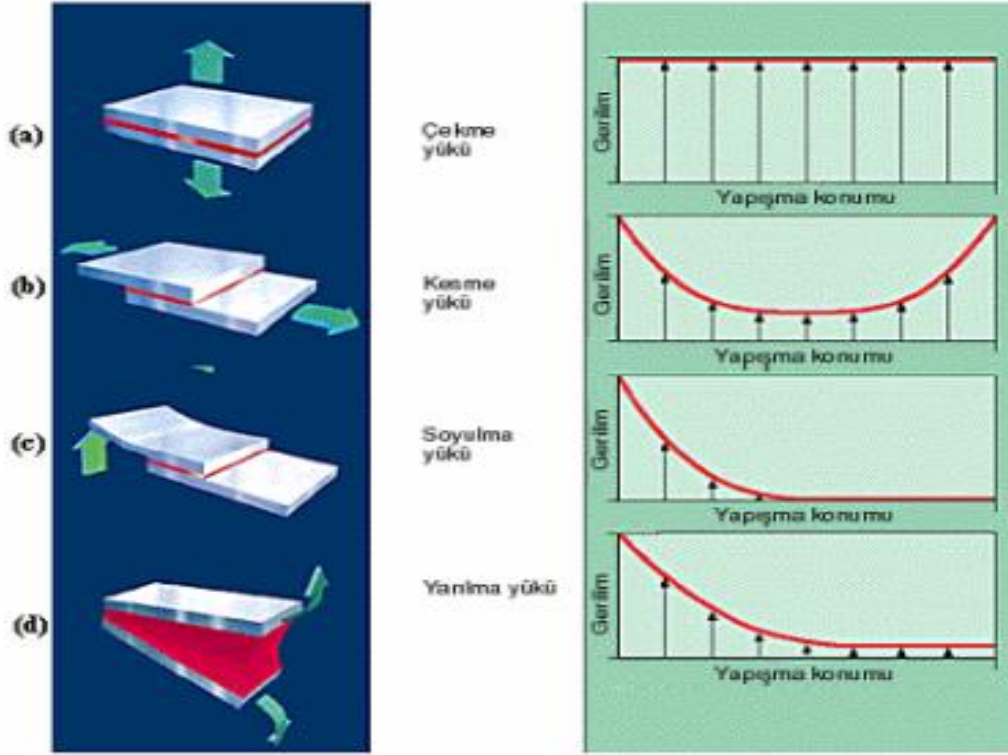
Şekil 3.5. Yapıştırma bağlantı şekli

İyi bir yapıştırmanın gerçekleştirilmesi için malzeme yüzeylerinin iyice temizlenmesine ve ıslatmanın tam olarak gerçekleştirilmesi yani temas edilmemiş yüzey bırakılmamasına bağlıdır. Ne kadar iyi bir yapışma gerçekleşirse yapıştırma bağlantısının mukavemeti de o kadar iyi olur. Malzemenin ve yapıştırıcının mekanik özellikleri göz önünde bulundurularak yüksek sıcaklıklarda, basınç altında, basınçsız, oda sıcaklığında uygun görülen şekilde yapıştırma işlemi gerçekleştirilir.

Şekil 3.6'da bazı yapıştırıcı bağlantı şekilleri gösterilmiştir. Gösterilen şekilde a) Tek Tesirli Bindirme b) Çift Tesirli Bindirme c) Alın Bağlantı d) Açılı Alın Bağlantı f) Tek Takviyeli Alın Bağlantı g)Çift Takviyeli Alın Bağlantı i) Silindirik Bindirme j)Soyulma yapıştırıcı bağlantı şeklini ifade etmektedir.



Şekil 3.6. Bazı Yapıştırma bağlantı tipleri (Adams, 1984)



Şekil 3.7. En yaygın yük tipleri ve bindirme bölgesindeki gerilme dağılımları (Solmaz, 2008)

Kesme yükleri yapıştırılan alanın tümüne düzgün etki eder. Şekil 3.7 (b)'de verilmiştir. Bu tür yüklemelerde yapışma alanının tamamının etki altında olması bağlantı ömrünü arttırarak ekonomiklik sağlar. Eğer mümkün ise bağlantılar yükün büyük bir kısmını kesme yükü olarak iletilebilecek şekilde oluşturulmalıdır. Bu tür durumların oluşması için yapıştırılan malzemelerden biri veya her ikisi de esnek olmalıdır Şekil 3.7 (c)'de verilmiştir. Bu tür yüklemelerde bağlantı sınırında oluşan gerilme çok yüksektir. Bağlantı çok geniş veya yük düşük olmadıkça yapıştırma bağlantısı çabuk bozulacaktır. Mümkün oldukça bu tür yüklemelerden kaçınılmalıdır. Şekil 3.7. d)'de görülen yükleme, ekseriyetle eksenden kaçık çekme kuvvetinin veya momentinin sonucudur. Önceki gerilmelerin aksine bu gerilme, yapışma alanına eşit olmayan şekilde etkimekte ve bağlantının bir tarafında yoğunlaşmaktadır. Bu gerilmeyi karşılamak için yeterli derecede yapışma alanına ihtiyaç vardır. Çekme veya kesme gerilmelerine göre bu alan daha fazla olduğu için bu tarz bağlantı tavsiye edilmez; çünkü maliyet artar (Kayacan, 1988).

3.8.1.1. Yapıştırma Bağlantılarının Avantajları

- Yapıştırma işlemi basit, hızlı ve ekonomiktir.
- Ana malzemede kesit zayıflatıcı delik delme, çentik gibi işlemler uygulanmadığı için mukavemet kaybı meydana gelmez.
- Yapıştırma bağlantılarında gerilme düzgün dağıtıldığı için kopma tehlikesi azdır.
- İyi temizlenmiş yüzeylerde ıslatmanın tam sağlanmasıyla boşluk kısımlar tam kapatıldığı için korozyona karşı dayanım sağlar
- Aynı malzemeler yapıştırıldığı gibi farklı malzemelerinde yapıştırılmasına olanak tanır.
- Parçaların kalınlıkları fark etmeksizin her parçaya kolaylıkla uygulanır.
- Hassas tolerans gerektirmez.
- Aynı zamanda sızdırmazlık sağlar.

3.8.1.2. Yapıştırma Bağlantılarının Dezavantajları

- Yapıştırılacak yüzeylerin iyice temizlenmesi zaman alır.
- Çalışma sıcaklığının artması mukavemete olumsuz yansır.
- Çekme ve eğilmeye karşı mukavemeti iyi değildir.
- Her yapıştırıcının sertleşme süresi farklılık gösterir.
- Yapıştırıcı bağlantının ömrü çevre şartlarına bağlıdır.
- Yapıştırıcılar solventlerin bazılarında dayanıksızdır.
- Kalite kontrollerini bağlantılarda yapmak neredeyse imkânsızdır.

3.8.2. Lehim Bağlantıları

İki metal parça arasına kendisine göre düşük sıcaklıklarda eriyen başka bir malzemenin ısıtılarak birleştirilmesi işlemine lehimleme denilmektedir. Çözülemeyen bağlantı elemanlarından olan lehim bağlantısının avantajları; ergiterek birleştirme için kullanılan ısı düşüktür, sızdırmazlık sorunsuz sağlanır, basit ve ekonomik birleştirme tekniğidir. Dezavantajları olarak; çok yüksek sıcaklıklarda tercih edilemez, lehimde kullanılan malzeme ucuz değildir. Kaynakla birleştirmedeki bağlantıdaki mukavemet lehime göre daha yüksektir.

3.8.3. Kaynak Bağlantıları

İki malzemeyi araya malzeme koyarak veya koymayarak yüksek sıcaklık yada basınç altında birleştirilmesine kaynak denilmektedir. Tamir işlemi olarak kullanılan kaynaktaki kırılan parçalar, aşınan kısımlar, oluşan çatlakların yok edilmesinde kullanılmaktadır. Pahalı olmayan yöntem olmaları sebebiyle çok tercih edilen birleştirme yöntemidir. Cıvata bağlantılarında olduğu gibi delikler açılmadığı için zayıflatılmaz. Kaynak bağlantısının avantajları olarak; lehimden daha sağlam bağlantı elde edilir, imalatta kolay montaj imkanı sunar, hafiftirler. Dezavantajları; yüksek sıcaklıklardan dolayı büzölmeler yaşanabilir, dikiş kısımlarında korozyon dayanımı azalır, kaynaklı bağlantılarda artık gerilmeler yaşanır.

3.8.4. Perçin Bağlantıları

Perçin bağlantılarında kullanılan malzemelerin illaki aynı malzeme grubu olması aranmaz. Rijit olmadığından titreşimlere oldukça dayanıklı bağlantı tipidir. Köprülerde, trenlerde, uçaklarda, çelik yapılarda, yüksek basınçlı kazanlarda kuvvet taşımak için kullanılır. Yüksek basınçlı kaplarda kuvvetin yanında sızdırmazlık içinde kullanılır. Avantajları; kaynaklı bağlantılarda olduğu gibi mukavemet azalmaz, büzölmeler meydana gelmez. Dezavantajları; birleştirme işlemi için açılan deliklerden dolayı kesitte zayıflama olur, işlem için zaman gerekir.

3.9. Sonlu Elemanlar Metodu

Uçak gövdelerinde meydana gelen gerilme analizleri için 1956 yılında geliştirilmiştir. 1966 yıllarında da mühendislik uygulamalarında kullanım alanı bulmuştur. Sonlu elemanlar yönteminde kullanılan temel yöntem parçadan bütüne gitme yöntemidir. Sonlu eleman; iki veya üç boyutlu yapıların bir bölümüdür ya da bir bölgesidir. Sonlu elemanlar metodunun en geniş uygulama alanı gerilme analizidir. Sonraları ısı, akışkan, piezoelektrik, elektrik analizleri gibi alanlarda da kullanım alanı bulmuştur. Ayrıca otomotiv, uçak, bina, köprülerin vb. şekil değiştirme ve gerilmelerinin çözümlenmesinde kullanılmıştır.

Sonlu elemanlar yöntemi ile uygulanacak analizin aşamaları sırası ile verilmiştir.

- Yapı elemanlara bölünür.
- Elemanların tipik özellikleri tanımlanır.
- Tüm yapının denklem takımının çözülebilmesi için elemanlar düğüm noktalarında birbirlerine bağlanır.
- Düğüm noktalarındaki denklem takımları çözümlenir.
- Her elemanın istenilen değeri bulunur.

Sonlu elemanlar metodu ile gerilme problemleri tanımlama ve çözümü için programa aktarılması zorunlu bilgiler şu şekilde sıralanabilir:

- Cismin geometrik modeli
- Elemanların poisson oranı ve elastisite modülü değerleri
- Başlangıç koşulları ile sınır ve yükleme koşulları
- Uygulanacak analizin çeşididir.

3.10. Sonlu Elemanlar Metodunun Avantajları ve Dezavantajları

- Mühendislik veya matematiksel olarak incelenebilir.
- Bulunan verilerin duyarlılığı denetlenebilir.
- Sonlu elemanlar yöntemi belirli şartlar için kullanılabilen bir yöntem değildir.
- Geometrisinin düzensiz ve homojen olmayışı da bu yöntem için bir engel teşkil etmez.
- Farklı türlerdeki sınırlamaların probleme katılmasına olanak sunar.
- Sonlu elemanlar metodu verilen teori kadar doğrudur. Verilerin programa tanımlanmasında hata payı bulunmaktadır.
- Programa malzeme özelliklerinin girilmesinde yapılan hatalar sonucu olumsuz etkileyecektir.
- Sonlu elemanlar yönteminde daha küçük parçalar kullanılması sonucun daha doğru olmasını sağlayacaktır. Daha küçük parçalar kullanılması da bazı sınır şartları oluşturacaktır. (Bilgisayarın daha kaliteli olması şartı)

3.11. ANSYS

En çok kullanılan sonlu elemanlar yönteminin başında hiç şüphesiz ANSYS programı gelmektedir. Tasarımı yapılmış olan bir ürünün prototipi yapılmadan kullanılan çalışma şartlarına uygun olarak sayısal olarak incelenmesine ve 3 boyutlu simülasyonlarının oluşturulmasına olanak sağlayan sonlu elemanlar analiz programıdır. Simülasyonlar yardımıyla zayıf noktaların tespit edilerek düzenlenmesini, ömür hesaplarının yapılmasına olanak sağlar. Ayrıca zamandan tasarruf sağlayan program sayesinde üretime gidilmeden oluşabilecek muhtemel durumlar önceden tespit edilir.

3.12. Maksimum Biçim Değiştirme Enerjisi (Von Mises)

Von Mises Teorisine göre cisimdeki hasarın başlaması için şekil değiştirme enerjisinin belirli bir sınırın üstünde olması gerekir. Bu teoriyi Huber 1904 yılında ortaya çıkarmıştır. Çok eksenli yükleme için akmanın oluşması için eşdeğer gerilmenin (Von Mises gerilmesi) malzemenin akma gerilmesini aşması gerekir. Bu kriter sünek malzemelerin akması için mükemmel sonuçlar verir. Çok eksenli gerilme hali, eşdeğer bir tek gerilmeyle ($\sigma_{eş}$) ifade edilir. Bu teori;

$$2\sigma_y^2 = (\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 \quad (5.1)$$

Veya asal gerilmeler cinsinden;

$$2\sigma_y^2 = (\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 \quad (5.2)$$

Bağıntısıyla verilir. Burada bahsi geçen σ_y eşdeğer (Von Mises) gerilmesidir. Malzemede iki eksenli gerilme durumunda üçüncü eksen olmayacağı için

$\sigma_z = 0$ olacağından yukarıdaki bağıntı;

$$2\sigma_y^2 = \sigma_x^2 - \sigma_x\sigma_y + \sigma_y^2 \quad (5.3)$$

şeklini alır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

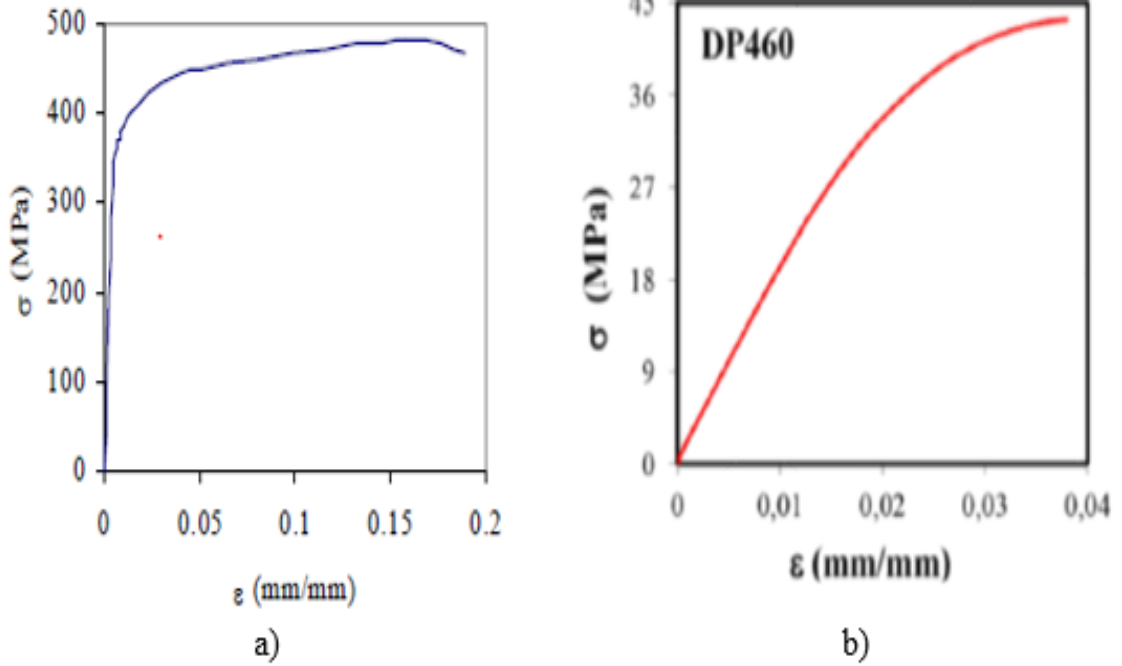
Yapılan çalışmada kompozit yamayla takviye edilmiş çekmeye maruz ve içinde değişken merkezli dairesel delik bulunan plakanın gerilme analizi sayısal olarak incelenmiştir. 200 mm uzunluğa, 40 mm genişliğe, 2 mm kalınlığa sahip yamasız numune ve 40 mm, 50mm, 60 mm yamalarla onarılmış numuneler kullanılmıştır. Delik çapları 5 mm, 6 mm, 7 mm olarak üç farklı değer verilmiştir. Numunelerin ana malzemesi Al -T3-2024 alüminyum alaşımı, yapıştırıcı malzeme olarak DP-460 ve cam elyaf takviyeli kompozit malzeme de yama malzemesi olarak kullanılmıştır. Malzemelerin mekanik özellikleri Tablo 4.1’de Al T3 2024 alüminyum alaşımı ve DP 460 yapıştırıcı malzemesine ait şekil değiştirme grafikleri Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.1 Alüminyum malzeme özellikleri (Akpınar, 2012)

Al-T3-2024 Mekanik Özellikleri	
Elastisite modülü (E)	72400 (MPa)
Poisson oranı (ν)	0.33
Akma mukavemeti	340 (MPa)
Çekme mukavemeti	475 (MPa)

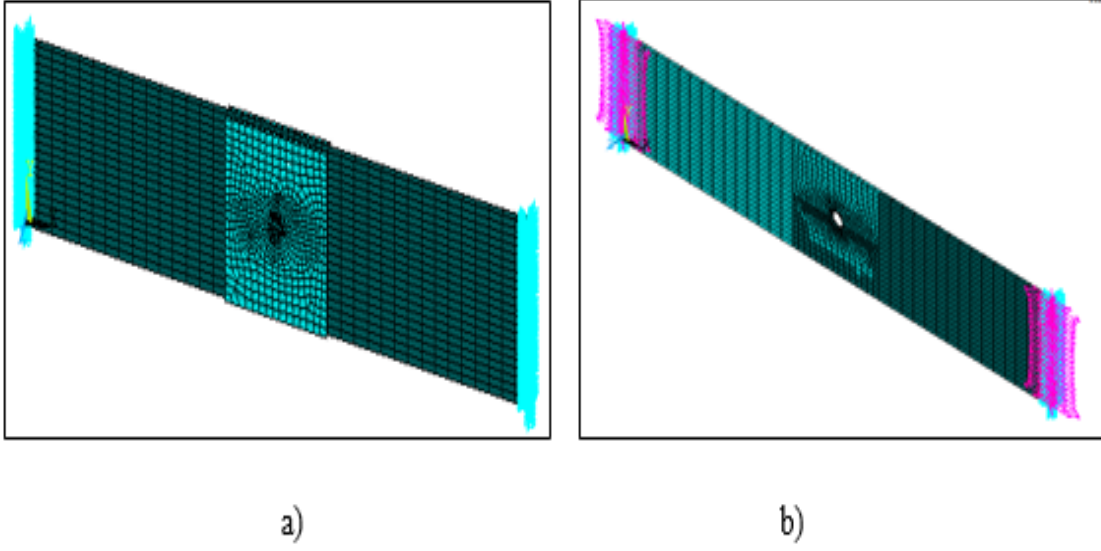
Tablo 4.2 Yapıştırıcı ve yama malzeme özellikleri (Karaman, 2017)

DP-460 Mekanik Özellikleri	
Elastisite Modülü (E)	2,0771 (GPa)
Poisson Oranı (ν)	0,38
Çekme Dayanımı	0,044616 (GPa)
Yama Malzemesi Özellikleri	
Elastisite Modülü (E_x)	44 (GPa)
Elastisite Modülü (E_y)	20 (GPa)
Elastisite Modülü (E_z)	20 (GPa)
Kayma Modülü (G_{xy})	4 (GPa)
Kayma Modülü (G_{xz})	4 (GPa)
Kayma Modülü (G_{yz})	3 (GPa)
Poisson Oranı (ν_{xy})	0,32
Poisson Oranı (ν_{xz})	0,32
Poisson Oranı (ν_{yz})	0,41



Şekil 4.1 a) Al T3-2024 gerilme-şekil değiştirme davranışı (Aydın,2003) b) DP-460 gerilme-şekil değiştirme davranışı (Akpınar, 2012)

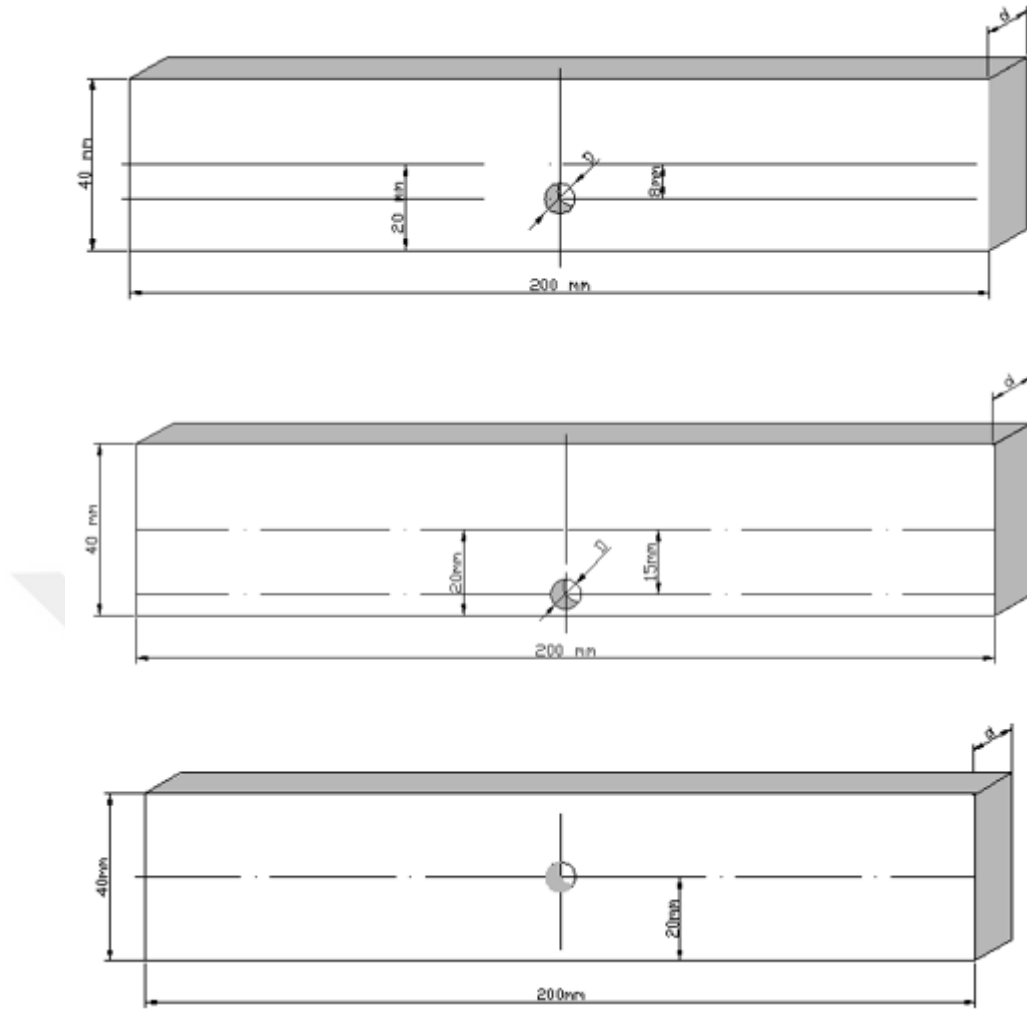
Gerçekleştirilen çalışmada sonlu eleman analizleri ANSYS 14.5 programı yardımıyla Mechanical APDL bölümü kullanılarak yapılmıştır. Tablo 4.1’de kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri ve Şekil 4.1’de gerilme şekil değiştirme davranışları verilen malzeme özellikleri atanmış daha sonra nokta, çizgi, alan, hacim oluşturularak geometri mesh (ağ) yapısı oluşturulmuştur. Üç boyutlu (3D) olarak yapılan modellemeler üç serbestlik dereceli ve yirmi düğüm noktalı SOLID 186 eleman tipindedir. Şekil 4.2 ‘de daire çapı 5 mm, yama kalınlığı 1.5 mm, alüminyum levha kalınlığı 2 mm ve deliği merkezde bulunan numunenin çekme yüküne maruz bırakılmış sonlu elemanlara bölünmüş ve sınır şartları uygulanmış modeli verilmiştir. Sonlu elemanlara bölme işleminde kullanılan eleman tipi şekil 4.7’de verilmiştir. Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’te alüminyum alaşımı ve yama boyutları verilmiştir ve çapları 5-6-7 mm boyutlarında dairesel delikler açılmış, (WxH) olmak üzere 40x40, 40x50, 40x60 mm boyutlarında kompozit yamalar kullanılmıştır. Oluşturulan model çekme yüküne maruz bırakılarak gerilme tipleri incelenmiştir.



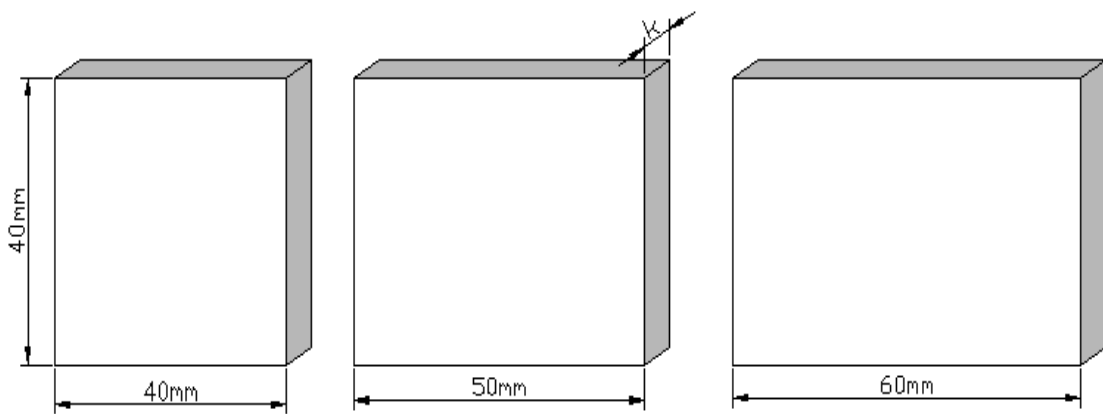
Şekil 4.2. Çekme yüküne maruz bırakılmış sonlu elemana bölünmüş ve sınır şartları uygulanmış model (a) yamalı, b) yamasız)

Tablo 4.3. Sayısal analiz numune boyutları

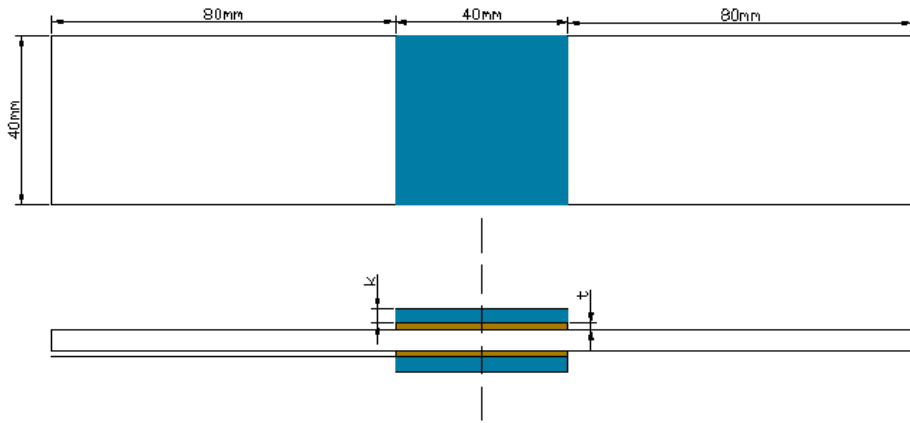
Sayısal Analiz Numune Boyutları						
Al-T3-2024			Cam Epoksi Kompozit			Yapıştırıcı DP-460
Levha Boyutu (mm)	Dairesel Delik Çapı(mm)	Delik'in Konumu	H (mm)	W (mm)	Kalınlık (mm)	Kalınlık (mm)
40x200x1.5 40x200x2 40x200x2,5	5	Merkezde	40	40	1	0.15
			50			
			60			
	6	Merkezden 8 mm Uzaklıkta	40			
			50			
			60			
	7	Uzaklıkta	40			
			50			
			60			



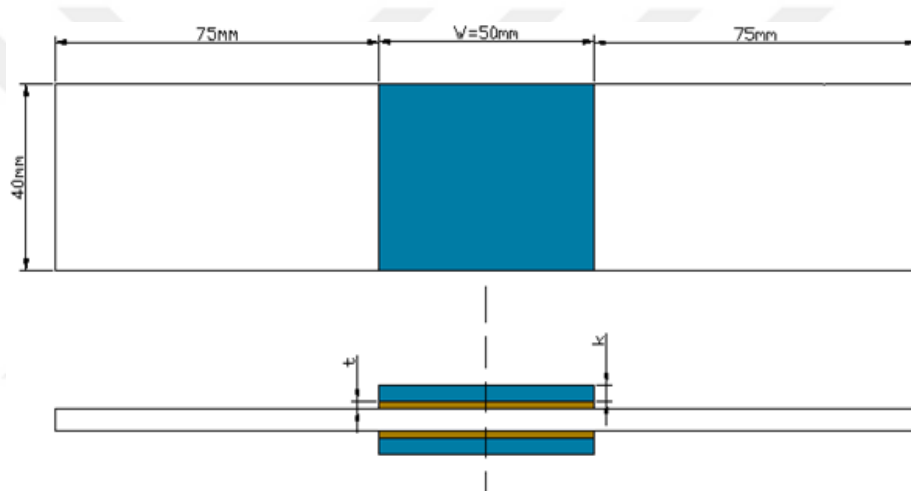
Şekil 4.3. Deney numunelerinde kullanılan levhaların boyutu ve daire merkezlerinin konumları (a-b-c)



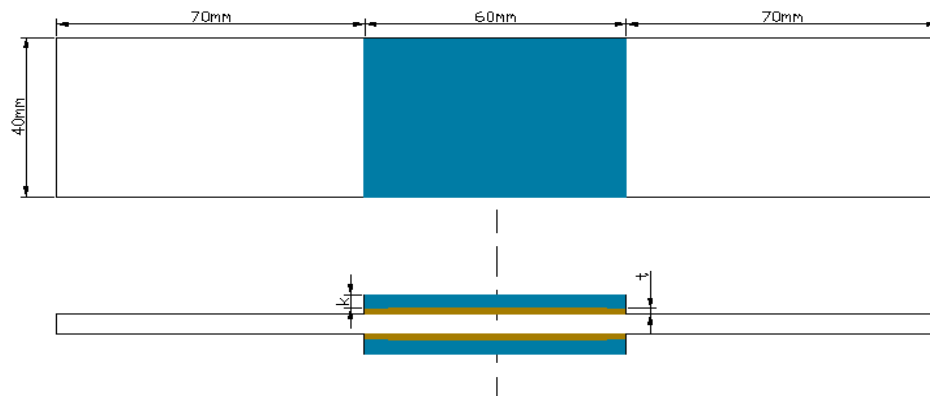
Şekil 4.4. Deney numunelerinde kullanılan yamaların boyutları



a)

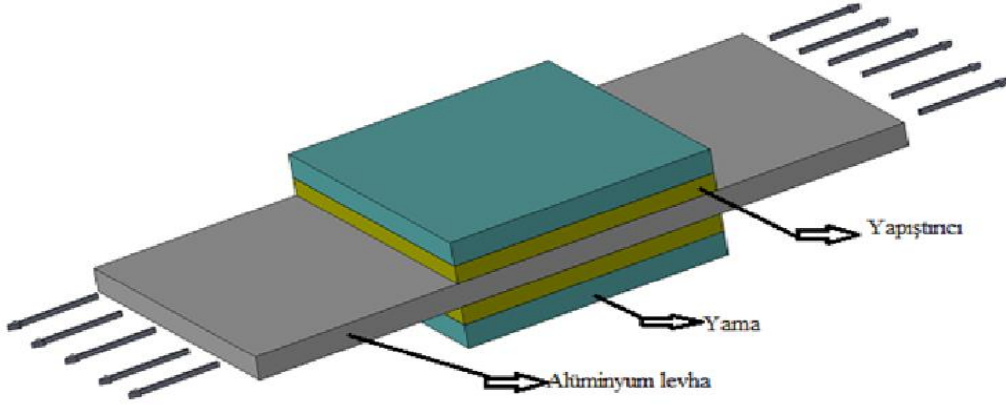


b)

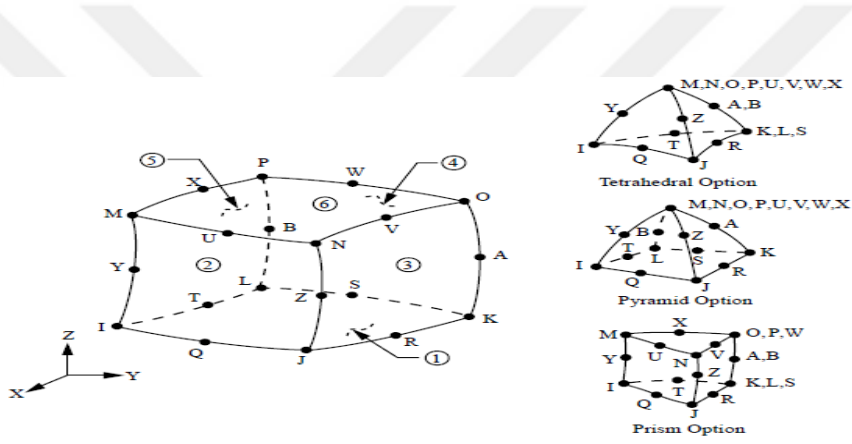


c)

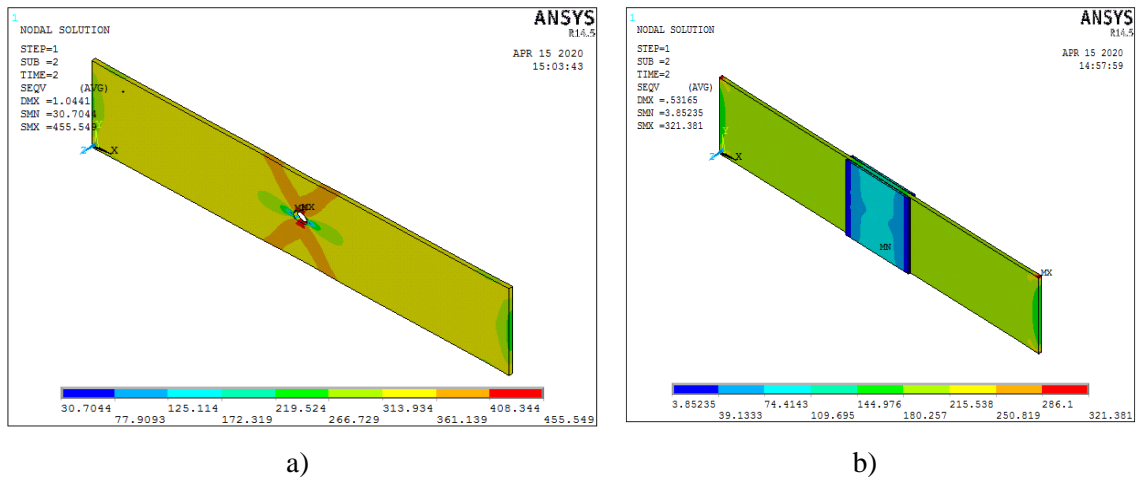
Şekil 4.5. Çift yüzünden yamaların (40x40x50x60mm) uygulanmış numunelerin gösterimi (a-b-c)



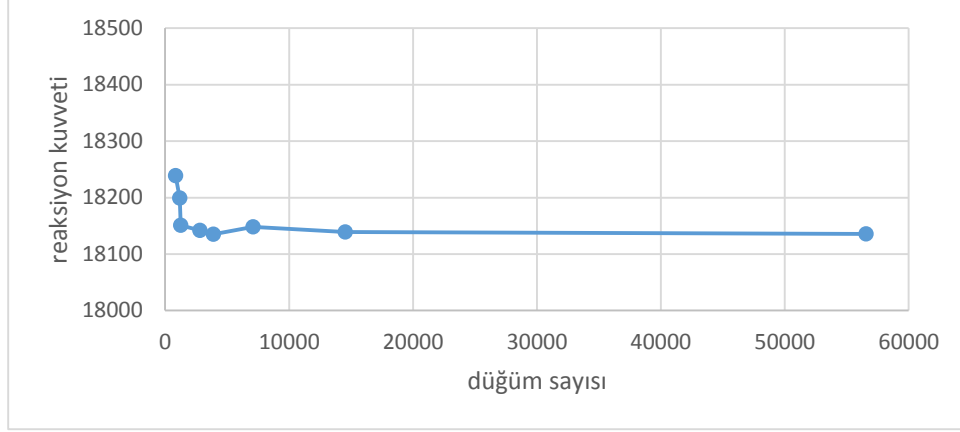
Şekil 4.6. Yamanmış numunelerin genel görünümü



Şekil 4.7. Sonlu elemanlar analizi için kullanılan eleman tipi (solid 186)



Şekil 4.8. $D=5$ mm çap değerlerine sahip, merkezde, yamasız alüminyum levha kalınlığı 2 mm, yama kalınlığı 1.5 mm, 40 mm yama uzunluğuna sahip yamalı numunelerin von-mises gerilme dağılımı (a. yamasız, b. yamalı)

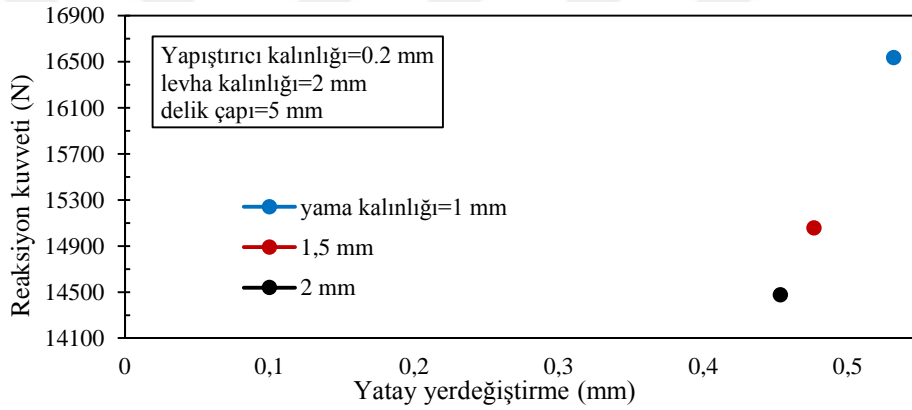


Şekil 4.9. Merkezden uzaklığı 8 mm, daire çapı 7 mm, kalınlığı 2 mm, yapıştırıcı kalınlığı 0.2 mm, yama kalınlığı 1.5 mm olan numunenin düğüm sayısı ile numunede meydana gelen reaksiyon kuvvetinin değişimi

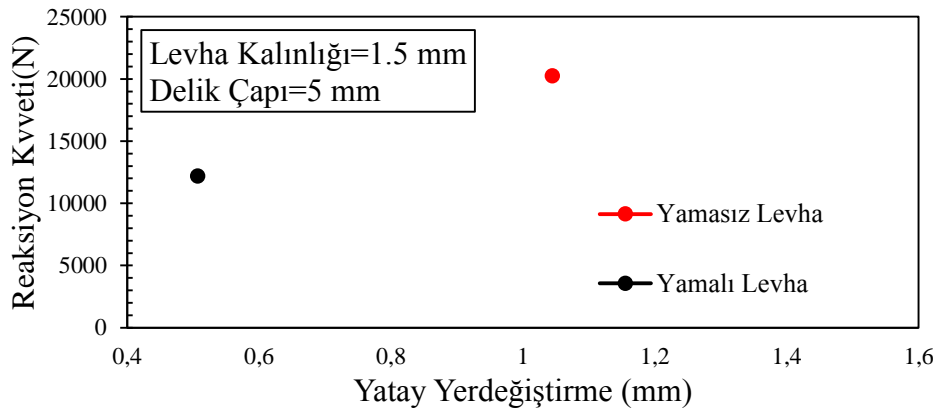
Şekil 4.9’da merkezden uzaklığı 8 mm, daire çapı 7 mm, alüminyum levha kalınlığı 2 mm, yapıştırıcı kalınlığı 1.5 mm olan numunenin düğüm sayısı ile numunede meydana gelen reaksiyon kuvvetinin değişim grafiği verilmiştir. Düğüm sayısının artışıyla başlangıçta reaksiyon kuvveti azalmıştır, sonrasında sabitlenmiştir. Reaksiyon kuvvetinin sabit kaldığı 14532 düğüm sayısı kullanılan sayısal model için optimum model olarak belirlenmiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

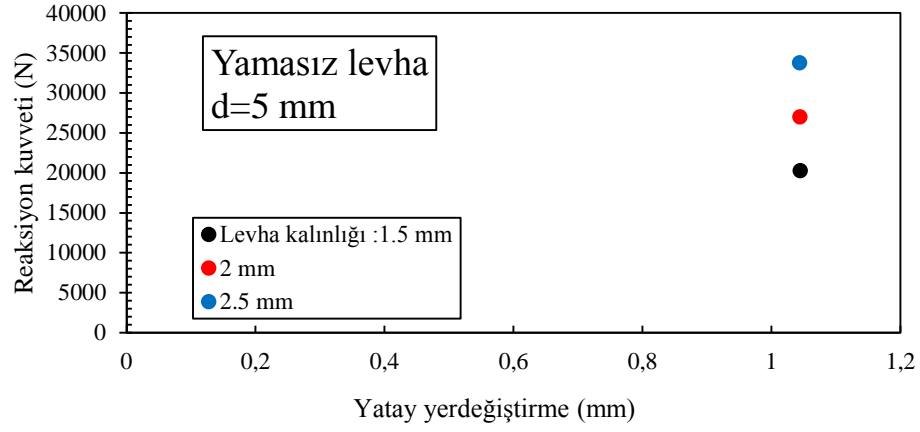
Şekil 5.1'den Şekil 5.7'e kadar olan grafiklerde grafikleri çizmek için yapıştırıcıda meydana gelen Von Mises gerilmeleri incelenmiştir. Yapıştırıcıda oluşan Von Mises hasar kriterine göre ilk hasarın başladığı reaksiyon kuvveti ve yer değişirme kullanılarak ilgili grafikler çizilmiştir.



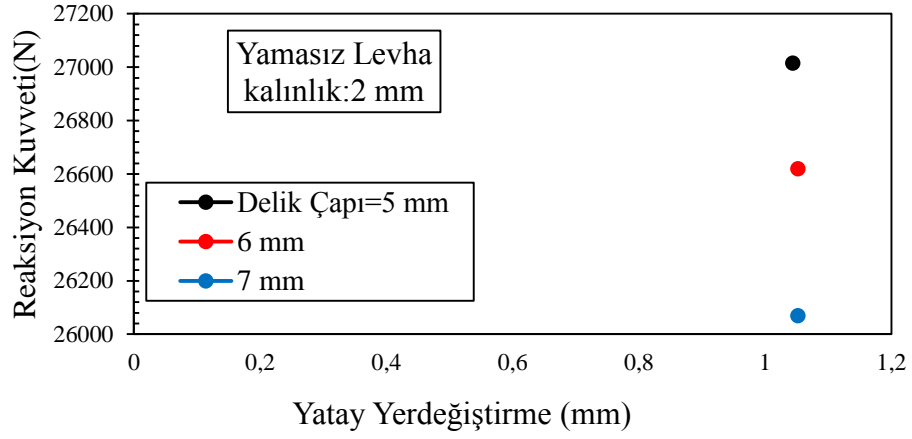
Şekil 5.1. Yapıştırıcı kalınlığı 0.2 mm, al levha kalınlığı 2 mm delik çapı 5 mm yama boyutları 40 mmx40mm olan ve farklı yama kalınlığındaki numunelerin reaksiyon kuvvet grafiği



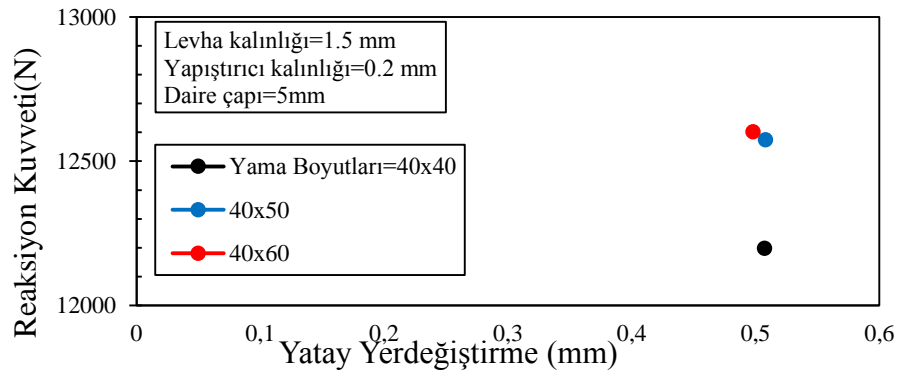
Şekil 5.2. Alüminyum levha kalınlığı 1.5 mm, delik çapı 5mm olan yamalı ve yamasız numunelerin reaksiyon kuvvet grafiği



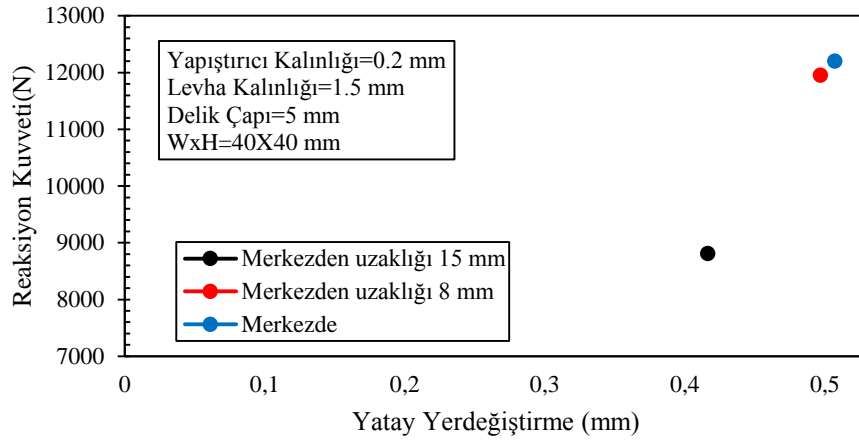
Şekil 5.3. Daire çapı 5 mm olan yamasız ve farklı alüminyum levha kalınlığındaki numunelerin reaksiyon kuvvet grafiği



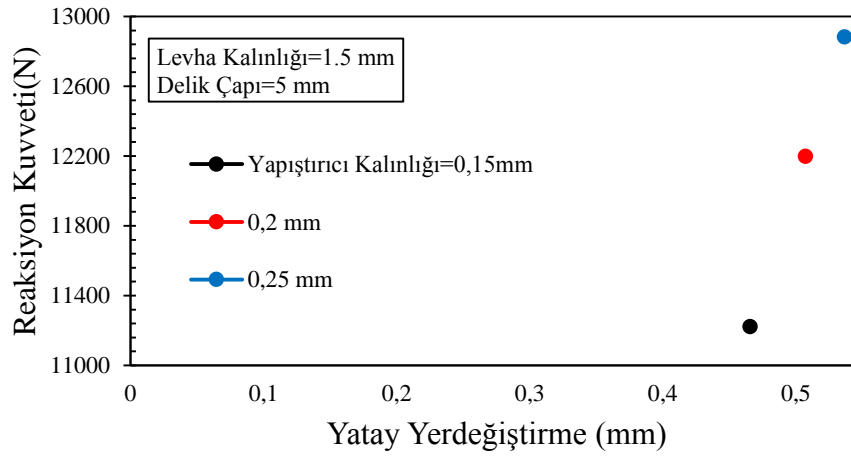
Şekil 5.4. Alüminyum levha kalınlığı 2 mm, yamasız ve farklı daire çaplarındaki numunelerin reaksiyon kuvvet grafiği



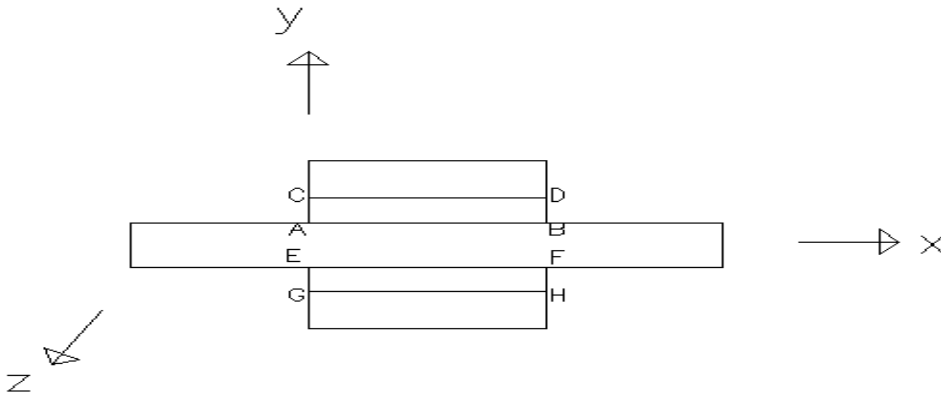
Şekil 5.5. Levha kalınlığı 1.5 mm, yapıştırıcı kalınlığı 0.2 mm, daire çapı 5mm ve farklı yama boyutlarındaki numunelerin reaksiyon kuvvet grafiği



Şekil 5.6. Yapıştırıcı kalınlığı 0.2 mm, al levha kalınlığı 1.5 mm, delik çapı 5 mm, yama boyutları 40mmx40mm olan ve delik çaplarının konumu değişen numunelerin reaksiyon kuvvet grafiği



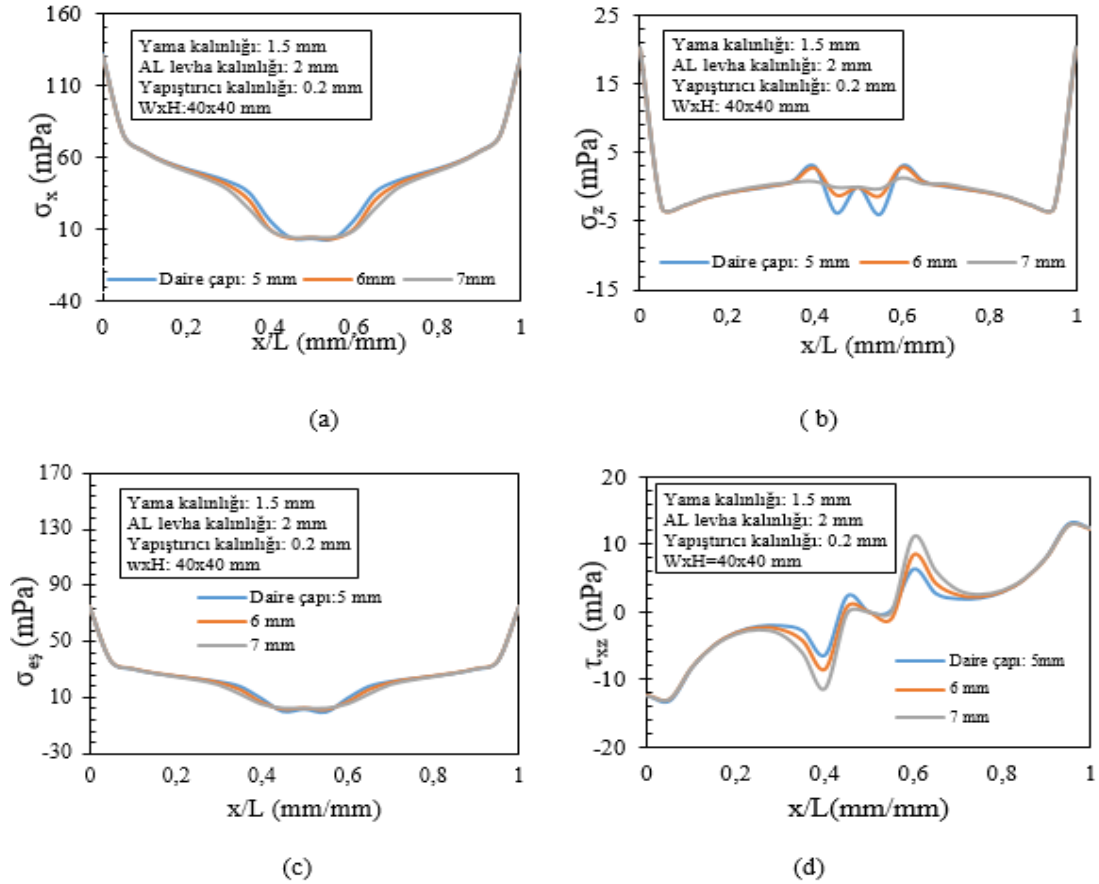
Şekil 5.7. Al levha kalınlığı 1.5 mm, delik çapı 5 mm ve farklı yapıştırıcı kalınlığındaki numunelerin reaksiyon kuvvet grafiği



Şekil 5.8. Nümerik analizde incelenen yörüngeler

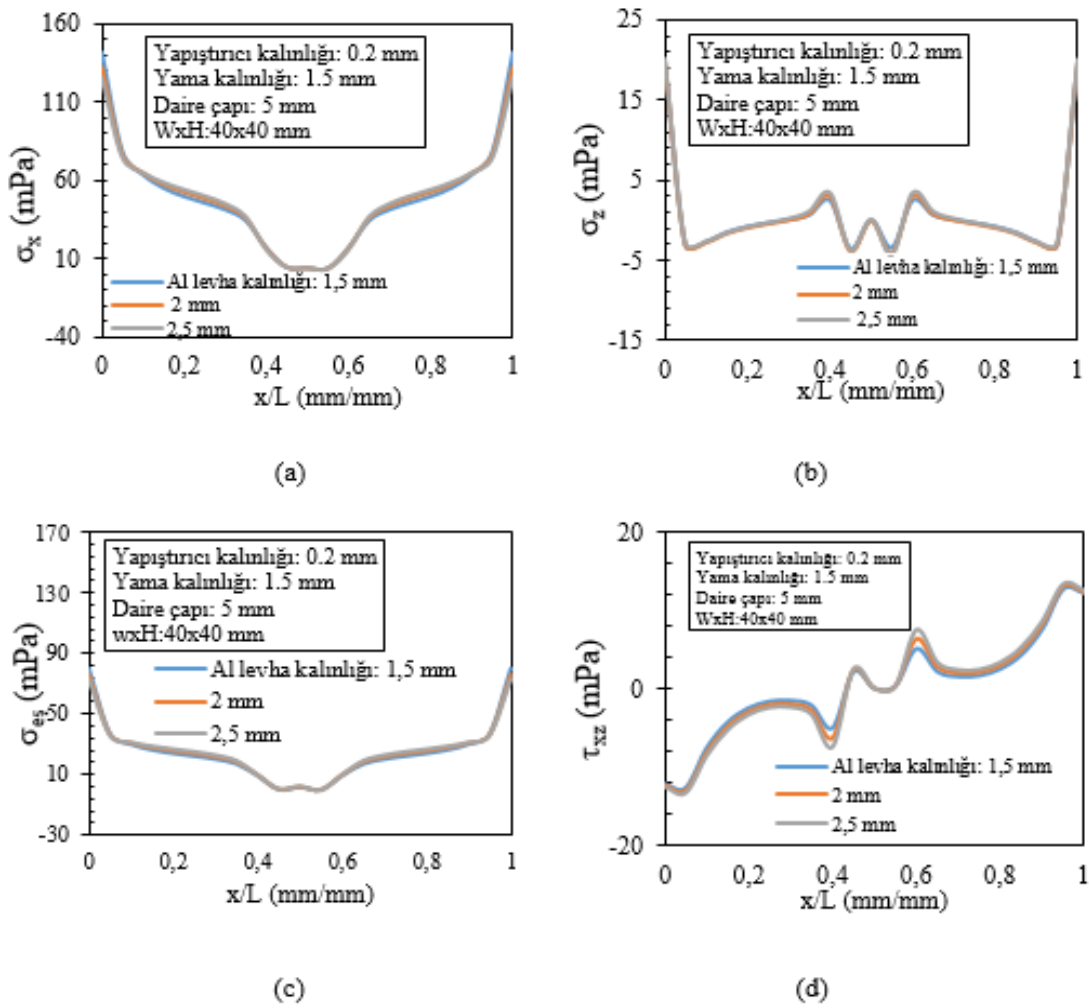
Şekil 5.8’de AB- EF hattı Al-T3-2024 alaşımı ile yapıştırıcı malzeme arasındaki yörüngeyi, CD-GH hattı kompozit yama ile yapıştırıcı malzeme arasındaki yörüngeyi temsil etmektedir.

Çift tarafı yamalı; yama kalınlığı 1.5 mm, Alüminyum levha kalınlığı 2 mm, yapıştırıcı kalınlığı 0.2 mm, WxH 40x40 mm olan ve farklı daire çap değerlerindeki numunelerin AB yörüngesinde meydana gelen Von-Mises ve normal gerilme dağılım grafikleri Şekil 5.9’da verilmiştir. σ_x gerilmeleri maksimum gerilme değerine delik çapı 5 mm değerine sahip olan numunede ulaşmış çap değeri arttıkça gerilme değerleri azalmıştır. Minimum gerilme değerlerine ise orta noktada ulaşmışlardır. σ_z gerilmeleri de uç noktalarda çap değeri arttıkça gerilme değerleri artarak maksimum gerilmeler de uç noktalarda artmıştır. Eşdeğer gerilmeler karakteristik olarak σ_x gerilmelerine benzer gerilme dağılım grafiği göstermiştir. τ_{xz} gerilmeleri incelenirse uç noktalarda maksimum gerilme değerlerini almışlar ve çap değeri arttıkça maksimum gerilme değeri de artmıştır.



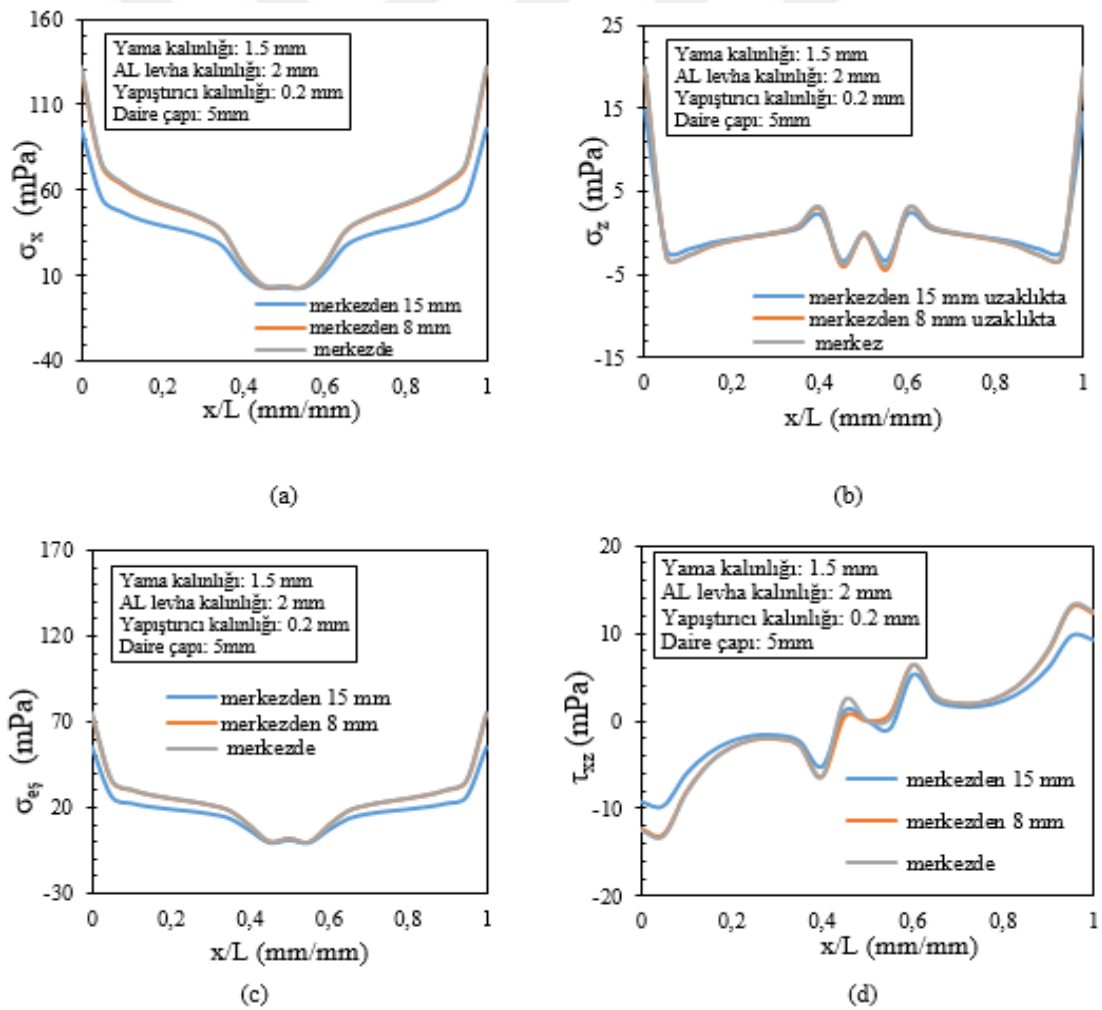
Şekil 5.9. Çift tarafı yamalı, dairesel delikli wxh 40x40 mm boyutlarında ve farklı daire çap değerindeki numunelerin AB yörüngesinde meydana gelen von-mises ve gerilme dağılım grafikleri

Çift tarafı yamalı yapıştırıcı kalınlığı 0.2 mm, yama kalınlığı 1.5 mm, delik çapı 5 mm, WxH 40x40 mm olan numunelerin AB yörüngesinde meydana gelen Von-Mises ve normal gerilme dağılım grafikleri Şekil 5.10'da verilmiştir. σ_x gerilmeleri maksimum gerilme değerine alüminyum levha kalınlığı 1.5 mm değerine sahip olan numunede ulaşmış alüminyum levha kalınlık değeri arttıkça gerilme değerleri azalmıştır. Minimum gerilme değerlerine ise orta noktada ulaşmışlardır. σ_z gerilmeleri de uç noktalarda alüminyum levha kalınlık değeri arttıkça gerilme değerleri artarak maksimum gerilmeler de uç noktalarda artmıştır. Eşdeğer gerilmeler karakteristik olarak σ_x gerilmelerine benzer gerilme dağılım grafiği göstermiştir. τ_{xz} gerilmeleri incelenirse uç noktalarda maksimum ve minimum gerilme değerlerini almışlar ve al levha kalınlık değeri arttıkça maksimum gerilme değeri de artmıştır.



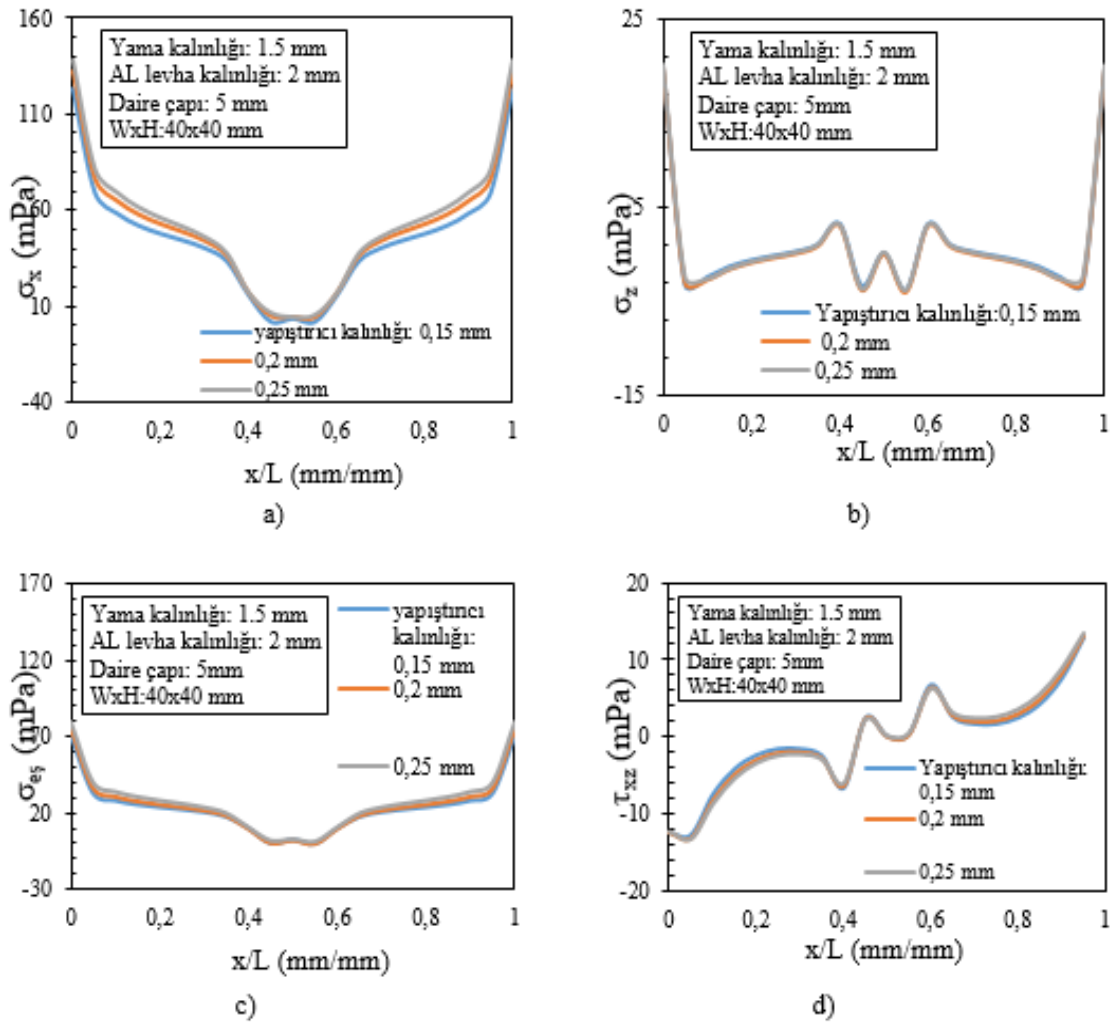
Şekil 5.10. Çift tarafı yamalı, daire çapı 5 mm, wxh=40x40 mm boyutlarında ve farklı al levha kalınlığındaki numunelerin AB yörüngesinde meydana gelen von-mises ve gerilme dağılım grafikleri

Çift tarafı yamalı yapıştırıcı kalınlığı 0.2 mm, yama kalınlığı 1.5 mm, delik çapı 5 mm, WxH 40x40 mm ve delik merkezleri değişen numunelerin AB yöreğinde meydana gelen Von-Mises ve normal gerilme dağılım grafikleri Şekil 5.11'de verilmiştir. σ_x gerilmeleri maksimum gerilme değere alüminyum levhanın tam orta merkezindeki delikteki numunede ulaşmış merkezden uzaklaştıkça gerilme değeri azalmıştır. Minimum gerilme değeri ise orta noktada ulaşmışlardır. σ_z gerilmeleri de uç noktalarda merkeze yaklaştıkça gerilme değeri artarak maksimum gerilmeler de uç noktalarda artmıştır. Eşdeğer gerilmeler karakteristik olarak σ_x gerilmelerine benzer gerilme dağılım grafiği göstermiştir. τ_{xz} gerilmeleri incelenirse uç noktalarda maksimum ve minimum gerilme değerlerini almışlar merkeze yaklaştıkça maksimum gerilme değeri de artmıştır.



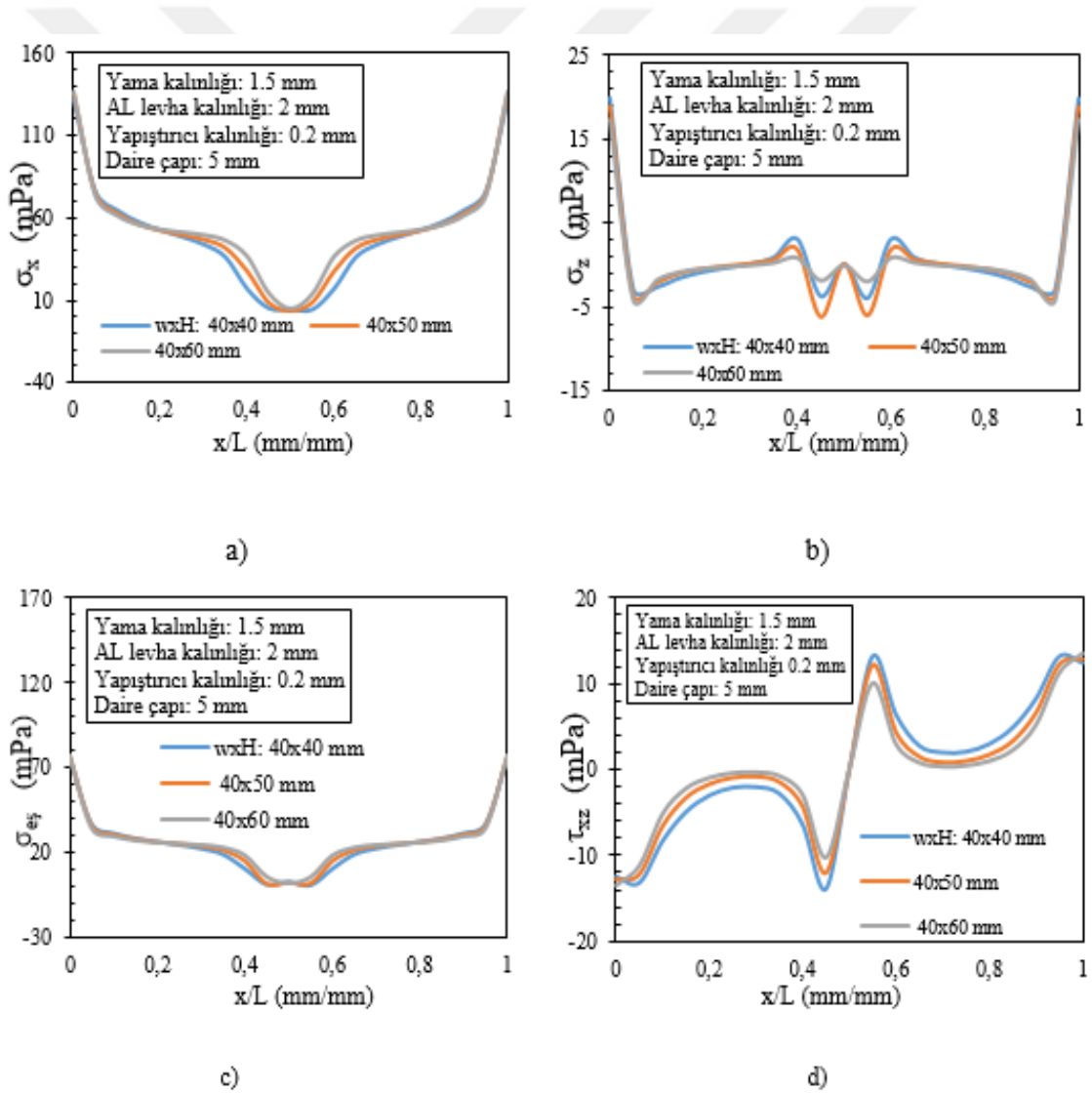
Şekil 5.11. Çift tarafı yamalı, daire çapı 5 mm, wxh=40x40 mm boyutlarında ve farklı delik merkezlerindeki numunelerin AB yöreğinde meydana gelen von-mises ve gerilme dağılım grafikleri

Çift tarafı yamalı al levha kalınlığı 2 mm, yama kalınlığı 1.5 mm, delik çapı 5 mm, WxH 40x40 mm ve yapıştırıcı kalınlığı değişen numunelerin AB yörüngesinde meydana gelen Von-Mises ve normal gerilme dağılım grafikleri Şekil 5.12’de verilmiştir. σ_x gerilmeleri maksimum gerilme değerine yapıştırıcı kalınlığı 0.25 mm değerine sahip olan numunede ulaşmış yapıştırıcı kalınlık değeri arttıkça gerilme değerleri artmıştır. Minimum gerilme değerlerine ise orta noktada ulaşmışlardır. σ_z gerilmeleri de uç noktalarda yapıştırıcı kalınlık değeri arttıkça gerilme değerleri artarak maksimum gerilmeler de uç noktalarda artmıştır. Eşdeğer gerilmeler karakteristik olarak σ_x gerilmelerine benzer gerilme dağılım grafiği göstermiştir. τ_{xz} gerilmeleri incelenirse uç noktalarda maksimum ve minimum gerilme değerlerini almışlar ve yapıştırıcı kalınlık değeri arttıkça maksimum gerilme değeri de azalmıştır.



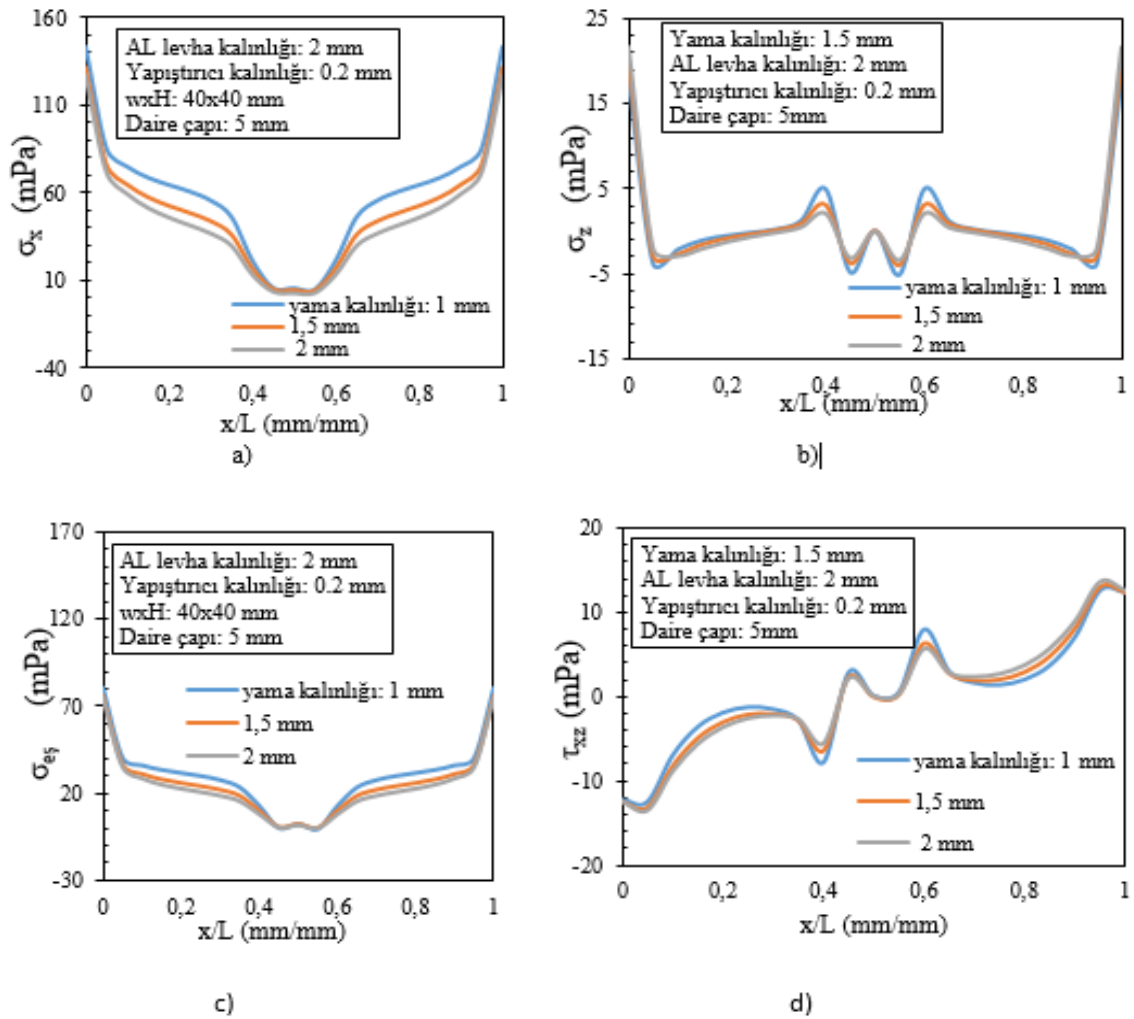
Şekil 5.12. Çift tarafı yamalı, daire çapı 5 mm, wxh=40x40 mm boyutlarında ve farklı yapıştırıcı kalınlığındaki numunelerin AB yörüngesinde meydana gelen von-mises ve gerilme dağılım grafikleri

Çift tarafı yamalı al levha kalınlığı 2 mm, yama kalınlığı 1.5 mm, delik çapı 5 mm, yapıştırıcı kalınlığı 0.2 mm ve yama boyutları $W \times H$ değişen numunelerin AB yörüngesinde meydana gelen Von-Mises ve normal gerilme dağılım grafikleri Şekil 5.13'te verilmiştir. σ_x gerilmeleri maksimum gerilme değerine $W \times H$ 40x60 mm değerine sahip olan numunede ulaşmış yama boyutları W değeri arttıkça gerilme değerleri artmıştır. Minimum gerilme değerlerine ise orta noktada ulaşmışlardır. σ_z gerilmeleri de uç noktalarda yama boyutları w değeri arttıkça gerilme değerleri azalmıştır ve maksimum gerilmeler de uç noktalarda artmıştır. Eşdeğer gerilmeler karakteristik olarak σ_x gerilmelerine benzer gerilme dağılım grafiği göstermiştir. τ_{xz} gerilmeleri incelenirse uç noktalarda maksimum ve minimum gerilme değerlerini almışlar ve W değeri arttıkça maksimum gerilme değeri de azalmıştır.



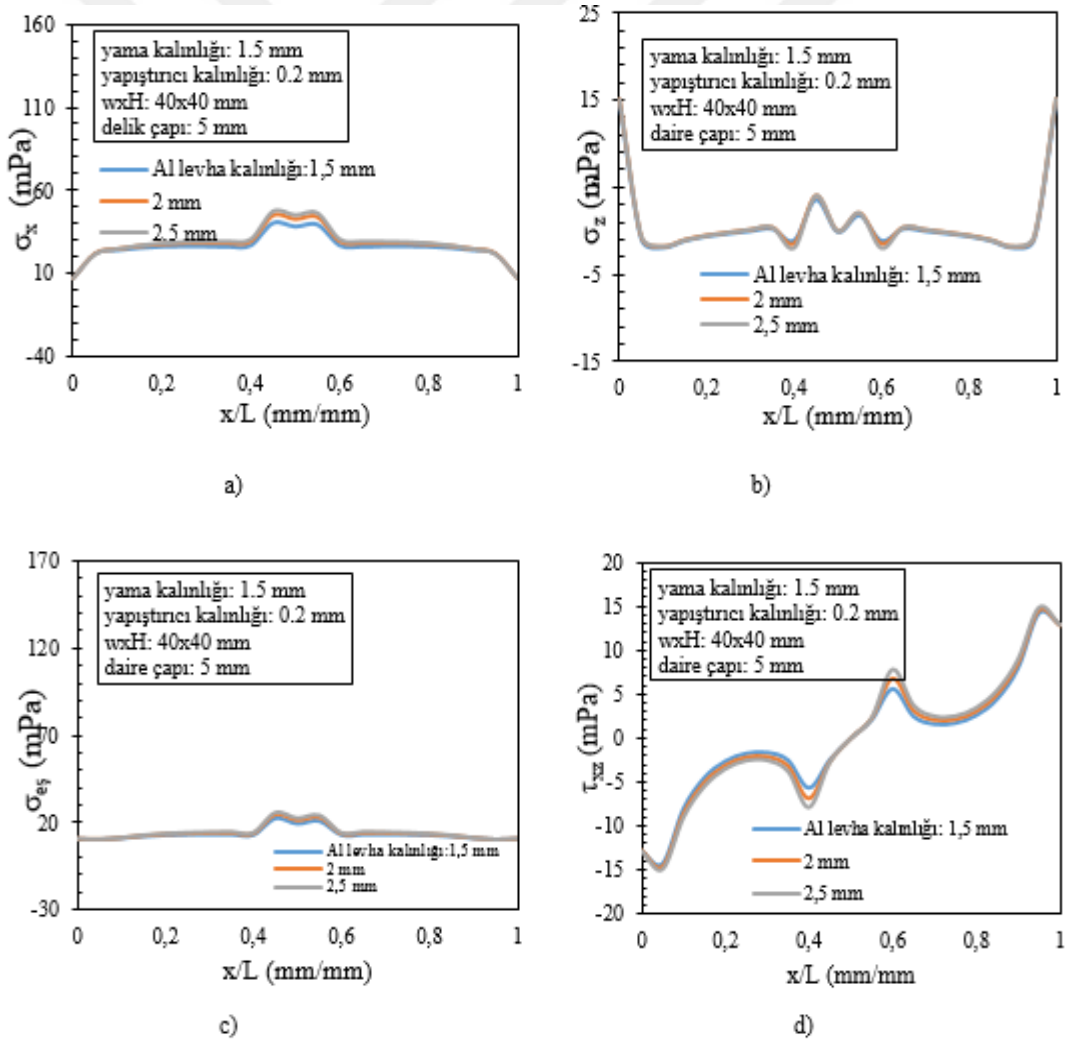
Şekil 5.13. Çift tarafı yamalı, daire çapı 5 mm ve $w \times h$ yama boyutları değişen numunelerin AB yörüngesinde meydana gelen von-mises ve gerilme dağılım grafikleri

Çift tarafı yamalı al levha kalınlığı 2 mm, delik çapı 5 mm, yapıştırıcı kalınlığı 0.2 mm ve yama boyutları WxH 40x40 mm yama kalınlığı değişen numunelerin AB yörüngesinde meydana gelen Von-Mises ve normal gerilme dağılım grafikleri Şekil 5.14'te verilmiştir. σ_x gerilmeleri maksimum gerilme değerine yama kalınlığı 1 mm değerine sahip olan numunede ulaşmış yama kalınlığı değeri arttıkça gerilme değerleri azalmıştır. Minimum gerilme değerlerine ise orta noktada ulaşmışlardır. σ_z gerilmeleri de uç noktalarda yama kalınlığı değeri arttıkça gerilme değerleri artmıştır ve maksimum gerilmeler de uç noktalarda artmıştır. Eşdeğer gerilmeler karakteristik olarak σ_x gerilmelerine benzer gerilme dağılım grafiği göstermiştir. τ_{xz} gerilmeleri incelenirse uç noktalarda maksimum ve minimum gerilme değerlerini almışlar ve yama kalınlığı değeri arttıkça maksimum gerilme değeri de artmıştır.



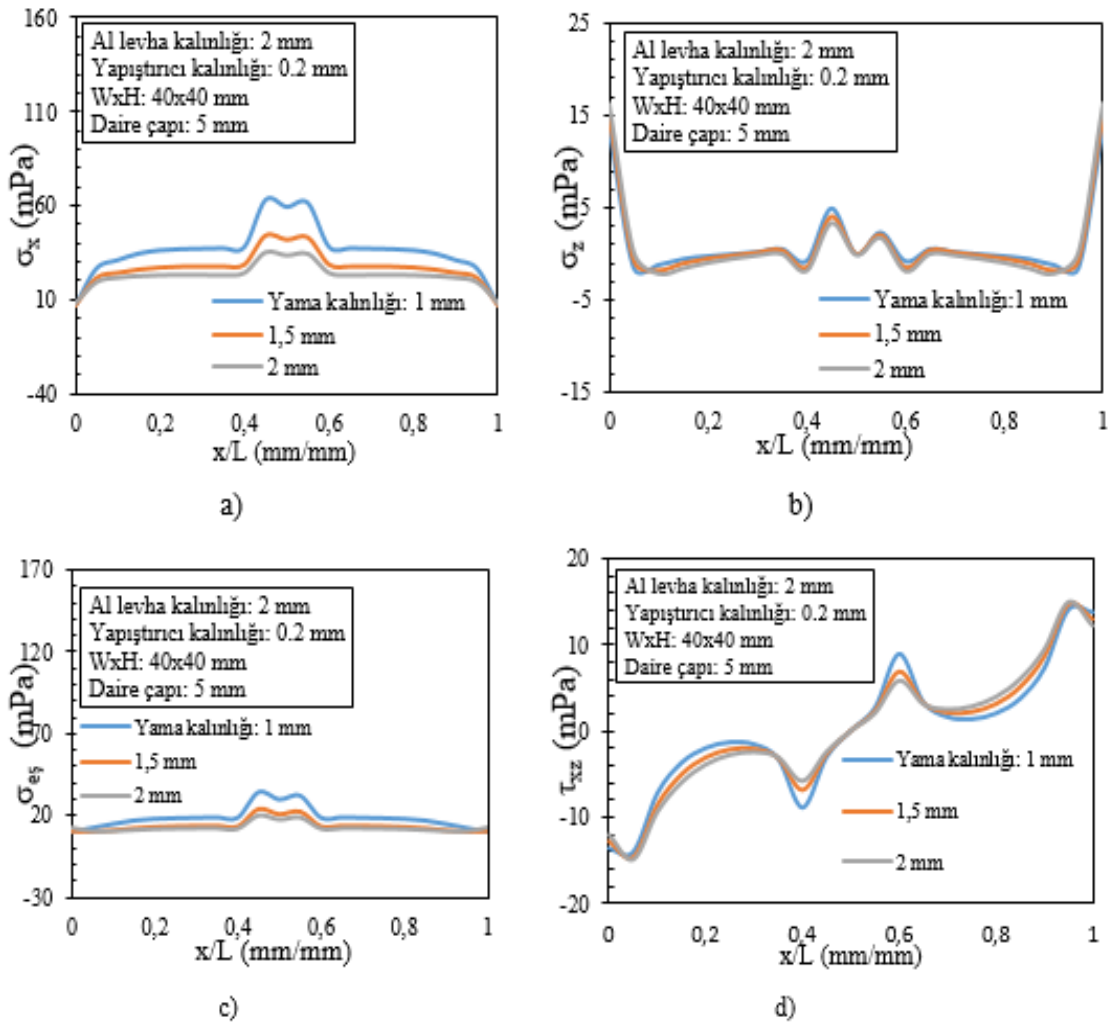
Şekil 5.14. Çift tarafı yamalı, daire çapı 5 mm, wxh 40x40 mm boyutlarında ve farklı yama kalınlığındaki numunelerin AB yörüngesinde meydana gelen von-mises ve gerilme dağılım grafikleri

Çift tarafı yamalı yapıştırıcı kalınlığı 0.2 mm, yama kalınlığı 1.5 mm, delik çapı 5 mm, WxH 40x40 mm olan numunelerin CD yörüngesinde meydana gelen Von-Mises ve normal gerilme dağılım grafikleri Şekil 5.15'te verilmiştir. σ_x gerilmeleri maksimum gerilme değerine alüminyum levha kalınlığı 2.5 mm değerine sahip olan numunede başlangıçtan 0.45 ve 0.55 mm uzaklıkta ulaşmış alüminyum levha kalınlık değeri arttıkça gerilme değerleri artmıştır. Minimum gerilme değerlerine uç noktalarda ulaşmışlardır. σ_z gerilmeleri de uç noktalarda alüminyum levha kalınlık değeri arttıkça gerilme değerleri artarak maksimum gerilmeler de uç noktalarda artmıştır. Eşdeğer gerilmeler karakteristik olarak σ_x gerilmelerine benzer gerilme dağılım grafiği göstermiştir. τ_{xz} gerilmeleri incelenirse uç noktalarda maksimum ve minimum gerilme değerlerini almışlar ve al levha kalınlık değeri arttıkça maksimum gerilme değeri de artmıştır.



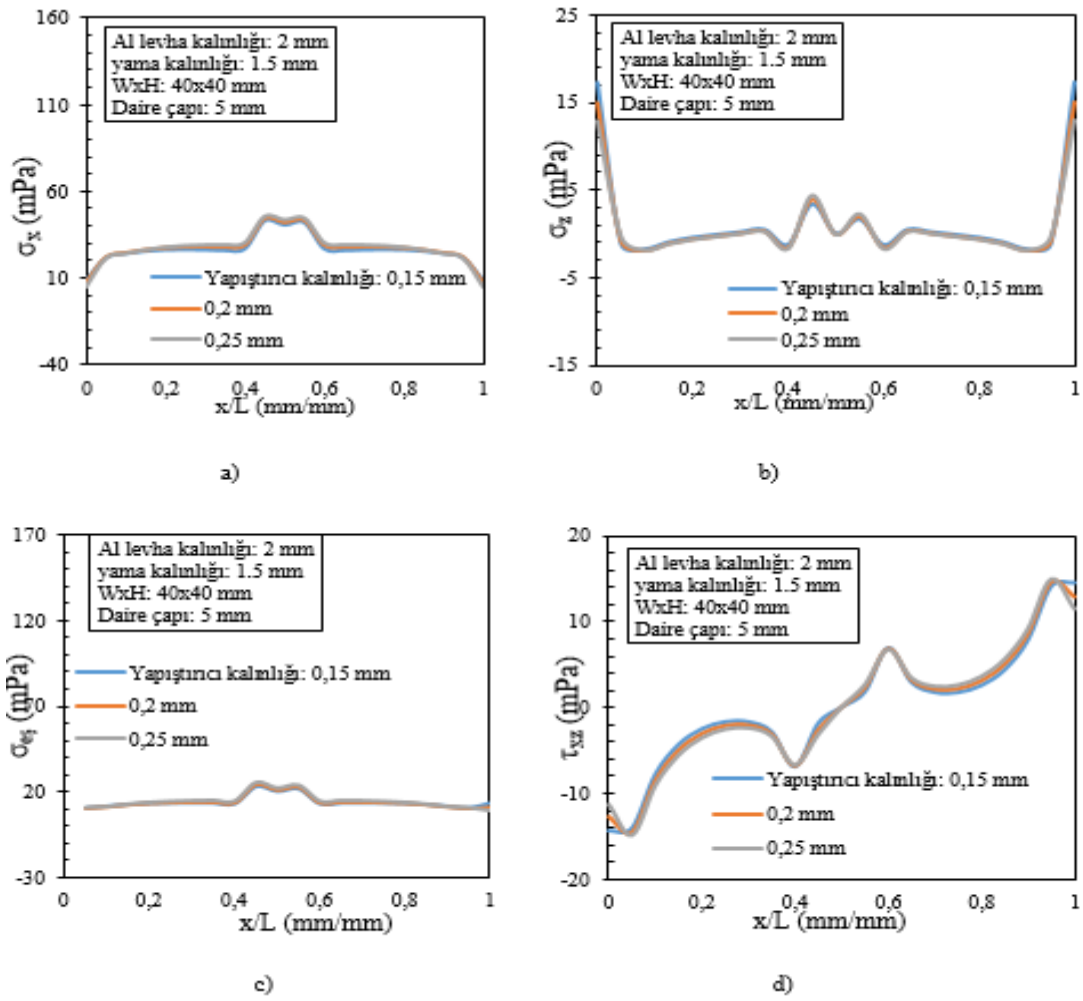
Şekil 5.15. Çift tarafı yamalı, daire çapı 5 mm, wxh=40x40 mm boyutlarında ve farklı al levha kalınlığındaki numunelerin CD yörüngesinde meydana gelen von-mises ve gerilme dağılım grafikleri

Çift tarafı yamalı al levha kalınlığı 2 mm, delik çapı 5 mm, yapıştırıcı kalınlığı 0.2 mm ve yama boyutları WxH 40x40 mm ve yama kalınlığı değişen numunelerin CD yörüngesinde meydana gelen Von-Mises ve normal gerilme dağılım grafikleri Şekil 5.16'da verilmiştir. σ_x gerilmeleri maksimum gerilme değerine yama kalınlığı 1 mm değerine sahip olan numunede başlangıçtan 0.45 ve 0.55 mm uzaklıkta ulaşmış yama kalınlığı değeri arttıkça gerilme değerleri azalmıştır. Minimum gerilme değerlerine ise uç noktalarda ulaşmışlardır. σ_z gerilmeleri de uç noktalarda yama kalınlığı değeri arttıkça gerilme değerleri artmıştır ve maksimum gerilmeler de uç noktalarda artmıştır. Eşdeğer gerilmeler karakteristik olarak σ_x gerilmelerine benzer gerilme dağılım grafiği göstermiştir. τ_{xz} gerilmeleri incelenirse uç noktalarda maksimum ve minimum gerilme değerlerini almışlar ve yama kalınlığı değeri arttıkça maksimum gerilme değeri de azalmıştır.



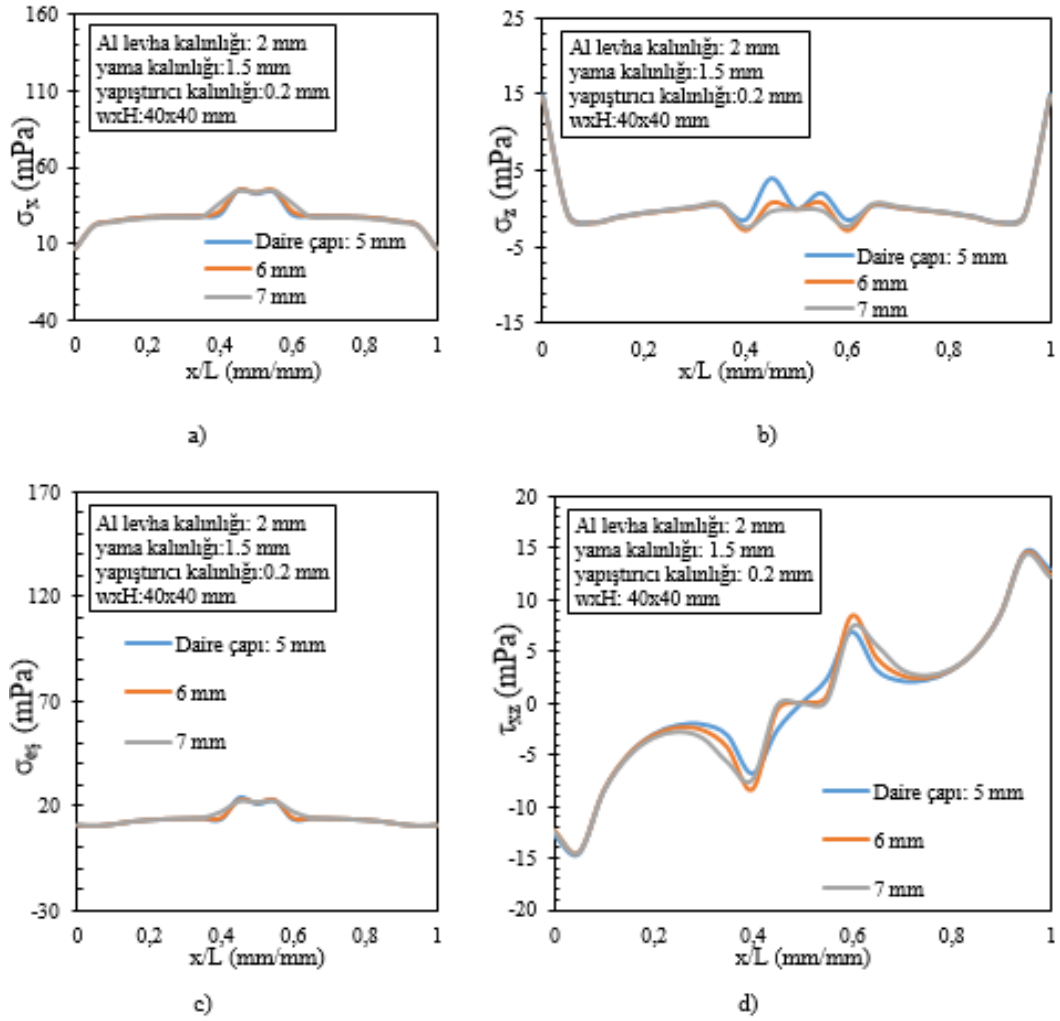
Şekil 5.16. Çift tarafı yamalı, daire çapı 5 mm, wxh=40x40 mm boyutlarında ve farklı yama kalınlığındaki numunelerin CD yörüngesinde meydana gelen von-mises ve gerilme dağılım grafikleri

Çift tarafı yamalı al levha kalınlığı 2 mm, yama kalınlığı 1.5 mm, delik çapı 5 mm, WxH 40x40 mm ve yapıştırıcı kalınlığı değişen numunelerin CD yörüngesinde meydana gelen Von-Mises ve normal gerilme dağılım grafikleri Şekil 5.17’de verilmiştir. σ_x gerilmeleri maksimum gerilme değerine yapıştırıcı kalınlığı 0.25 mm değerine sahip olan numunede ulaşmış yapıştırıcı kalınlık değeri arttıkça gerilme değerleri artmıştır. Minimum gerilme değerlerine ise uç noktalarda ulaşmışlardır. σ_z gerilmeleri de uç noktalarda yapıştırıcı kalınlık değeri arttıkça gerilme değerleri azalmıştır. Maksimum gerilmeler de 0.15 mm değeriyle uç noktalarda artmıştır. Eşdeğer gerilmeler karakteristik olarak σ_x gerilmelerine benzer gerilme dağılım grafiği göstermiştir. τ_{xz} gerilmeleri incelenirse uç noktalarda maksimum ve minimum gerilme değerlerini almışlar ve yapıştırıcı kalınlık değeri arttıkça maksimum gerilme değeri de azalmıştır.



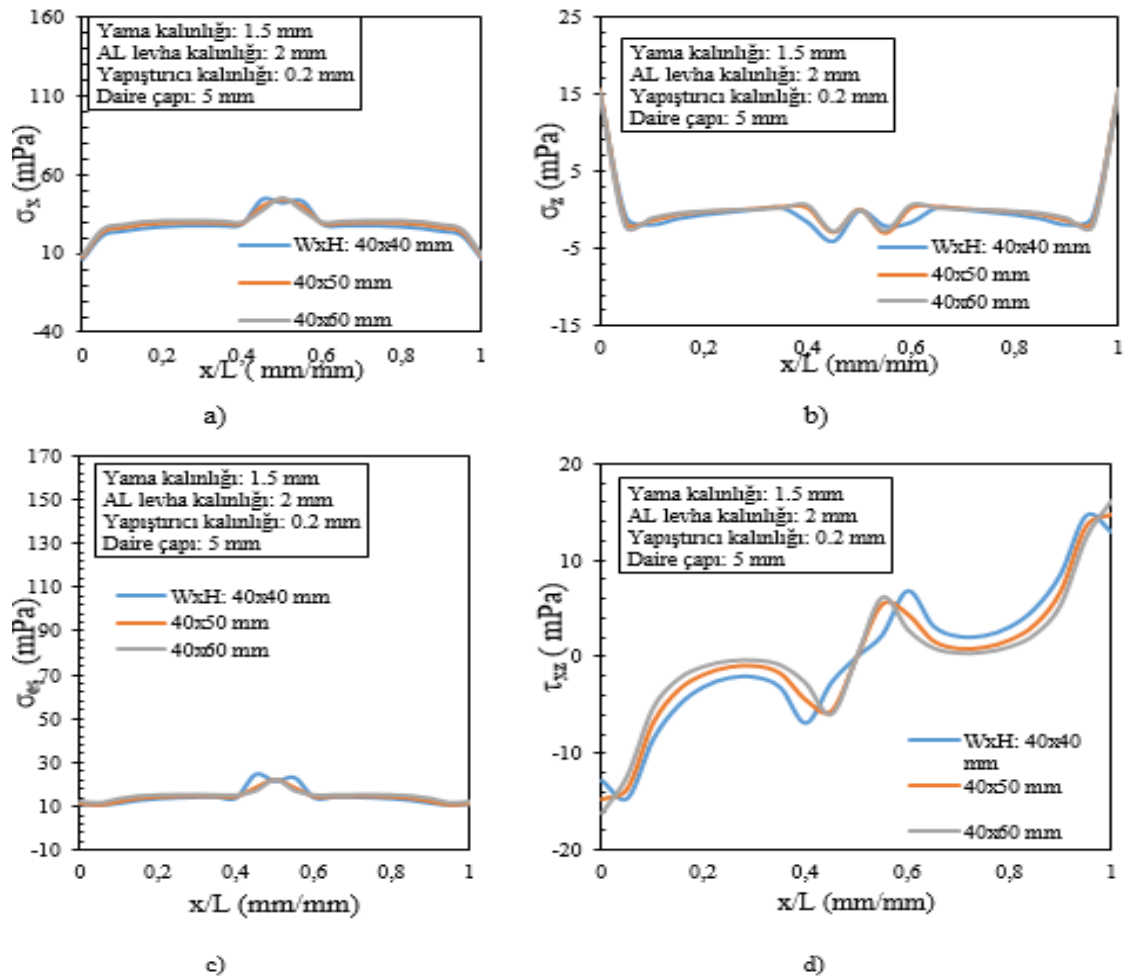
Şekil 5.17. Çift tarafı yamalı, daire çapı 5 mm, wxh 40x40 mm boyutlarında ve farklı yapıştırıcı kalınlığındaki numunelerin CD yörüngesinde meydana gelen von-mises ve gerilme dağılım grafikleri

Çift tarafı yamalı; yama kalınlığı 1.5 mm, Alüminyum levha kalınlığı 2 mm, yapıştırıcı kalınlığı 0.2 mm, WxH 40x40 mm olan ve farklı daire çap değerlerindeki numunelerin CD yörüngesinde meydana gelen Von-Mises ve normal gerilme dağılım grafikleri Şekil 5.18’de verilmiştir. σ_x gerilmeleri maksimum gerilme değerine delik çapı 5 mm değerine sahip olan numunede başlangıçtan 0.45 ve 0.55mm değerinde ulaşmış çap değeri arttıkça gerilme değerleri azalmıştır. Minimum gerilme değerlerine ise uç noktalarda ulaşmışlardır. σ_z gerilmeleri de uç noktalarda çap değeri arttıkça gerilme değerleri azalarak maksimum gerilmeler de uç noktalarda artmıştır. Eşdeğer gerilmeler karakteristik olarak σ_x gerilmelerine benzer gerilme dağılım grafiği göstermiştir. τ_{xz} gerilmeleri incelenirse uç noktalarda maksimum gerilme değerlerini almışlar ve çap değeri arttıkça maksimum gerilme değeri de azalmıştır.



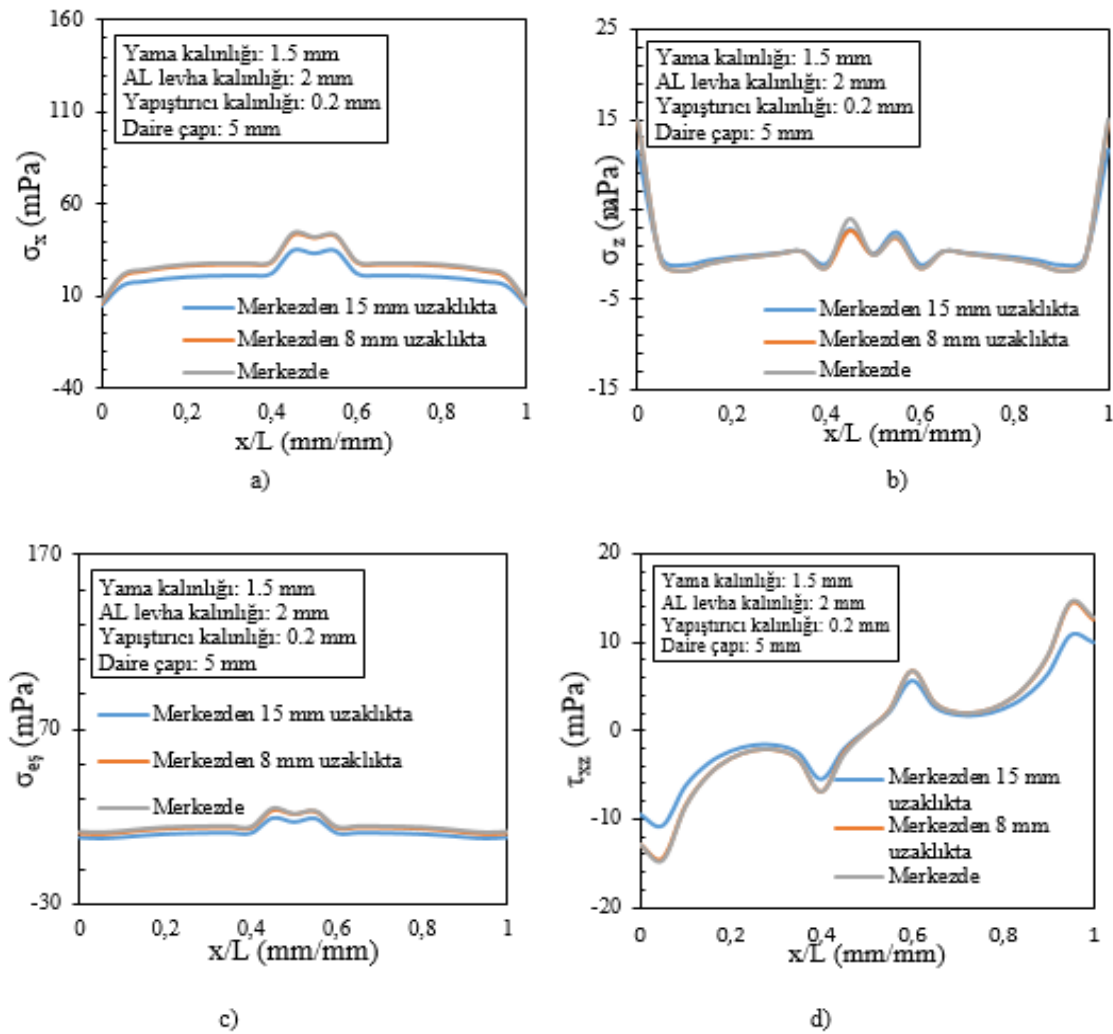
Şekil 5.18. Çift tarafı yamalı, dairesel delikli wxh=40x40 mm boyutlarında ve farklı daire çap değerindeki numunelerin CD yörüngesinde meydana gelen von-mises ve gerilme dağılım grafikleri

Çift tarafı yamalı al levha kalınlığı 2 mm, yama kalınlığı 1.5 mm, delik çapı 5 mm, yapıştırıcı kalınlığı 0.2 mm ve yama boyutları $W \times H$ değişen numunelerin CD yörüngesinde meydana gelen Von-Mises ve normal gerilme dağılım grafikleri Şekil 5.19'da verilmiştir. σ_x gerilmeleri maksimum gerilme değerine $W \times H$ 40x60 mm değerine sahip olan numunede başlangıçtan 0.45 ve 0.55 mm değerlerinde ulaşmış, yama boyutları w değeri arttıkça gerilme değerleri artmıştır. Minimum gerilme değerlerine ise uç noktalarda ulaşmışlardır. σ_z gerilmeleri de uç noktalarda yama boyutları w değeri arttıkça gerilme değerleri artmıştır ve maksimum gerilmeler de uç noktalarda artmıştır. Eşdeğer gerilmeler karakteristik olarak σ_x gerilmelerine benzer gerilme dağılım grafiği göstermiştir. τ_{xz} gerilmeleri incelenirse uç noktalarda maksimum ve minimum gerilme değerlerini almışlar ve W değeri arttıkça maksimum gerilme değeri de artmıştır.



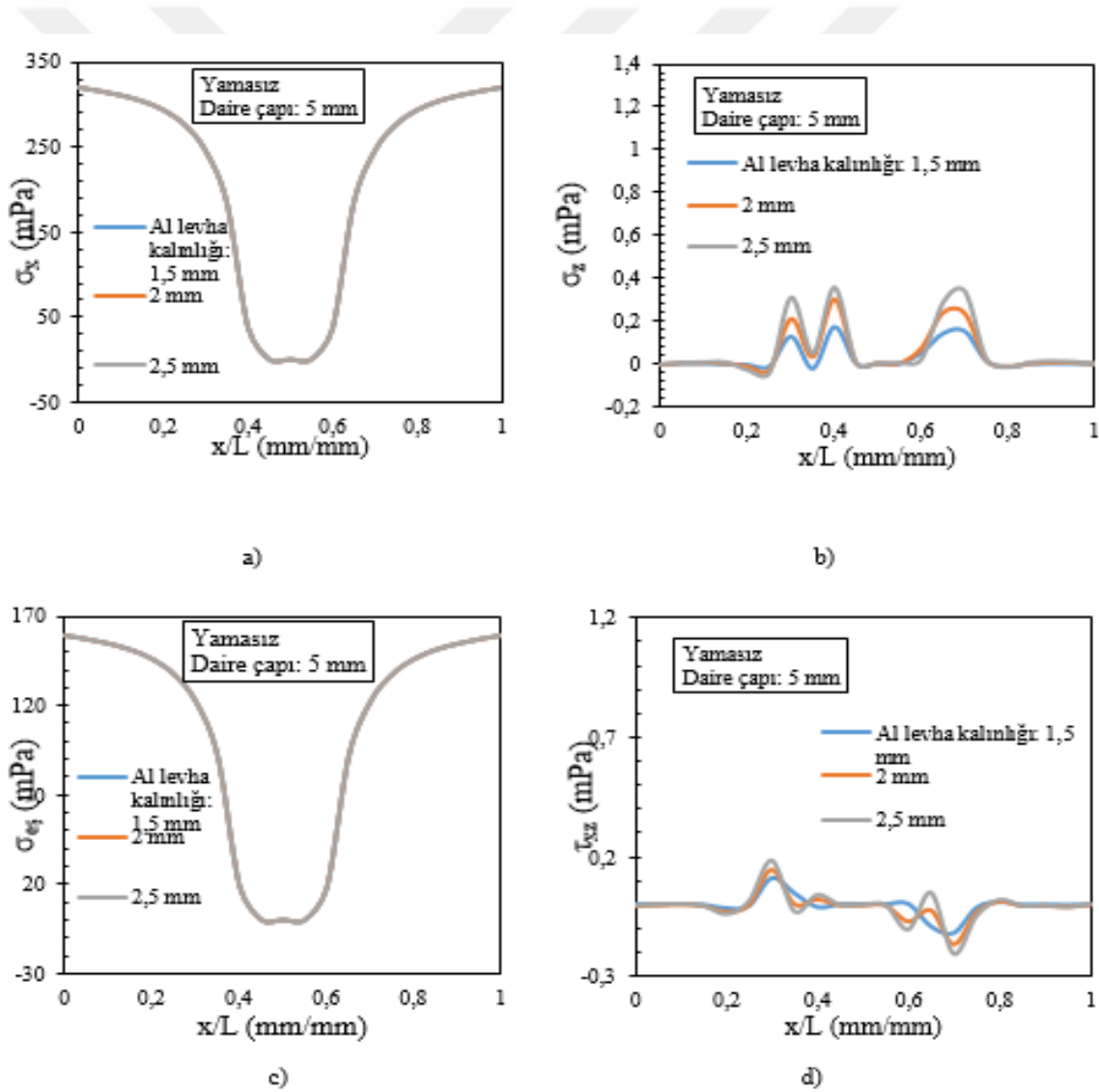
Şekil 5.19. Çift tarafı yamalı, daire çapı 5 mm ve wxh yama boyutları değişen numunelerin CD yörüngesinde meydana gelen von-mises ve gerilme dağılım grafikleri

Çift tarafı yamalı al levha kalınlığı 2mm, yapıştırıcı kalınlığı 0.2 mm, yama kalınlığı 1.5 mm, delik çapı 5 mm, WxH 40x40 mm ve delik merkezleri değişen numunelerin CD yörüngesinde meydana gelen Von-Mises ve normal gerilme dağılım grafikleri Şekil 5.20’de verilmiştir. σ_x gerilmeleri maksimum gerilme değerine alüminyum levhanın tam orta merkezindeki delikteki numunede başlangıçtan 0.45 ve 0.55 mm değerlerinde ulaşmış merkezden uzaklaştıkça gerilme değerleri azalmıştır. Minimum gerilme değerlerine ise uç noktalarda ulaşmışlardır. σ_z gerilmeleri de uç noktalarda merkeze yaklaştıkça gerilme değerleri artarak maksimum gerilmeler de uç noktalarda artmıştır. Eşdeğer gerilmeler karakteristik olarak σ_x gerilmelerine benzer gerilme dağılım grafiği göstermiştir. τ_{xz} gerilmeleri incelenirse uç noktalarda maksimum ve minimum gerilme değerlerini almışlar merkeze yaklaştıkça maksimum gerilme değeri de artmıştır.



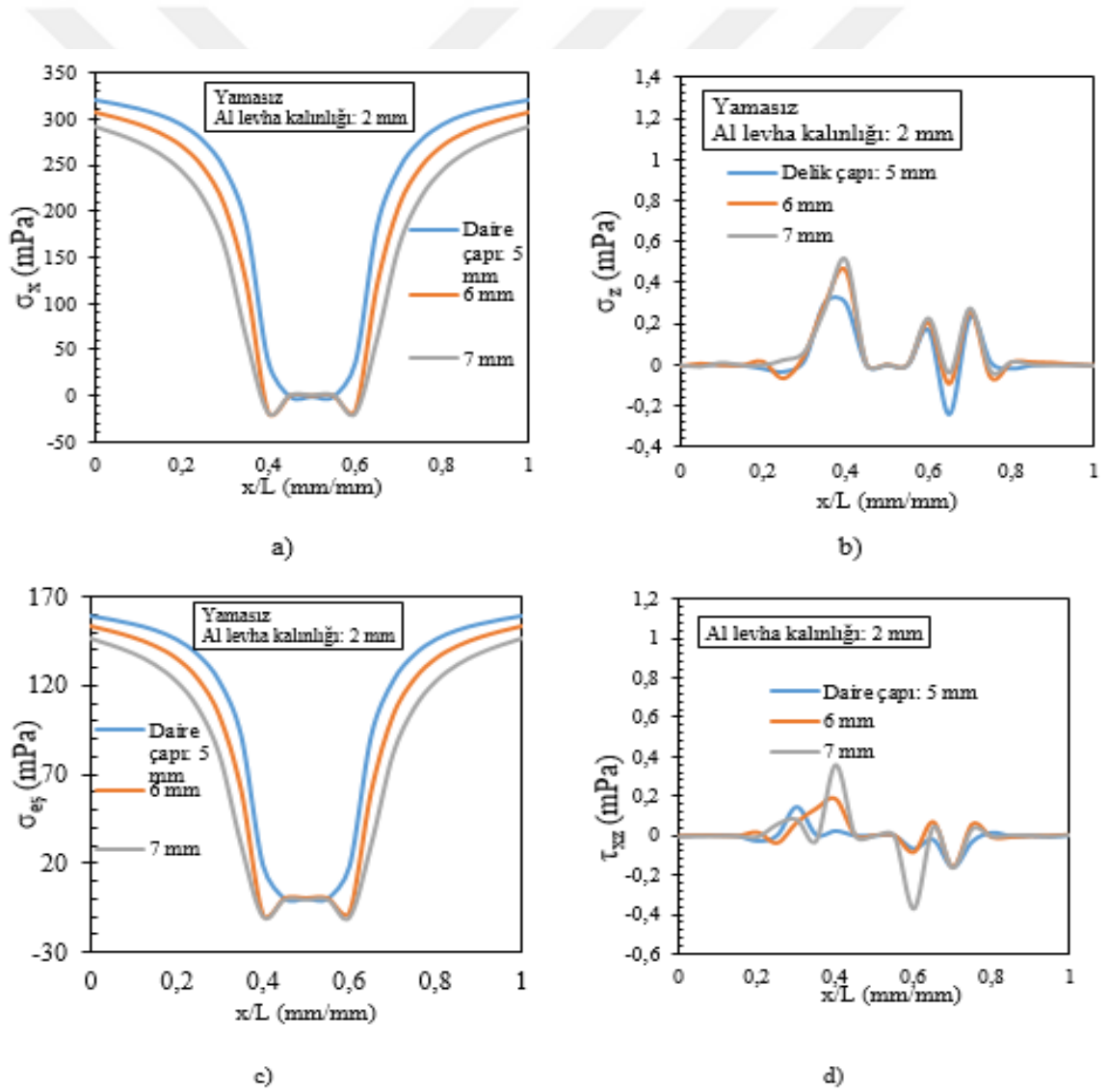
Şekil 5.20. Çift tarafı yamalı, daire çapı 5 mm, wxh=40x40 mm boyutlarında ve farklı delik merkezlerindeki numunelerin CD yörüngesinde meydana gelen von-mises ve gerilme dağılım grafikleri

Yamasız, delik çapı 5 mm ve farklı al levha kalınlığındaki numunelerin AB yörüngesinde meydana gelen Von-Mises ve normal gerilme dağılım grafikleri Şekil 5.21’de verilmiştir. σ_x gerilmeleri maksimum gerilme değerine al levha kalınlığı 1.5-2-2.5 mm değerlerine sahip olan üç numunede ulaşmıştır. Minimum gerilme değerlerine ise orta noktada sabit kalan sıfır değerlerinde ulaşmışlardır. σ_z gerilmeleri de başlangıçtan 0.3-0.4-0.7 mm uzaklıklardaki noktalarda maksimum değerlere ulaşmışlardır. Alüminyum levha kalınlık değeri arttıkça gerilme değerleri artmıştır. Eşdeğer gerilmeler karakteristik olarak σ_x gerilmelerine benzer gerilme dağılım grafiği göstermiştir. τ_{xz} gerilmeleri incelenirse başlangıçtan 0.3-0.7 mm uzaklıkta noktalarda maksimum ve minimum gerilme değerlerini almışlar ve al levha kalınlık değeri arttıkça maksimum gerilme değeri de artmıştır.



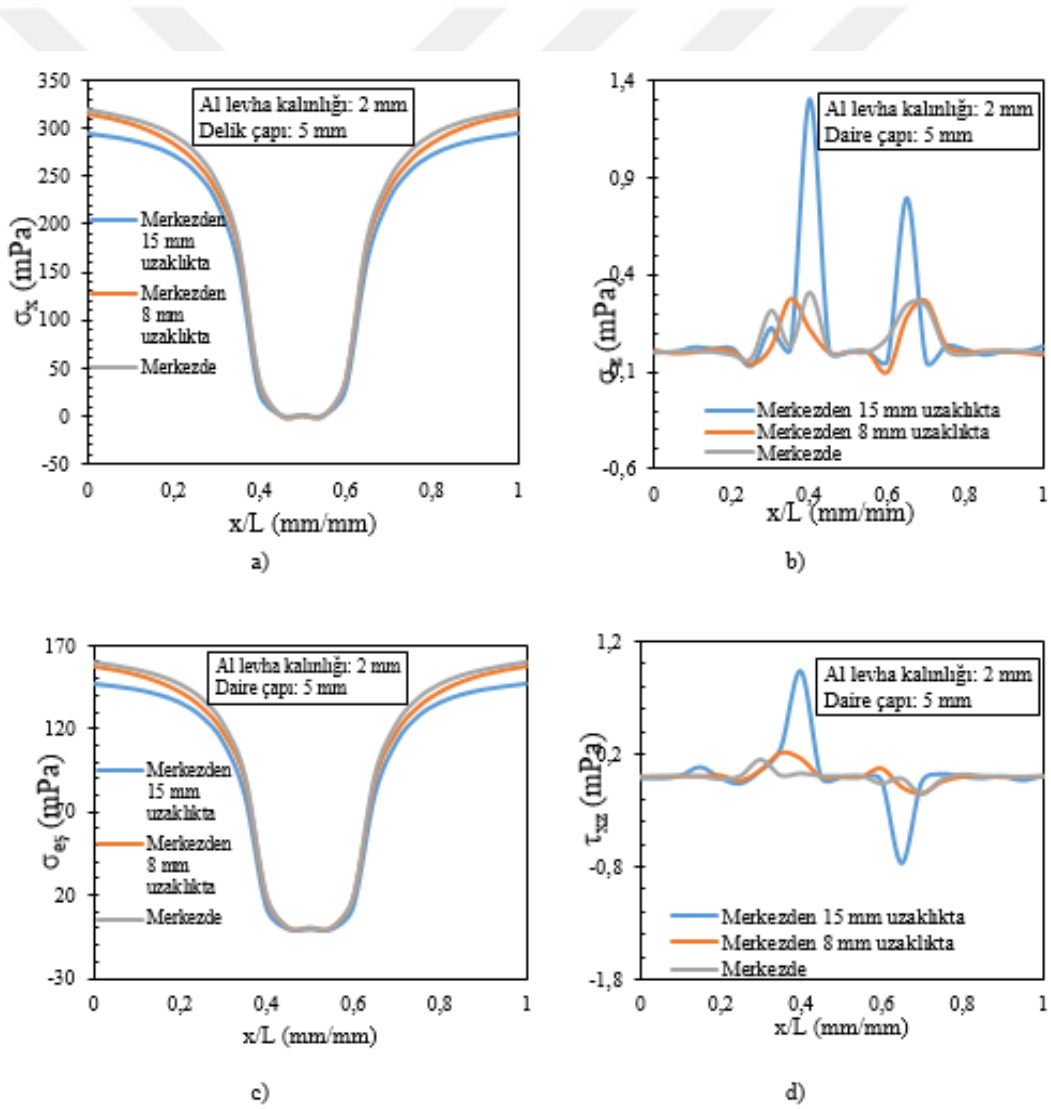
Şekil 5.21. Yamasız, daire çapı 5 mm ve farklı al levha kalınlığındaki numunelerin AB yörüngesinde meydana gelen von-mises ve gerilme dağılım grafikleri

Yamasız, al levha kalınlığı 2 mm ve farklı delik çaplarındaki numunelerin AB yörüngesinde meydana gelen Von-Mises ve normal gerilme dağılım grafikleri Şekil 5.22’de verilmiştir. σ_x gerilmeleri maksimum gerilme değerine delik çapı 5 mm değerlerine sahip olan numunede uç noktalarda ulaşmıştır. Minimum gerilme değerlerine ise orta noktada sabit kalan sıfır değerlerinde ulaşmışlardır. σ_z gerilmeleri de başlangıçtan 0.3-0.4-0.7 mm uzaklıklardaki noktalarda maksimum değerlere ulaşmışlardır. Delik çapı arttıkça gerilme değerleri artmıştır. Eşdeğer gerilmeler karakteristik olarak σ_x gerilmelerine benzer gerilme dağılım grafiği göstermiştir. τ_{xz} gerilmeleri incelenirse başlangıçtan 0.3-0.7 mm uzaklıkta noktalarda maksimum ve minimum gerilme değerlerini almışlar ve delik çapı arttıkça maksimum gerilme değeri de artmıştır.



Şekil 5.22. Yamasız, al levha kalınlığı 2 mm ve farklı daire çapındaki numunelerin AB yörüngesinde meydana gelen von-mises ve gerilme dağılım grafikleri

Yamasız, al levha kalınlığı 2 mm, delik çapı 5 mm ve delik merkezleri değişen numunelerin AB yörüngesinde meydana gelen Von-Mises ve normal gerilme dağılım grafikleri Şekil 5.23'te verilmiştir. σ_x gerilmeleri maksimum gerilme değerine uç noktalarda ulaşmış merkezden uzaklaştıkça gerilme değerleri azalmıştır. Minimum gerilme değerlerine ise başlangıçtan 0.45-0.5-0.55 noktalarda sıfır değerini alarak ulaşmışlardır. σ_z gerilmeleri başlangıçtan 0.4 mm uzaklıkta maksimum değerini almıştır. Merkezden uzaklaştıkça gerilme değerleri artmıştır. Eşdeğer gerilmeler karakteristik olarak σ_x gerilmelerine benzer gerilme dağılım grafiği göstermiştir. τ_{xz} gerilmeleri incelenirse başlangıçtan 0.4 mm uzaklıkta maksimum ve değerlerini almıştır ve merkezden uzaklaştıkça maksimum gerilme değeri de artmıştır.



Şekil 5.23. Yamasız, al levha kalınlığı 2 mm olan ve farklı delik merkezlerindeki konumuna göre numunelerin AB yörüngesinde meydana gelen von-mises ve gerilme dağılım grafikleri

Kompozit yamayla takviye edilmiş çekmeye maruz ve içinde değişken merkezli delik bulunan plakanın gerilme sayısal olarak incelenmiştir ve bu incelemeye göre aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Bindirme uzunluğu azaldıkça yapıştırılan alan azaldığı için taşınan yük de azalmıştır.
2. Yama kalınlığıyla taşınan yük ters orantılı olarak değişmiştir. Yama kalınlığı arttıkça malzememizin şekil değiştirme özelliği azalmakta, dolayısıyla gerilme artmakta ve taşınan yük azalmaktadır.
3. Yapıştırma ile yama işleminde yapışma alanı arttıkça mukavemet arttığı için yama boyutu büyük tutulmalıdır.
4. Dairesel delikli levhada 40 mm, 50 mm, 60mm uzunluklara, 40 mm genişliğe sahip yamalı numunelerde yama uzunluğu arttıkça yapıştırılan alan arttığı için bağlantı mukavemeti artmıştır.
5. Yamasız ve farklı yama boyutlarındaki çift bindirme bağlantıları karşılaştırıldığında yamasız numunelerin daha fazla yük taşıdığı görülmüştür.
6. Alüminyum levhanın kalınlığındaki artışa bağlı olarak taşınan yükünde arttığı görülmüştür.

KAYNAKLAR

Adams RD, Wake WC (1984) Structural adhesive joint in engineering. Elsevier Science Publisher, London, p.1-57

Akpınar S (2008) Kaymaya maruz yapıştırıcıların mekanik özelliklerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, s. 2-30

Akpınar S, Aydın MD (2012) Yapıştırıcıyla birleştirilmiş T-bağlantı tipinin iki ve üç boyutlu gerilme analizi. EÜFBED Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 5(2): 229-241

Arslan N, Turgut A (1996) Elasto-plastic finite element analysis of isotropic plates with U-notches. The 1996 Asme International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Atlanta, Georgia 92: 45-58

Avila A, Bueno O (2004) An experimental and numerical study on adhesive joints for composites. Composite Structures 64: 531–537

Aydın MD (2003) Yapıştırıcı ile birleştirilmiş tek tesirli bindirme bağlantısının mekanik özelliklerinin deneysel ve teorik incelenmesi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, s. 1-43

Bowditch MR, Clarke JD, Stannard KJ (1986) Adhesion, 11, p.1

Choi JH, Kim TH, Kweon JH (2008) An experimental study on the effect of overlap length on the failure of composite-to-aluminum singlelap bonded joints. Journal of Reinforced Plastics and Composites 27: 1071-1081

Crocombe B, Erpolat S, Ashcroft A, Abdel-Wahab M (2004) A study of adhesively bonded joints subjected to constant and variable amplitude fatigue. International Journal of Fatigue 26: 1189–1196

Dorn L, Salem N (1993) Plastics Adhesive joints - a proposal for specifying dimensions. Kunststoffe-German Plastics 83(9): 695-698

Higuchi I, Sawa T, Okuno H, Kato S (2003) Three-dimensional finite element analysis of stress response in adhesive but joints subjected to impact bending moments. *The Journal of Adhesion* 79: 1017-1039

Jeandrou JP (1991) Analysis and design data for adhesively bonded joints. *Int. J. Adhesion and Adhesives* 11(2): 71-79

Kaman MO, Erkek H (2013) Kompozit yama ile tamir edilmiş ince levhalarda yorulma çatlak ilerlemesi üzerinde yapıştırma parametrelerinin etkisi. XVIII. Ulusal Mekanik Kongresi, Celal Bayar Üniversitesi, Manisa, s. 325-336

Kaman MO, Turan K (2010) Tek tesirli yapıştırma bağlantılarında ilerlemeli hasar analizi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 16(3): 315-323

Karakaya Ş, Soykasap Ö (2008) Yapıştırıcı ile birleştirilmiş tek bindirmeli dokumalı kompozit yapıların eğilme hasarı. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi* 2: 43-52

Karaman Y (2017) Kompozit yama ile yapıştırılarak yamanmış eliptik delikli alüminyum plakaların eğme davranışına etkisinin sayısal incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Batman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman s. 23

Kayacan R (1988) Yapıştırma ve metal bağlantılar için yapıştırıcı kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, s. 3-47

Kumar S, Pandey PC (2010) Behavior of bi-adhesive joints. *Journal of Adhesion Science and Technology* 24: 1251–1281

Özenç M (2007) Yapıştırma bağlantılarının darbe yükleri altındaki davranışlarının incelenmesi. Yüksek lisans tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli, s. 36-55

Razmi A (2011) Kompozit parçaların çeşitli yapıştırmalı bağlantı tasarımlarının karşılaştırılması. Yüksek lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Konstrüksiyon ve İmalat Anabilim Dalı, İzmir, s. 8-70

Sayman O, Aksoy S (2001) Elastic-plastic stress analysis of simply supported and clamped aluminum metal-matrix laminated plates with a hole, *Composite Structures* 53: 355-64

Singh AK, Pandey PC, Shankaragouda H (1999) Non-linear analysis of adhesively bonded lap joints considering visco-plasticity in adhesives. *Computers and Structures* 70: 387-413

Solmaz MY (2008) Yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantıların mekanik tasarım ve analizi. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, s.13-25

Solmaz MY, Taş B (2018) Yapıştırıcıyla birleştirilmiş konik geçme bağlantıların burulma momenti etkisindeki davranışları. *Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi* 30(2): 73-86

Sülü İY (2018) Çekme yükü altında gömülü tek tesirli yama ile yapıştırılarak birleştirilmiş kompozit parçaların gerilme analizi. *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi* 7(2): 284-295

Şahin A (2011) Kompozit metal köpük malzemelerin tek bindirmeli yapıştırma bağlantılarının kesme mukavemetinin incelenmesi. Yüksek lisans tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Edirne, s. 62-109

Tanaka J, Sawa T, Liu J, Nakano K (2000) A two dimensional stress analysis of single lap adhesive joints of dissimilar adherents subjected to tensile loads. *J. of Adhesion Science and Technology* 14: 43-66

Turgut A, Adin H, İşcan B (2009) Yapıştırıcı malzeme ile birleştirilmiş Z tipi bağlantılarda bindirme mesafesinin etkisi. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük, Türkiye, s.10-17

Wooley GR, Carver DR (1971) Stress concentration factors for bonded lap joints. *J.Aircraft* 10: 817-820

<http://www.turkchem.net/kompozit-malzemeler-ve-ozellikleri.html> (erişim tarihi: 09.09.2020)

ÖZGEÇMİŞ

1994 yılında Kayseri’de doğdu. 2012 yılında Kayseri Mustafa Eraslan Lisesi’nden mezun oldu. Lise eğitimini bitirdikten sonra, 2012 yılında Bingöl Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünü kazanarak buradan da 2016 yılında fakülte ve bölüm birincisi olarak mezun oldu. 2018 yılında aynı üniversitede yüksek lisans sınavını kazanarak yüksek lisansa başladı. Kendisi özel bir doğalgaz firmasında, Makine Mühendisi olarak çalışmaktadır.