

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

**BAĞLAMA ELEMANLARININ BİLGİSAYAR
DESTEKLİ İNCELENMESİ VE KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak.Müh. Sefa YILDIZ

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

**Enstitü Bilim Dalı : MAKİNE TASARIM VE
İMALAT**

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Murat ÖZSOY

Ağustos 2010

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BAĞLAMA ELEMANLARININ BİLGİSAYAR
DESTEKLİ İNCELENMESİ VE
KARŞILAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak.Müh. Sefa YILDIZ

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : MAKİNE TASARIM ve
İMALAT

Bu tez 03 / 08 /2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

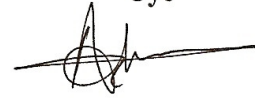
Yrd. Doç. Dr. Murat ÖZSOY
Jüri Başkanı



Prof. Dr. Abdullatif MİMAROĞLU
Üye



Doç. Dr. Akın AKINCI
Üye



TEŐEKKÖR

Yüksek lisans öğrenimim sırasında bana her konuda yol gösteren tüm hocalarıma, özellikle danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Murat ÖZSOY' a, desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen babama, anneme, aileme, arkadaşlarıma, tezin hazırlanma safhasındaki manevi katkılarından dolayı Mehtap ÇÖLGEÇEN, Milli Emlak Dairesi Başkanlığı Teknik Büro Koordinatörü Nesrin KARAPÖR, Elektrik Mühendisi Cantürk ARAS ve tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkürü borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ÖZET.....	xiii
SUMMARY.....	xiv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
1.1. Konu İle İlgili Çalışmalar	2
BÖLÜM 2.	
YAPIŞTIRMA BAĞLANTILAR.....	6
2.1. Yapıştırıcılar ve Çeşitleri.....	7
2.1.1. Akriklikler.....	7
2.1.2. Anaerobikler.....	7
2.1.3. Siyanoakrilatlar.....	8
2.1.4. Fenolikler.....	8
2.1.5. Poliüretanlar.....	9
2.1.6. Epoksiler.....	10
2.1.7. Bazı yapıştırıcıların mukavemet değerleri.....	10
2.1.8. Yapıştırıcıların kullanım yerleri.....	13
2.2. Birleştirme Teknikleri.....	16
2.2.1. Mekanik birleştirme.....	17
2.2.2. Termal birleştirme.....	18

2.2.3. Yapıştırıcı ile birleştirme.....	18
2.3. Yapıştırırmalı Birleştirme Teknolojisi.....	19
2.3.1. Yapıştırma ek yeri.....	20
2.3.1.1. Adhezyon.....	21
2.3.1.2. Kohezyon.....	21
2.3.1.3. Islanabilirlik.....	22
2.3.1.4. Yapıştırma ek yerindeki kopmanın değerlendirilmesi.....	22
2.3.1.5. Yapıştırıcı ek yeri kopmalarının sebep ve çözümleri.....	23
2.3.2. Yapıştırmada bağlantı tasarımı.....	24
2.3.2.1. Bağlantı dizaynı.....	25
2.3.2.2. Yapıştırıcıba bağlantı tasarım esasları.....	33
2.3.2.3. Bağlantı tasarım kriterleri.....	34
2.4. Yapıştırmada Yüzey Ön İşlemler.....	40
2.4.1. Yüzeylerin yağdan arındırılması.....	42
2.4.2. Mekanik ön işlem ve aşındırma.....	43
2.4.3. Kimyasal ön işlem.....	43
2.4.3.1. Alüminyum ve alüminyum alaşımları.....	44
2.4.4. Primer.....	44
BÖLÜM 3.	
SONLU ELEMENLAR METODU.....	46
3.1. Genel Teorik Bilgi.....	46
3.2. Metot.....	48
3.2.1. Denge problemlerinin çözümü.....	49
3.2.2. Yöntemde dikkat edilmesi gereken hususlar.....	49
BÖLÜM 4.	
PROBLEMİN TANIMI VE SONLU ELEMENLAR MODELİ.....	50
4.1. Yapıştırıcıba Bağlantı Modeli.....	50
4.1.1. Yapıştırıcıba bağlantı modelinde kullanılan malzemeler ve özellikleri.....	52

4.1.1.1. Araldite 420 A/B.....	53
4.1.1.2. Loctite 21425.....	53
4.1.1.3. Alüminyum alaşımı AA 6082-T6.....	54
4.1.2. Yapıştırıcılı modelin tanımlanması ve sınır şartları.....	55
4.2. Cıvatalı Bağlantı Modeli.....	57
4.2.1. Cıvatalı modelin tanımlanması ve sınır şartları.....	59
BÖLÜM 5.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	61
KAYNAKLAR.....	79
ÖZGEÇMİŞ.....	81

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ASTM	: American Society for Testing Materials
BS	: British Standart
R_a	: Yüzey pürüzlülüğü
M_o	: Eğilme momenti
P	: Bindirme bağlantısına uygulanan kuvvet
t, e_1 , e_2	: Yapıştırılan parça kalınlıkları
y	: Tek bindirme bağlantısı genişliği
l, x	: Bindirme (yapışma) uzunluğu
k	: Eğilme moment faktörü
e_3	: Yapıştırıcı kalınlığı
ν	: Poisson oranı
τ	: Kayma gerilmesi
K	: Katılık matrisi
x'	: Yer değişim vektörü
u^e	: Yer değiştirme vektörü
f^e	: Uygulanan yük vektörü
Q^e	: Cisme ait yük vektörü
S	: Eleman alanı
B^e	: Şekil fonksiyonlarının türevlerini içeren matris
D^e	: Sabitler matrisi
ε'	: Birim deformasyon vektörü
ϕ	: Bilinmeyen gerilme fonksiyonu değerleri
p	: Sabit değerler sütun vektörü
σ	: Gerilme vektörü
a	: Plakaların boyu

b	: Plakaların genişliği
R	: Dairesel yapıştırıcı tabakası çapı
c	: Yapıştırıcı tabakası merkezinin plaka kenarlarına uzaklığı
d	: Cıvata deliklerinin merkezlerinin plaka kenarlarına uzaklığı
T	: Cıvata sıkma torku
F_i	: Cıvata ön gerilme kuvveti
D	: Cıvata anma çapı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Cıvataların çözülmeye karşı emniyete alınmaları.....	13
Şekil 2.2.	Otomobilde yapıştırıcıların kullanıldığı alanlar.....	14
Şekil 2.3.	Peugeot yarış arabasının tahrik milinde yapıştırıcı kullanımı....	14
Şekil 2.4.	Uçak yapılarındaki sandviç panellerde yapıştırıcı kullanımı.....	15
Şekil 2.5.	Uçaklarda yapıştırıcının kullanıldığı bölgeler.....	15
Şekil 2.6.	Yukarıdan aşağıya sırasıyla kaynaklı, perçinli ve yapıştırırmalı bağlantıların gerilme dağılımları.....	16
Şekil 2.7.	Perçinli ve yapıştırıcıli bağlantıların kopma dayanımlarının karşılaştırılması.....	17
Şekil 2.8.	Sıkı geçme bağlantılarında yapıştırmanın bağlantı mukavemetine etkisi.....	19
Şekil 2.9.	Loctite 638 anaerobik yapıştırıcıda sıcaklık ile mukavemetin değişimi.....	20
Şekil 2.10.	Yapıştırma ek yerindeki kuvvetler.....	21
Şekil 2.11.	Islanabilirlik testi a)Yapıştırma yüzey hazırlığı yetersiz b)Yapıştırma yüzey hazırlığı yeterli.....	22
Şekil 2.12.	Bağlantı tasarım esasları.....	25
Şekil 2.13.	Tek tesirli bir yapıştırma bağlantısında gerilme dağılımı.....	26
Şekil 2.14.	Yaygın olarak kullanılan bağlantı şekilleri.....	27
Şekil 2.15.	Tek tesirli bindirme bağlantısının şekil değiştirmeden önce ve şekil değiştirdikten sonraki görünümü.....	28
Şekil 2.16.	Yüklenmiş haldeki tek tesirli bindirme bağlantısının deforme olmuş hali ve kayma gerilmesi dağılımı; (a) Rijit malzeme, (b) Elastik malzeme.....	29
Şekil 2.17.	Yüklenmiş haldeki çift tesirli bindirme bağlantısında oluşan gerilmeler.....	30

Şekil 2.18.	Alüminyum-alüminyum bağlantılarda yapıştırıcı kesme gerilimi dağılımları.....	32
Şekil 2.19.	En yaygın yük tipleri ve yapışma çizgisindeki gerilme dağılımları.....	35
Şekil 2.20.	Soyulma yükleri ve mümkün olan tasarım çözümleri.....	36
Şekil 2.21.	Eksantrik kuvvetlerden kaynaklanan problemlerin muhtelif çözümleri.....	37
Şekil 2.22.	Kopma yükünün ek yeri genişliği artması ile değişimi.....	38
Şekil 2.23.	Bindirme uzunluğunun artması ile kopma yükündeki değişim...	39
Şekil 2.24.	Yapıştırılacak yüzeylerdeki kirlerin adhezyonu düşürmesi.....	40
Şekil 4.1.	Çift bindirmeli yapıştırıcı bağlantı.....	51
Şekil 4.2.	Çift bindirmeli yapıştırıcı bağlantıda dairesel yapıştırıcı geometrisi ve yerleşimi.....	51
Şekil 4.3.	1 mm plaka için AA 6082-T6'nın gerilme-şekil değiştirme eğrisi.....	55
Şekil 4.4.	Modelin parçalara bölünmüş hali.....	56
Şekil 4.5.	Modele uygulanan sınır şartları.....	56
Şekil 4.6.	Cıvatalı bağlantı modeli.....	58
Şekil 4.7.	M8 cıvata ile oluşturulmuş model için sınır şartları.....	60
Şekil 5.1.	A tipi yapıştırıcı için 8 mm yapıştırıcı tabakası çapı ve 1 mm yapıştırıcı kalınlığında yapıştırıcı tabaka üzerinde oluşan kesme gerilmeleri	61
Şekil 5.2.	A tipi yapıştırıcı için 8 mm yapıştırıcı tabakası çapı ve 1 mm yapıştırıcı kalınlığında yapıştırıcı tabaka üzerinde oluşan maksimum ve minimum kesme gerilmelerinin gösterimi.....	62
Şekil 5.3.	A tipi yapıştırıcı için 8 mm yapıştırıcı tabakası çapı ve 1 mm yapıştırıcı kalınlığında yapıştırıcı tabaka üzerinde oluşan kesme gerilim dağılımları.....	62
Şekil 5.4.	A tipi yapıştırıcı için 8 mm yapıştırıcı tabakası çapı ve 1 mm yapıştırıcı kalınlığı kullanılarak oluşturulan modelde, plakalar üzerinde oluşan kesme gerilmeler.....	63

Şekil 5.5.	A tipi yapıştırıcı için 8 mm yapıştırıcı tabakası çapı ve 1 mm yapıştırıcı kalınlığı kullanılarak oluşturulan modelde, plakalar üzerinde oluşan maksimum kesme gerilmesi ve yeri.....	63
Şekil 5.6.	A tipi yapıştırıcı için, 8 mm dairesel yapıştırma tabakası ile aynı yapışma alanına sahip 1 mm kalınlıktaki dörtgen yapıştırma tabakası üzerindeki maksimum kesme gerilmeler....	64
Şekil 5.7.	A tipi yapıştırıcı için, 8 mm dairesel yapıştırma tabakası ile aynı yapışma alanına sahip 1 mm kalınlıktaki dörtgen yapıştırma tabakası ile oluşturulmuş modelde, plakalar üzerindeki kesme gerilmeler.....	64
Şekil 5.8.	A tipi yapıştırıcı için, 8 mm dairesel yapıştırma tabakası ile aynı yapışma alanına sahip 1 mm kalınlıktaki dörtgen yapıştırma tabakası ile oluşturulmuş modelde, plakalar üzerindeki maksimum kesme gerilmesi ve yeri.....	65
Şekil 5.9.	A tipi yapıştırıcı için 8 mm dairesel tabaka çapı ve aynı yapıştırma alanına sahip dörtgen yapıştırıcı tabakası üzerinde oluşan max. kesme gerilmesi değerlerinin karşılaştırılması.....	66
Şekil 5.10.	B tipi yapıştırıcı için 8 mm dairesel tabaka çapı ve aynı yapıştırma alanına sahip dörtgen yapıştırıcı tabakası üzerinde oluşan max. kesme gerilmesi değerlerinin karşılaştırılması.....	66
Şekil 5.11.	A tipi yapıştırıcı için 10 mm dairesel tabaka çapı ve aynı yapıştırma alanına sahip dörtgen yapıştırıcı tabakası üzerinde oluşan max. kesme gerilmesi değerlerinin karşılaştırılması.....	67
Şekil 5.12.	B tipi yapıştırıcı için 10 mm dairesel tabaka çapı ve aynı yapıştırma alanına sahip dörtgen yapıştırıcı tabakası üzerinde oluşan max. kesme gerilmesi değerlerinin karşılaştırılması.....	67
Şekil 5.13.	A tipi yapıştırıcı için 12 mm dairesel tabaka çapı ve aynı yapıştırma alanına sahip dörtgen yapıştırıcı tabakası üzerinde oluşan max. kesme gerilmesi değerlerinin karşılaştırılması.....	68
Şekil 5.14.	B tipi yapıştırıcı için 12 mm dairesel tabaka çapı ve aynı yapıştırma alanına sahip dörtgen yapıştırıcı tabakası üzerinde oluşan max. kesme gerilmesi değerlerinin karşılaştırılması.....	68

Şekil 5.15.	A tipi yapıştırıcı için 8 mm dairesel tabaka çapı ve aynı yapıştırma alanına sahip dörtgen yapıştırıcı tabakası üzerinde oluşan max. eşdeğer gerilme değerlerinin karşılaştırılması.....	69
Şekil 5.16.	B tipi yapıştırıcı için 8 mm dairesel tabaka çapı ve aynı yapıştırma alanına sahip dörtgen yapıştırıcı tabakası üzerinde oluşan max. eşdeğer gerilme değerlerinin karşılaştırılması.....	69
Şekil 5.17.	A tipi yapıştırıcı için 10 mm dairesel tabaka çapı ve aynı yapıştırma alanına sahip dörtgen yapıştırıcı tabakası üzerinde oluşan max. eşdeğer gerilme değerlerinin karşılaştırılması.....	70
Şekil 5.18.	B tipi yapıştırıcı için 10 mm dairesel tabaka çapı ve aynı yapıştırma alanına sahip dörtgen yapıştırıcı tabakası üzerinde oluşan max. eşdeğer gerilme değerlerinin karşılaştırılması.....	70
Şekil 5.19.	A tipi yapıştırıcı için 12 mm dairesel tabaka çapı ve aynı yapıştırma alanına sahip dörtgen yapıştırıcı tabakası üzerinde oluşan max. eşdeğer gerilme değerlerinin karşılaştırılması.....	71
Şekil 5.20.	B tipi yapıştırıcı için 12 mm dairesel tabaka çapı ve aynı yapıştırma alanına sahip dörtgen yapıştırıcı tabakası üzerinde oluşan max. eşdeğer gerilme değerlerinin karşılaştırılması.....	71
Şekil 5.21.	M8 cıvata için eşdeğer gerilme değerleri.....	72
Şekil 5.22.	M8 cıvata için kesme gerilme değerleri.....	73
Şekil 5.23.	M10 cıvata için eşdeğer gerilme değerleri.....	73
Şekil 5.24.	M10 cıvata için kesme gerilme değerleri.....	74
Şekil 5.25.	M12 cıvata için eşdeğer gerilme değerleri.....	74
Şekil 5.26.	M12 cıvata için kesme gerilme değerleri.....	75
Şekil 5.27.	Cıvatalı bağlantı modellerinde cıvata anma çapının değiştirilmesi ile eşdeğer ve kesme gerilmelerin değişimleri (değerler yaklaşık olarak ifade edilmiştir).....	76

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Anaerobik yapıştırıcılar için ticari örnekler.....	8
Tablo 2.2.	Siyanoakrilat yapıştırıcılar için ticari örnekler.....	8
Tablo 2.3.	Fenolikler için ticari örnekler.....	9
Tablo 2.4.	Poliüretanlar için ticari örnekler.....	9
Tablo 2.5.	Epoksi yapıştırıcılar için ticari örnekler.....	10
Tablo 2.6.	Yapıştırıcı, beton ve düşük karbonlu çeliklerin karşılaştırması..	11
Tablo 2.7.	Bazı yapıştırıcıların kesme mukavemet değerleri.....	12
Tablo 2.8.	Kopma türleri ve kuvvet artırma yöntemleri.....	23
Tablo 2.9.	Ek yeri kopmalarının sebep ve çözümleri.....	24
Tablo 2.10.	Bağlantı geometrisinin kesme dayanımları üzerine etkisi.....	31
Tablo 2.11.	Önemli solventler ve temizleme kapasiteleri.....	42
Tablo 2.12.	Malzemelerin uygulanabilir ön işlem yöntemleri.....	45
Tablo 4.1.	Araldite 420 A/B epoksi yapıştırıcının özellikleri.....	53
Tablo 4.2.	Loctite 21425 epoksi yapıştırıcının özellikleri.....	53
Tablo 4.3.	Alüminyum alaşımı AA 6082-T6 özellikleri.....	54
Tablo 4.4.	Cıvatalar için tork değerleri.....	59
Tablo 5.1.	Cıvatalı bağlantı analizlerinden elde edilen değerler.....	75

ÖZET

Anahtar kelimeler: Yapıştırıcılar, bindirme bağlantılar, yapıştırma bağlantısı, gerilme analizi, cıvatalı bağlantı

Yapıştırıcılar, kaynak ve lehim gibi değişik birleştirme metotlarına alternatif olarak kullanılan malzemelerdir. Bu sebeple, kimyasal ve teknolojik alandaki gelişmelere paralel olarak kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Kullanımının kolay, ekonomik ve avantajlı olması sebebiyle endüstride tercih sebebidir. Günümüzde farklı malzemelere göre değişik yapıştırıcılar imal edilmektedir.

Yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantıların mekanik davranışları, bağlantının geometrik özellikleri ve bağlantıyı oluşturan malzemelerin özellikleri gibi birçok parametreye bağlıdır. Bu durum bağlantının mekanik davranışını tahmin etmeyi zorlaştırmaktadır. Yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantıların mekanik davranışını anlayabilmek için birçok çalışma yapılmış ve farklı modeller önerilmiştir.

Bu çalışmada, çift tesirli bir bindirme bağlantısında dairesel ve dörtgensel formdaki yapıştırıcı tabakasının, farklı yapıştırıcı tabakası çapı ve yapıştırıcı kalınlıklarının gerilmeler (eşdeğer ve kesme gerilmeler) üzerindeki etkileri incelendi ve grafiksel olarak değişimlerine yer verildi. Çift tesirli bindirme bağlantısının cıvatalı yapılması durumunda, cıvata anma çapının değiştirilmesinin gerilmeler (eşdeğer ve kesme gerilmeler) üzerindeki etkileri incelendi.

COMPUTER AIDED ANALYSIS AND COMPARISON OF BINDING ELEMENTS

SUMMARY

Key Words: Adhesives, bonded joint, adhesive joint, stress analysis, bolted joints

The adhesives are used as alternative to various joints methods such as weld and solder. For this reason, their use increases together with technology and chemical developments. The adhesives are preferred in the industry, because of using easy, economical and advantageous. Recently, various adhesives are manufactured for different materials.

The mechanical behaviour of the adhesively bonded joints depends on many parameters such as the geometrical features of the joint and the features of materials generating it. This dependence complicates the prediction of the overall mechanical behaviour of the joint. In order to understand the mechanical behaviour of adhesively bonded joints, many studies have been carried out and different models have been proposed.

In this study, effects of various thickness and various circular and tetragonal adhesive layer form diameter of adhesive for double lap joint on stresses (equivalent and shear stresses) is investigated. Also, effects of various nominal diameters of bolt for double lap joint on stresses (equivalent and shear stresses) is investigated.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Yapıştırıcı (adhesive), ASTM tarafından yüzey teması ile malzemeleri bir arada tutabilen malzeme olarak tanımlanmıştır. Endüstride yapıştırıcıların kullanılması yeni olmakla birlikte, meydana gelen fiziksel ve kimyasal gelişmeler sonucunda gün geçtikçe artmaktadır. Günümüzde değişik endüstri kuruluşlarında yapıştırıcılar kullanılmaktadır [1].

Yapıştırma bağlantıları endüstride hafif metal konstrüksiyonlar, sac levha takviyesi, mil ve göbek bağlantıları gibi yerlerde kullanılmaktadır. Uygun bir yapıştırıcı kullanıldığı takdirde farklı malzemeleri de iyi bir şekilde birleştirmek mümkündür. Örneğin; son zamanlarda fren balatalarını, fren pabuçlarına perçinleme yerine yapıştırma tercih edilmektedir [2].

II. Dünya Savaşı esnasında uçaklarda metallerin bağlanması, epoksi ve fenoliklerin kullanılmasıyla kendine önemli bir yer edinmiştir. Bu yer edinme sayesinde gün geçtikçe dayanım ve uzama kabiliyeti artarak yorulma dayanımları da iyileştirilmiştir. Aynı zamanda titreşimi sönmüleyen ve esneklik özelliklerinde iyileşmeler sağlanarak, her geçen gün daha iyi yapıştırıcılar ve yapışma bağlantıları elde edilmiştir [3].

Yapıştırma bağlantıları maliyetlerinin düşük olması, kaynak, perçin ve diğer bağlantı şekillerinde olduğu gibi ergime sonucu kristal yapıda değişikliğe sebep olmaması, gerilme yığılmaları oluşturmaması, ergime sıcaklıkları altında birleşme işleminin gerçekleşmesi ayrıca daha düzgün ve temiz yüzeyler elde edilebilmesi açısından diğer bağlantı türlerine göre avantajlıdır. Ancak bu tekniğin dezavantajları; bağlantı dayanımının işletme şartlarına bağımlılığı, ayrılma gerilmelerine dayanıksız olması ve bunları önlemek için özel konstrüksiyonlar gerektirmesidir. 200°C üzerindeki

dayanım değerlerinde azalmalar göstermesi bu bağlantının seğilmesini olumsuz yönde etkilemektedir. Özellikle uzay, uçak ve makine konstrüksiyonlarında dinamik yükler altında kullanılmaları önemlidir.

Yapıştırma bağlantısı; iki parçanın yapıştırma görevini yapan, genellikle sentetik esaslı bir malzeme (yapıştırıcı) ile çözülemeyecek şekilde birleştirilmesiyle elde edilir. Parçalar arasında çok ince bir tabaka teşkil eden yapıştırıcı çok defa kimyevi reaksiyonlar sonucu ile sertleşir [4].

Yapıştırma bağlantıları, kullanılmadan evvel bağlantı yapılacak şartlar iyi bir şekilde analiz edilmelidir. Bağlantının mukavemeti; maruz kalacağı yüke, uygun yapıştırıcı seğilmesine, yapıştırıcıya ait özelliklere, yapışma yüzeylerinin ön işlemlerine ve yapışma işleminin sağlıklı yapılıp yapılmadığına bağlıdır. Yapıştırma bağlantıları tek başlarına veya diğer bağlantı türlerini tamamlayıcı olarak kullanılmaktadır [1].

Çalışmada, endüstride sık kullanılan yapıştırıcılara, yapışma olayına etki eden faktörlere, yapıştırma geometrisinin bağlantı dayanımına olan etkilerine ve bağlantı tasarımında dikkat edilmesi gereken hususlara yer verilmiştir.

1.1. Konu İle İlgili Çalışmalar

Yapıştırma bağlantılarının kullanımı her geçen gün artmaktadır. Ayrıca yapıştırıcılarla ilgili araştırmalar devam etmektedir ve her alanda avantajlarından faydalanılmak istenmektedir.

Yapıştırıcı birleştirmeli bağlantıların gerilme analizi karmaşıktır. Genellikle yapılan çalışmalarda yapıştırıcı lineer elastik bir malzeme olarak modellenmiştir. Bu bölümün amacı mevcut çalışmaların genel bir incelemesini sunmaktır.

Loctite şirketi tarafından yayımlanan el kitabında yapıştırıcılar hakkında genel bilgiler verilerek, genel yapıştırma, sızdırmazlık için kullanılan yapıştırıcılar, silindirik metal bağlantılarında kullanılan yapıştırıcılar, tıbbi cihazlarda ve elektronikte kullanılan yapıştırıcıların tanıtımı yapılarak dizayn kriterleri verilmiştir. Silindirik yapıştırma bağlantılarında, çaptaki boşluğun 0,5 mm'ye kadar uygun olduğu belirtilmiş ayrıca 0,0 – 0,15 mm aralığı tavsiye edilmiştir. Bağlantının 0,3 mm boşluktaki mukavemet değerleri, 0,05 mm boşluğa göre %50 oranında azalmaktadır. Yapıştırma bağlantılarında, yapıştırılacak yüzeylerin çok parlak olmaması gerektiği, çok parlak yüzeylerde pürüzlülüğün kama etkisinin ortadan kalktığı ve yüzey pürüzlülüğünün, $R_a = 0,8 - 3,2 \mu m$ aralığında olması gerektiği belirtilmiştir [1].

Adams, Comny ve Wake tarafından yapılan çalışmada, mühendislik alanında kullanılan yapıştırıcılar incelenmiştir. Yapıştırma bağlantılarının gerilme analizindeki teoriler (Lineer Elastik Analiz, Volkersen Analizi, Goland ve Reissner Analizi) incelenmiştir. Bindirme, köşe, silindirik yapıştırma bağlantılarında dikkat edilmesi gereken geometri ve yükleme şartları incelenmiştir. Bağlantı test metodlarına yer verilmiştir. Yüzey hazırlama esnasında dikkat edilecek hususlar ve uygun yapıştırıcı seçimi hakkında bilgiler verilmiştir [2] .

Şekercioğlu tarafından yapılan çalışmada; yapıştırıcıların sınıflandırılması, yapıştırma olayının tanımı, uygulamada en çok kullanılan yapıştırıcı geometrileri, bağlantı tasarımında dikkat edilmesi gereken hususlara yer verilmiştir [3].

Yapıştırma bağlantısının iyi olabilmesi için yapıştırılacak yüzeylerin uygun şekilde hazırlanması gerektiği, bir yapıştırma bağlantısında adhezyon kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğünün kuvvet iletiminde en etkili faktörler olduğu belirtilmiştir. Yapıştırıcının pürüzler arasına girip sertleşmesi ile bir şekil bağı meydana geldiği bu sebepten yapıştırılacak olan yüzeylerin çok parlak olmaması gerektiği belirtilmiştir [4] .

Yapıştırma bağlantılarıyla ilgili, özellikle kompozit malzemelerin yapıştırıcı bağlantıları ile ilgili çalışmalar yapmıştır [5].

Endüstride sıklıkla kullanılan yapıştırıcılar ile ilgili bilgiler vermiştir. Yapıştırıcıların kimyasal bileşimlerini açıklayıp, onları kategoriler halinde sınıflandırmıştır [6].

Yapılan çalışmada, farklı bindirme uzunluklarında ve farklı uç açılarında biri yüksek diğeri düşük dayanımlı iki yapıştırıcı kullanarak birleştirilmiş tek tesirli bindirme bağlantılarının aksenal çekme yükü altındaki mekanik davranışları incelenmiştir [7].

Özenç tarafından yapılan çalışmada; tek taraflı bindirme bağlantılarının, değişik yüzey pürüzlülüklerinde ($R_a=0,5-1,5-2,5\mu\text{m}$), farklı yapıştırma kalınlıklarında ($t=0,1-0,3-0,5\text{ mm}$) ve farklı malzemeler kullanarak (çelik, alüminyum, bakır) darbe dayanımlarının nasıl değiştiği incelenmiştir [8].

Yayında, alüminyum ve alüminyum alaşımlarına yer verilmiştir. Alüminyum ve alaşımlarının özelliklerine ve uygulama alanlarına değinilmiştir. Alüminyum ve alaşımlarının uygulamalarında kullanılan sonlu eleman metoduna da değinilmiştir [15].

Çalışmada; mühendislik alanında kullanılan yapıştırıcılar, yapıştırıcı geometrileri, uyumlu yapıştırıcı çiftlerine yer verilmiştir. Yapışma olayının tanımı yapılmış olup, yapıştırma geometrisinin bağlantı üzerindeki etkilerini incelenmiştir. Bağlantıların test standartlarına ve test metodlarına da değinmiştir. Yapıştırıcının kullanımı ile ilgili genellikle inşaat sektöründen örnekler vermiş olup, bu örnekler gündelik hayattan verilmiştir [9].

Temiz tarafından yapılan çalışmada, yapıştırma bağlantılarının mekanik özelliklerinin çevre faktörleriyle oluşan etkileri incelenmiştir. Bağlantı mukavemeti açısından yapılması gerekenlere değinmiştir [13].

Tek tesirli bindirme yapıştırma bağlantısının analitik gerilme analizi ve köşeleri yuvarlatılmış yapıştırıcı bindirme bağlantısında sonlu elemanlar gerilme analizi yapılmıştır. Yapıştırmada oluşan gerilmeye; yapıştırılan levha kalınlıklarının, yapıştırıcı kalınlığının, yapıştırıcı ve yapıştırılan levhaların elastik modüllerinin etkidiği görülmüştür [14].

Yapılan çalışmada, tek tesirli yapıştırıcıli bindirme bağlantısı için yapıştırılan bağlantı kalınlığının yorulma dayanımı üzerine etkisi incelenmiştir. Yapıştırıcı olarak epoksi bir malzeme ve yapıştırılan malzeme olarak alüminyum alaşımı kullanılmıştır [16].

Yapılan çalışmada, tek tesirli bindirme bağlantısı için titreşim analizleri yapılmıştır. Sonlu elemanlar metodu kullanılarak hazırlanan çalışmada yapıştırıcı olarak bir epoksi ve yapıştırılan olarak bir alüminyum kullanılmıştır [17].

BÖLÜM 2. YAPIŞTIRMA BAĞLANTILAR

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

Yapıştırıcı aynı zamanda birleşim yerinin sızdırmazlığını da sağlar, böylece mekanik yöntemlerle birleştirilmiş parçalarda görülebilen korozyonu engeller. Yapıştırıcı, düzgün olmayan yüzeylerin birleştirilmesini de kolaylaştırır, parça boyutlarında veya şeklinde çok az (veya hiç) değişiklikle daha hafif birleşimler elde edilir. Yapıştırıcı kullanımına karar vermeden önce dikkate alınması gereken bazı ilave faktörler vardır. Örneğin; yapıştırıcı yapıştırılacak malzemelere uygun olmalı, imalat yöntemiyle uyumlu, hesaplanan çalışma yüklerine ve çalışma ortamına dayanmalıdır [1] .

Galvaniz kaplı malzemeler diğer malzemeler gibi istenen yapıları oluşturmak için birleştirilebilir ve işlenebilirler. Bu malzemeler için yapıştırma tekniği vazgeçilmez bir yöntemdir. Bu tekniğin uygulanmasındaki prosedürler birleştirilecek elemanların kullanılacak tekniğe uygunluğu ve verimi önemli bir faktördür [5].

2.1. Yapıştırıcılar ve Çeşitleri

Yapıştırıcı, malzemeleri bir arada tutan madde olarak tanımlanabilir. Yapıştırıcılar; sıvı, katı, macun, bant gibi birçok fiziksel şekilde olabilir. Yapısal ve yapısal olmayan yapıştırma işlemi olarak iki temel yapıştırıcı ile birleştirme tipi vardır. Yapısal yapıştırma, tasarım sınırları içinde yapının sürekliliğini kaybetmeden yük taşıyabilen yapıştırıcı ile birleştirme sistemidir. Kimyasal reaksiyon ile sertleşirler. Bu bölümde bazı önemli yapısal yapıştırıcı tiplerine yer verildi.

2.1.1. Akrilikler

Bu yapıştırıcılar genellikle daha az yüzey hazırlığını tolere edebilecek kimyasal içeriğe sahiptirler. Soyulma ve darbe dayanımları iyidir. Yüksek mukavemet ve sertlik istenen yerlerde kullanılırlar. Esnek bağlantı oluştururlar. Yüzeylerin birleştirilmesinden hemen birkaç dakika sonrasında tutunma dayanımı sağlanır [6]. Hemen hemen tüm malzemeler ile yapıştırılabilirler. Çalışma sıcaklık aralığı -55°C 'den maksimum $+120^{\circ}\text{C}$ 'ye kadardır [7]. Ticari örnek olarak Permabond Quickbond 5002, F246, F241, Vox vinil oksiran, Loctite 315, 322, 330, 3100 verilebilir.

2.1.2. Anaerobikler

En kolay uygulanabilen yapısal yapıştırıcılardandır. Yüksek kohezyon dayanımlarına sahiptirler [6]. Oksijenle temasları kesildiğinde oda sıcaklığında hızla kürleşirler. Yüksek kesme mukavemeti ve yüksek sıcaklık dayanımı (-55°C 'den maksimum $+230^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar) gösterirler [7]. Bazı firmalara ait anaerobik yapıştırıcılar Tablo 2.1'de yer almaktadır.

Tablo 2.1. Anaerobik yapıştırıcılar için ticari örnekler [8]

Üretici Firma	Ticari Adı
Loctite	638, 641, 648, 660, 222, 243, 366, 545
Loxeal	83-21, 12-36, 70-14, 70-90, 85-55, 26-18
Weicon	AN 302-21, AN 302-62, AN 305-86
Permabond	Perma-Lok A1042, A1044, A1046

2.1.3. Siyanoakrilatlar

Kolayca uygulanan ve çabuk yapışma işleminin gerçekleştiği yapıştırıcı çeşididir. Küçük alanların birleştirilmesi için uygundur. Boşluk doldurma özellikleri iyi olmadığı gibi diğer yapıştırıcılara göre pahalıdır [6]. Hemen hemen tüm malzemeleri yapıştırır. Yaşlanmaya dayanıklıdır [7]. Bazı firmalara ait siyanoakrilat yapıştırıcılar Tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2. Siyanoakrilat yapıştırıcılar için ticari örnekler [8]

Üretici Firma	Ticari Adı
Loctite	401, 406, 411, 454, 468, 480, 4210
Loxeal	ISTANT14, ISTANT17, ISTANT43
Weicon	VA1460, VA120, VM2000, VA300
Permabond	910, 2010, 792, 268

2.1.4. Fenolikler

Yüksek mukavemet gerektiren metal-metal, metal-ağaç, metal-kağıt, metal-kompozit esaslı yapıştırmalar için oldukça iyidir. Metal ile kompozit esaslı fren pabucu yapışmaları için oldukça iyidir. Sertleşmeleri için ısı ve basınç uygulamak gerekir[7]. Aşındırıcı taşların, zımparaların yapıştırılmasında da kullanılır [6]. Bazı firmalara ait ticari örnekler Tablo 2.3’de bulunmaktadır.

Tablo 2.3. Fenolikler için ticari örnekler [8]

Üretici Firma	Ticari Adı
Union Carbide	Plyophen 5023
Reichold	Bakalite BV 9700
Hooker	Durez 16227
Ciba	Redux 775

2.1.5. Poliüretanlar

Poliüretan yapıştırıcılar, tek ya da iki bileşenli ve hızla sertleşen yapıştırıcılardır. Yüksek kohezyon dayanımı ve darbe mukavemetine sahiptirler. Aşınmaya karşı dirençleri yüksektir [6]. İyi boşluk doldurma ve yüksek uzama yeteneğine sahiptirler [7]. Bazı firmalara ait poliüretan örnekleri Tablo 2.4’de verilmiştir.

Tablo 2.4. Poliüretanlar için ticari örnekler [8]

Üretici Firma	Ticari Adı
Loctite	3951, 5221
Bayer	Baydur, Bayflex, Desmocoll, Desmodur
BASF	Lumitol, Polyesteralkol, Elastophen
Hutsman	Daltogel, Daltolac, Daltorez

2.1.6. Epoksiler

Değişik özelliklere sahip olan ve çok kuvvetli yapışma sağlayan epoksi yapıştırıcıları, yapıştırıcılar arasında en çok kullanım alanına sahip olan yapıştırıcılardır. Epoksi yapıştırıcılar, farklı malzemeleri ve yüzeyleri yapıştırmada çok etkindirler. Metaller, plastikler, ağaç, cam, seramik, beton ve benzeri malzemeler, epoksi yapıştırıcılarının yapıştırdığı malzemeler arasında bulunanların başlıcalarıdır. Islatma ve penetrasyon kabiliyetleri iyidir. Kendi molekülleri arasındaki çekim kuvveti (kohezyon) diğer yapıştırıcılardan iyidir [6]. Epoksiler daha yoğun çapraz bağlar oluşturduklarından dolayı epoksi kullanılan yapıştırıcı bağlantılarında daha mukavemetli yapıştırmalar elde edilir [7]. Bazı firmalara ait epoksi yapıştırıcılar Tablo 2.5’de yer almaktadır.

Tablo 2.5. Epoksi yapıştırıcılar için ticari örnekler [8]

Üretici Firma	Ticari Adı
Loctite	3607, 3609, 3106, 3611, 3612, 3380, 21425
Loxeal	31-10, 31-40, 34-15, 35-44, 36-10, 36-15
Weicon	WeiconA, WeiconC, WeiconSF, WeiconWR
Araldite	Araldite 420 A/B
Permabond	E04, E32, ESP110

2.1.7. Bazı yapıştırıcıların mukavemet değerleri

20 C⁰ ortam sıcaklığında yapıştırıcı, beton ve düşük karbonlu çeliğin özelliklerinin karşılaştırması Tablo 2.6’ da verilmiştir. Bazı yapıştırıcıların oda sıcaklığındaki mukavemet değerleri Tablo 2.7’de bulunmaktadır.

Tablo 2.6. Yapıştırıcı, beton ve düşük karbonlu çeliklerin karşılaştırması [9]

Özellikler (20 C⁰'de)	Soğuk Kürleşmiş Epoksi Yapıştırıcı	Beton	Düşük Karbonlu Çelik
Bağıl özkütle	1,3	2,2	7,8
Young Modülü (GPa)	4	30	210
Kayma Modülü (GPa)	1,4	10	80
Poisson Oranı	0,37	0,18	0,29
Çekme Dayanımı (MPa)	25	4	400
Kesme Dayanımı (MPa)	30	5	550
Basma Dayanımı (MPa)	75	40	400
Çekme Uzaması (%)	0,5-5	0,15	30

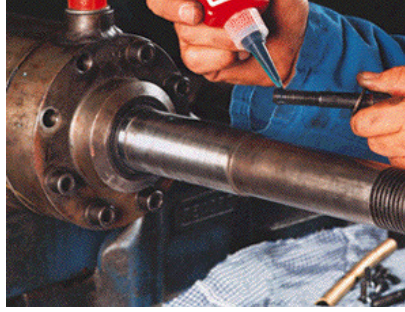
Tablo 2.7. Bazı yapıştırıcıların kesme mukavemet değerleri [3]

YAPIŞTIRICI TÜRÜ	ÜRÜN ADI	STATİK KESME MUKAVEMETİ(N/mm ²)
ANAEROBİK	Loctite 638	20-25
	Loctite 641	7-16
	Loctite 648	16-30
	Loxal 83-21	25-35
	Loxal 83-31	15-25
	Weicon AN 305-77	15-25
	Weicon AN 302-25	3-5
	Permabond HM 160	21
	Permabond HM 128	10,4
AKRİLİK	Loctite 312	4-11
	Loctite 330	15-30
	Permabond F246	28
POLİÜRETAN	Loctite 3951	1-3
SİYANOAKRİLAT	Loctite 401	12-25
	Loctite 480	12-25
	Loxal INSTANT 14	20-25
	Loxal INSTANT 43	15-20
	Permabond 910	21
	Permabond 2010	14
	Permabond 792	10,5
FENOLİK	3M AF 31 Nitril Fenolik	15,1
	Redux 775 Vinil Fenolik	37
EPOKSİ	Loctite 3609	15-32
	Permabond E04	21
	Weicon A	21
	3M AF-163-2M	39
	Ciba Redux 203	15
	Ciba Araldite DIY	15

2.1.8 Yapıştırıcıların kullanım yerleri

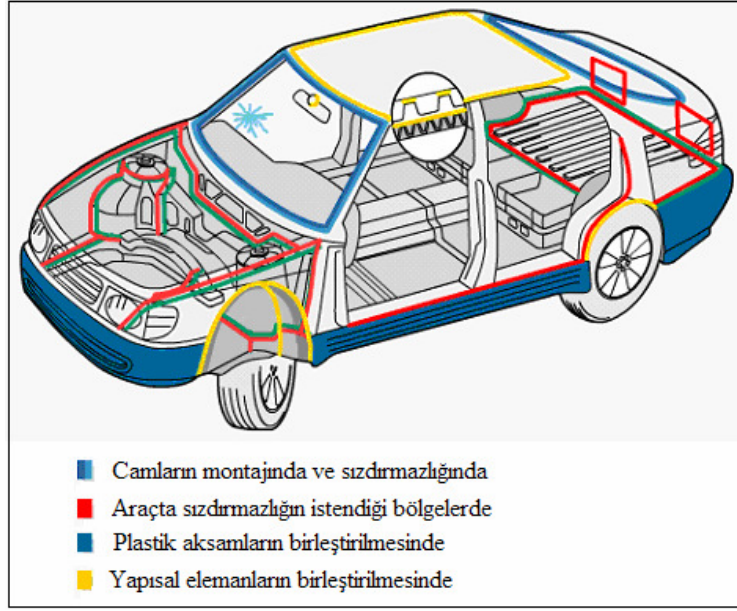
Yapıştırıcıların, kaynak veya diğer metotlarla birleştirilmeleri mümkün olmayan iki farklı metalin yapıştırılması, uzay ve uçak sanayisinde hafiflik için tasarlanan petek yapı ile dış cidarın birleştirilmesi, dişli kutuları ve motor gövde bloklarında sızdırmazlık elemanı olarak kullanılmaları gün geçtikçe artmaktadır.

Cıvataların çözülmeye karşı emniyete alınmaları için yapıştırıcı kullanımı, diğer emniyete alma metotlarına (taçlı somun, tırtıklı somun vs.) nazaran daha ekonomik ve pratik imkânlar sunmaktadır [8]. Şekil 2.1’de bir makine elemanında cıvataları çözülmeye karşı emniyete almak için yapıştırıcının kullanımı görülmektedir.



Şekil 2.1. Cıvataların çözülmeye karşı emniyete alınmaları [1]

Şekil 2.2’de bir otomobilde yapıştırıcıların kullanım alanları gösterilmektedir. Şekil 2.3’de Peugeot yarış arabalarında kullanılan tahrik mili ve bir yatak görülmektedir. Yarış arabalarının hafif olması istendiğinden, milin bir kısmı kompozit malzemedir, uç kısmı ise metalik malzemedir yapılmış, bunlar daha sonra yapıştırıcı ile birleştirilmiştir.

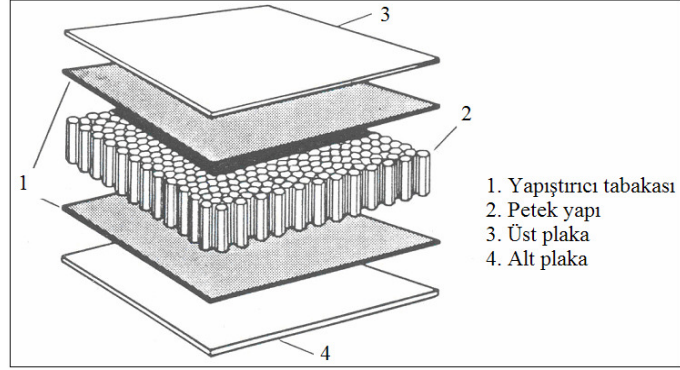


Şekil 2.2. Otomobilde yapıştırıcıların kullanıldığı alanlar [18]



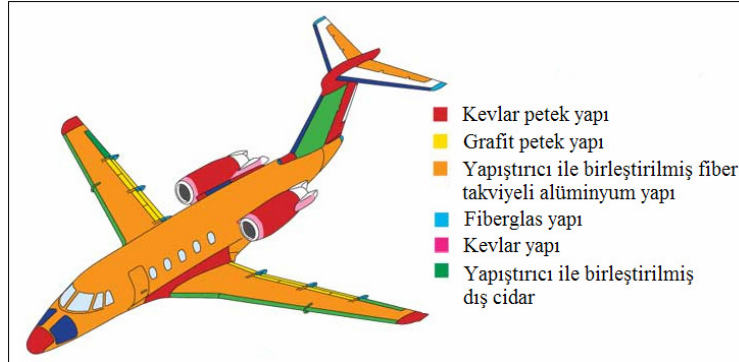
Şekil 2.3. Peugeot yarış arabasının tahrik milinde yapıştırıcı kullanımı [8]

Uçak gövdelerinde ve kanatlarında büyük miktarlarda yapıştırıcılar kullanılmaktadır. Şekil 2.4'de uçak konstrüksiyonlarında kullanılan ve yapıştırıcı kullanılarak imal edilen sandviç yapı görülmektedir. Bu yapıda alt ve üst kısımdaki plakalar (genellikle alüminyum alaşımı), aradaki petek tipi yapılara, yapıştırıcı aracılığıyla birleştirilmektedir [8].



Şekil 2.4. Uçak yapılarındaki sandviç panellerde yapıştırıcı kullanımı [10]

Şekil 2.5'den de görüleceği üzere uçakların büyük bir kısmı kompozit yapılardan oluşmaktadır. Bu yapılarda kullanılan petek dokulu sandviç yapılarda, yapıştırıcılar ile birleştirme tekniği kullanılmaktadır [8].



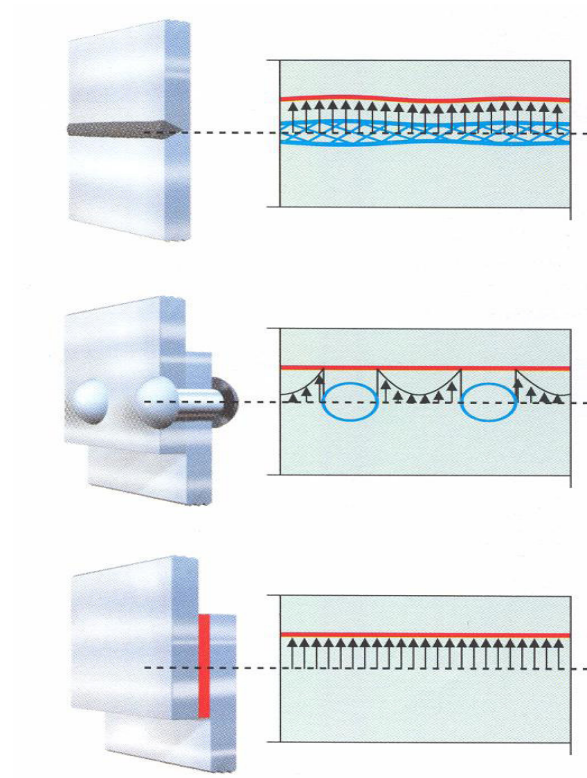
Şekil 2.5. Uçaklarda yapıştırıcının kullanıldığı bölgeler [18]

2.2. Birleştirme Teknikleri

Üç temel birleştirme yöntemi vardır, bunlar;

- 1- Mekanik; cıvata, vida, perçin ile
- 2- Termal; kaynak, lehim ile
- 3- Kimyasal; yapıştırıcı ile

Şekil 2.6'da kaynaklı, perçinli ve yapıştırırmalı bağlantıların gerilim dağılımları şematik olarak gösterilmiştir.

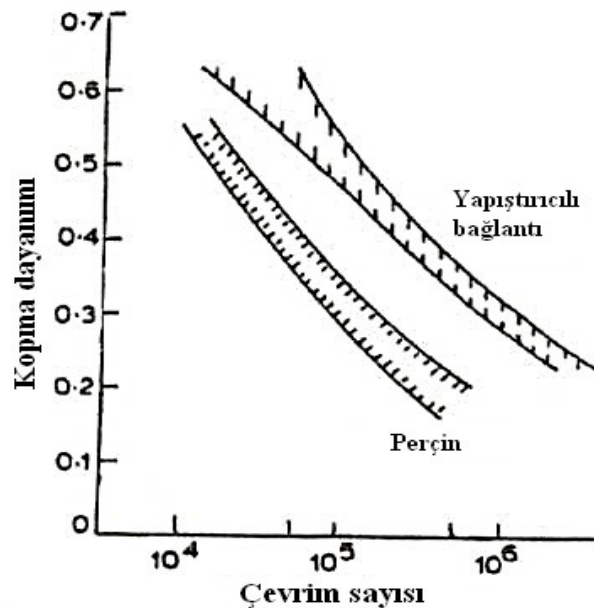


Şekil 2.6. Yukarıdan aşağıya sırasıyla kaynaklı, perçinli ve yapıştırırmalı bağlantıların gerilme dağılımları [1]

2.2.1. Mekanik birleştirme

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

Cıvata veya perçin kullanmak için delik açılması gerekir, bu da parçaların mukavemetini olumsuz yönde etkiler. Birleşim yük altına girdiğinde, açılan deliklerin etrafında gerilim yoğunlaşması meydana gelir. Bu durum erken malzeme yorgunluğuna neden olabilir. Dolayısıyla, bu tür bağlantı elemanları kullanıldığında sağlamlığın sağlanabilmesi için malzeme kalınlığının artırılması gerekir. Ayrıca, cıvata veya perçin delikleri korozyon tehlikesini artırır. Bu sebepten çoğunlukla karmaşık ve pahalı olan yalıtım veya yüzey koruma işlemlerine gerek duyulur [1]. Şekil 2.7' de perçinli ve yapıştırıcıli bağlantıların kopma dayanımlarının karşılaştırılması gösterilmektedir.



Şekil 2.7. Perçinli ve yapıştırıcıli bağlantıların kopma dayanımlarının karşılaştırılması [2]

2.2.2. Termal birleştirme

Kaynak ve lehim normalde yalnızca benzer malzemelerde mümkündür. Termal birleştirmede sökme mümkün değildir veya çok zordur. Kaynak ve lehim işlemi sırasında oluşan yüksek sıcaklık istenmeyen gerilmelere neden olur, bunun sonucunda parça yorgunluğu olabilir ve parçaların metal yapısında bozulma meydana gelebilir [1].

2.2.3. Yapıştırıcı ile birleştirme

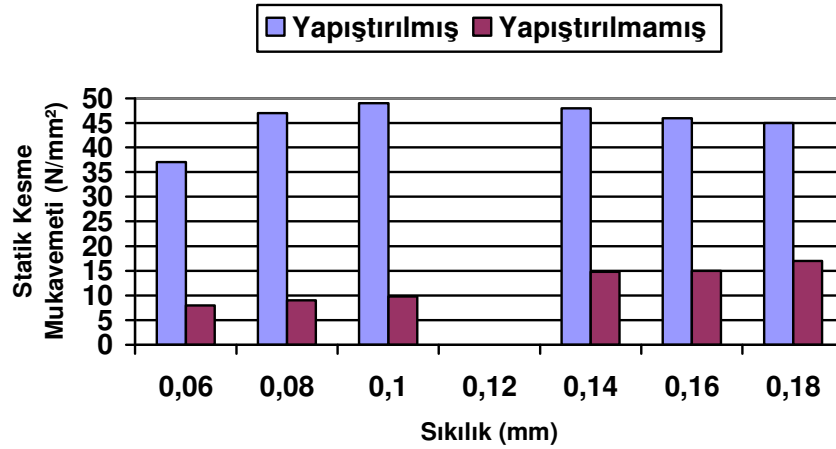
Yapıştırma, sağladığı birçok avantajla imalat alanlarını genişletir:

- i. Düzgün gerilim dağılımı: Açılan delikler nedeniyle meydana gelen gerilim yoğunlaşmaları engellenir.
- ii. Yapısal değişim olmaması: Kaynak yönteminde olduğu gibi malzemelerin özellikleri bozulmaz.
- iii. Şekil bozukluğu olmaması: Kaynak yönteminde olduğu gibi parçalar ısıtılmadığı için farklı kütle ve boyuttaki parçalar kolaylıkla birleştirilebilir.
- iv. Farklı malzemelerin birleştirilmesi: Farklı malzemelerin üstünlüklerinden en iyi şekilde faydalanacak şekilde malzeme seçimi ve birleştirilmesine imkan verir.
- v. Sızdırmazlık: Yapıştırıcılar aynı zamanda conta vazifesi görür. Cıvata ve perçinli bağlantılar ise genellikle sızdırmazlık sağlamak için ilave işçilik ve maliyet gerektirir.
- vi. 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].

2.3. Yapıştırırmalı Birleştirme Teknolojisi

Metalik malzemelerin metalik malzemelerle yapıştırılmasıyla oluşan yapılar ticari uçaklarda ve özellikle askeriyede sıkça kullanılmaktadır. Mekanik birleştirmeler ile yapıştırma bağlantıları arasındaki karşılaştırmalı genellemeler aşağıda belirtilmiştir;

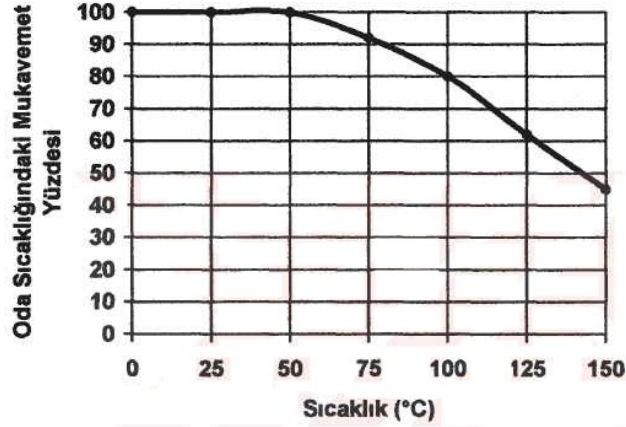
- i. İlk yükten sonra, yapıştırırmalı bağlantılar mekanik bağlantılardan daha az daimi şekil bozulması gösterir.
- ii. Yapıştırıcı bağlantılar, birleştirilmiş elemanların temas bölgelerinde mekanik bağlantılardan daha düşük gerilme davranışı sergiler.
- iii. Yapıştırırmalı bağlantılar düz yüzeylere sahip yapıların birleştirilmesine imkân verir ve birleştirilmiş tabakalı yapıların çatlak yayılmasına minimum duyarlı olması sağlanır.
- iv. Büyük yüzey alanlarına sahip malzemelerin birleştirilmesinde yapıştırırmalı bağlantı, mekanik bağlantıdan genellikle daha az maliyet gerektirir.
- v. Sıkı geçme bağlantılarında dayanımı yükseltir (Şekil 2.8) [1].



Şekil 2.8. Sıkı geçme bağlantılarında yapıştırmanın bağlantı mukavemetine etkisi [1]

Yapıştırıcı bağıntıların dezavantajlarını da şu şekilde sıralayabiliriz;

- i. Yapıştırıcıların bazı tipleri için yüksek sıcaklık derecelerinde direnç zayıftır (Şekil 2.9).
- ii. Yapıştırıcı bağıntının yükleri minimize edecek şekilde tasarlanması gerekmektedir.
- iii. Yapıştırma ile birleştirilmiş bir yapı kalıcıdır ve bağıntının herhangi bir nedenle sökülmesi düşünülemez çünkü yapı deforme olur.
- iv. Yapıştırma yöntemi ile birleştirilmiş yapıların mükemmelliği, elemanların kaynak gibi tam birleşmesine bağlıdır [5].

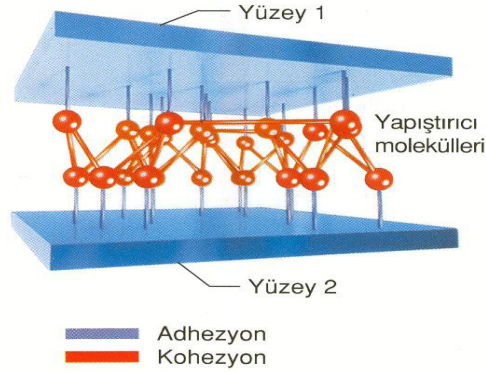


Şekil 2.9. Loctite 638 anaerobik yapıştırıcıda sıcaklık ile mukavemetin değişimi [1]

2.3.1. Yapıştırma ek yeri

Yapıştırıcılar, aynı veya farklı malzemeden yapılmış yüzeyler arasında bir çeşit köprüdür. Yapışma mekanizması Şekil 2.10'da görüldüğü gibi iki farklı kuvvete bağlıdır, bunlar;

- 1- Yapıştırıcının yüzeye yapışma kuvveti; adhezyon
- 2- Yapıştırıcının iç kuvveti; kohezyon



Şekil 2.10. Yapıştırma ek yerindeki kuvvetler [1]

2.3.1.1. Adhezyon

Adhezyon iki maddenin temas yüzeylerindeki yapışma kuvvetidir. Bu kuvvetler yapışmada en önemli faktörlerin başında gelir. 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. Yüzeyde kirlerin bulunması da ıslatmayı olumsuz etkiler [1].

2.3.1.2. Kohezyon

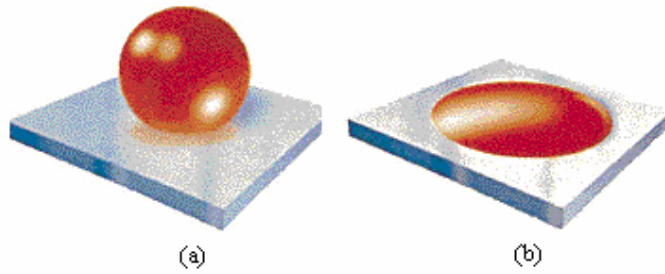
Kohezyon, yapıştırıcı molekülleri arasında bulunan ve yapıştırıcıyı bir arada tutan kuvvettir. Kohezyona etki eden kuvvetler:

- 1- Moleküller arası çekim kuvvetleri
- 2- Polimer moleküllerinin kendi aralarında kenetlenmesi

Bir zincirin kuvvetinin, en zayıf halkası tarafından belirlenmesi kuralına uygun olarak, bağlantıda adhezyon ve kohezyon kuvvetleri yaklaşık eşit olmalıdır [1].

2.3.1.3. Islanabilirlik

Yapışmaya yardım eden mekanizmaların başında ıslanabilirlik gelir. Islanabilirlik, sıvının katı yüzeye yayılabilirliğini tanımlamak için kullanılan bir terimdir. Yapışma yüzeyi üzerindeki leke ve kimyasal reaksiyonlar sırasında oluşacak kirlilik, ıslanabilirliği etkiler. Bu nedenle yüzey hazırlıkları önemlidir [7]. Şekil 2.11'de yüzey hazırlığının önemi gösterilmektedir.



Şekil 2.11. Islanabilirlik testi a)Yapıştırma yüzey hazırlığı yetersiz b)Yapıştırma yüzey hazırlığı yeterli [1]

2.3.1.4. Yapıştırma ek yerindeki kopmanın değerlendirilmesi

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

- i. Adhezyon kopması; yapıştırıcı parça yüzeylerinin birinden komple ayrılır.
- ii. Kohezyon kopması; yapıştırıcının kendisi kopar, yapıştırıcı kalıntıları her iki parça yüzeyinde görülebilir [1].

Kopma türleri ve kuvveti artırma yöntemleri Tablo 2.8’de verilmiştir.

Tablo 2.8. Kopma türleri ve kuvvet artırma yöntemleri [1]

Kopma Türü	Kuvveti Artırma Yöntemleri
Adhezyon Kopması	Yapışmanın zayıf noktası, yapıştırılan parça ile yapıştırıcı arasındaki temas yüzeyidir. Malzeme yapışmaya uygun değil ya da yapıştırma yüzeyi kirlidir. Her iki durumda da kuvvet, yüzeye ön işlem yapılması ile artırılabilir.
Kohezyon Kopması	Yapıştırıcı dış etkiler nedeniyle aşırı gerilime maruz kalmıştır (sıcaklık, yaşlanma vb). Çözüm, parçaların şeklinde değişiklik yapmak ya da daha uygun yapıştırıcı seçmektir.

2.3.1.5. Yapıştırıcı ek yeri kopmalarının sebep ve çözümleri

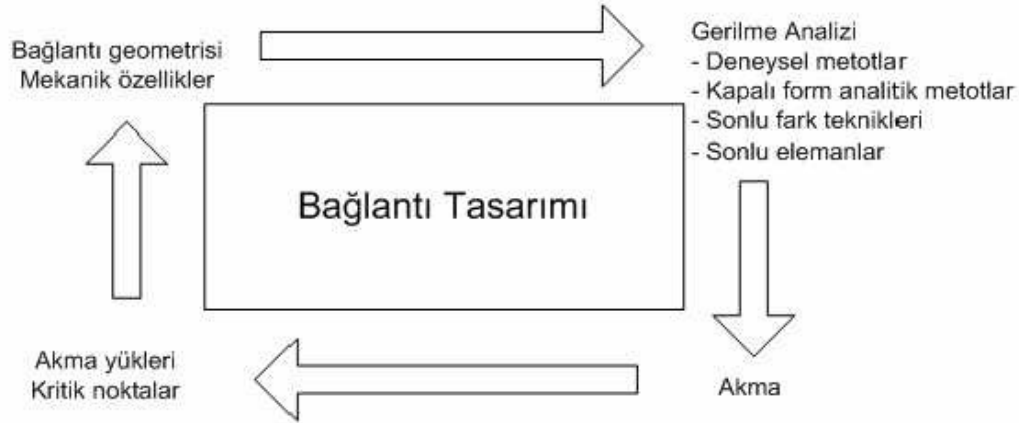
Kopmuş bir ek yerinin görünümü yalnızca zayıf noktanın nerede olduğunu gösterir, fakat kopma nedenini söylemez. Problemi ortadan kaldırmak için, kopma nedenlerini bulmak esastır. Yapıştırıcı ek yeri kopmalarının sebepleri hatalı parçalar, hatalı yapıştırma, hatalı yapışma vb.’ dir [1]. Yapıştırıcı ek yeri kopmalarının sebep ve çözümleri Tablo 2.9’da gösterilmiştir.

Tablo 2.9. Ek yeri kopmalarının sebep ve çözümleri [1]

Muhtemel Sebepler	Çözümler
Hatalı parçalar	Toleranslar, boşluk ve malzemeler kontrol ve daha dikkatli takip edilmeli
Kirli parçalar	Ön işlemin uygunluğu kontrol edilmeli ve gerekli şekilde değiştirilmeli (ör: temizleme maddeleri, temizleme işlemi vb)
Hatalı yapıştırma	Tüm proses parametreleri ve yapıştırma işlemi kontrol edilmeli, birleştirme şekli ve süresi iyileştirilmeli, birleştirme süresince tüm kürleşme şartlarının sağlandığı kontrol edilmeli
Yapıştırıcının yetersiz kürleşmesi	Kürleşme ön şartları (ör: boşluk, havasızlık, sıcaklık, nem vb) kontrol edilmeli. Kürleşme süresinin teknik veriye uygunluğu kontrol edilmeli. Yapıştırıcının raf ömrünü doldurmadığından emin olunmalı
Mekanik aşırı gerilme veya istenmeyen gerilmeler (soyulma)	Yapışma yüzeyi genişletilmeli veya kuvvet tatbik edilen ek yeri geometrisi değiştirilmeli. Yapıştırıcının gerilim yüküne (çekme, kesme vb) uygunluğu kontrol edilmeli
Termal aşırı gerilim	Yüksek sıcaklığa daha dayanıklı yapıştırıcı seçilmeli
Sıvı veya gaz halindeki ortamdan kaynaklı korozyon oluşması veya yapıştırıcının tahrip olması	Parçalar arasındaki boşluğun ortam ile temasını uygun bir kaplama ile veya yapıştırılan parçaların şekli değiştirilerek engellenmeli

2.3.2. Yapıştırmada bağlantı tasarımı

Yapıştırılmalı bağlantının geometrik tasarımı ve yapıştırıcı seçimi, gerilmelerin büyüklüğü, kopma süresi ve bağlantının uygun boyutu ile belirlenir. Bağlantıda kullanım amacına göre yapıştırma tabakası geometrisi iyi tayin edilmeli, tayin edilen geometriye uygun yapıştırıcı cinsi seçilmelidir ve bu yapıştırıcı cinsine göre en uygun yapıştırıcı tabakası kalınlığı belirlenmelidir. [5]. Şekil 2.12’de şematik olarak bağlantı tasarım aşamaları ve dikkate alınması gerekenler gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Bağlantı tasarım esasları [11]

2.3.2.1. Bağlantı dizaynı

Yapıştırıcı, malzemeleri yüzey tutma yoluyla bir arada tutabilen madde olarak tanımlanır. Yapıştırılan terimi ise genelde, yapıştırıcı tarafından bir başka cisime bağlanan cisim anlamında kullanılır. İki yapıştırılan ve yapıştırıcıdan oluşan birleşime bağlantı adı verilir.

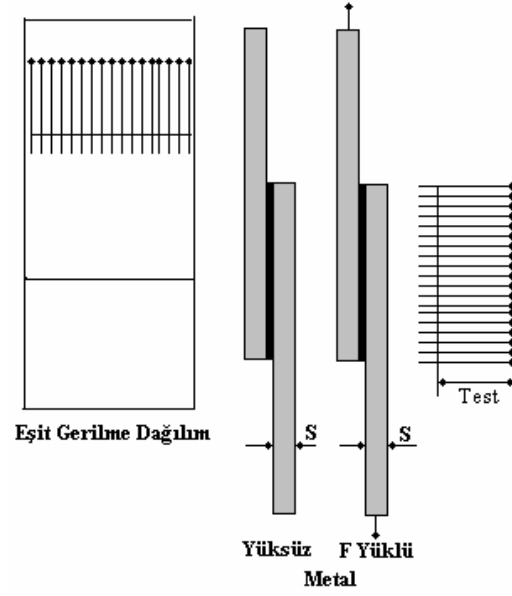
Gerilme ve yükleri düşünmeksizin yapıştırma bağlantısı modellemek hatadır. Şekil 2.13’de gerilmeler düşünülerek hazırlanmış bir bağlantı gösterilmektedir. Yapıştırma yoluyla birleştirilecek parçaların bağlantı şekilleri özel olarak dizayn edilmelidir. Eğer yapıştırma bağlantıları, yapıştırıcının çalışma şartlarına uyacak şekilde dikkatlice tasarlanırsa geleneksel metotlarla sağlanan bağlantılardan daha emniyetli olduğu görülür. Bağlantının davranışı, geometri ve malzeme davranışı gibi birçok parametreye bağlıdır [1].

Metal yapıştırma bağlantılarının tasarımındaki önemli hususlar şunlardır;

1. Yapıştırma bağlantıları her zaman büyük uygulama yüzeyi gerektirir.
2. Yapıştırma bağlantıları mümkün olduğu kadar kayma (kesme) gerilmelerine maruz kalacak tarzda şekillendirilmelidir. Çekme zorlamaları bu bağlantı türü

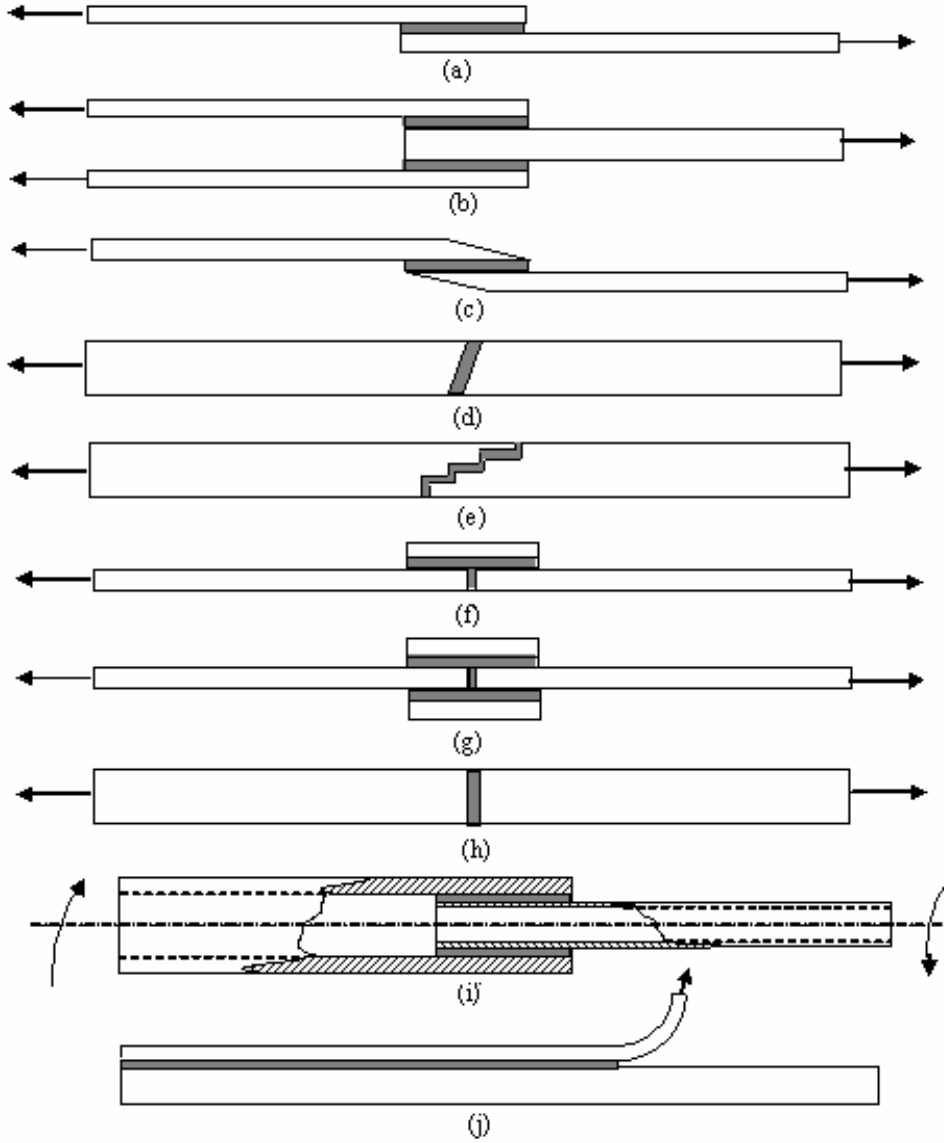
için uygun değildir. Eğilme ve özellikle sıyrıma zorlanmalarından kaçınılmalıdır.

3. Yapıştırılan parçalar yüksek rijitliğe sahip olmalıdır.
4. Yapıştırma bağlantıları sızdırmazlık özelliğine sahip olmalıdır [7].



Şekil 2.13. Tek tesirli bir yapıştırma bağlantısında gerilme dağılımı [4]

Aşağıda başlıca yapıştırma bağlantı tipleri verilmiştir;



Şekil 2.14. Yaygın olarak kullanılan bağlantı şekilleri [2]

- | | |
|-------------------------------|---|
| a) Tek bindirme bağlantısı | f) Tek taraflı takviyeli alın bağlantısı |
| b) Çift bindirme bağlantısı | g) Çift taraflı takviyeli alın bağlantısı |
| c) Eğimli bindirme bağlantısı | h) Alın bağlantısı |
| d) Açılı bindirme bağlantısı | i) Silindirik bindirme bağlantısı |
| e) Basamak bağlantısı | |

Şekil 2.14.a, tek tesirli bindirme bağlantısını göstermektedir. Bu bağlantı tipi yapıştırıcıların test edilmesinde en fazla kullanılan bağlantı tipidir. Bununla beraber oluşan gerilme durumu karmaşıktır. Şekil 2.14.a'da da görüldüğü gibi tek tesirli bindirme bağlantısında yük aynı doğru üzerinde etki etmemektedir. Bu yüzden eğilme momenti oluşur ve Şekil 2.15.b'de de görüldüğü gibi sistemde dönme meydana gelir. Yapıştırıcı tabakasında sadece kaymadan dolayı uzama olmaz, aynı zamanda bağlantının uçlarında yırtılma gerilmeleri de oluşur. Bağlantıda çekmeden dolayı uzama fazla olmaz, fakat eğilme oluşur [2].



(a) Deforme olmayan bağlantı



(b) Deforme olan bağlantı

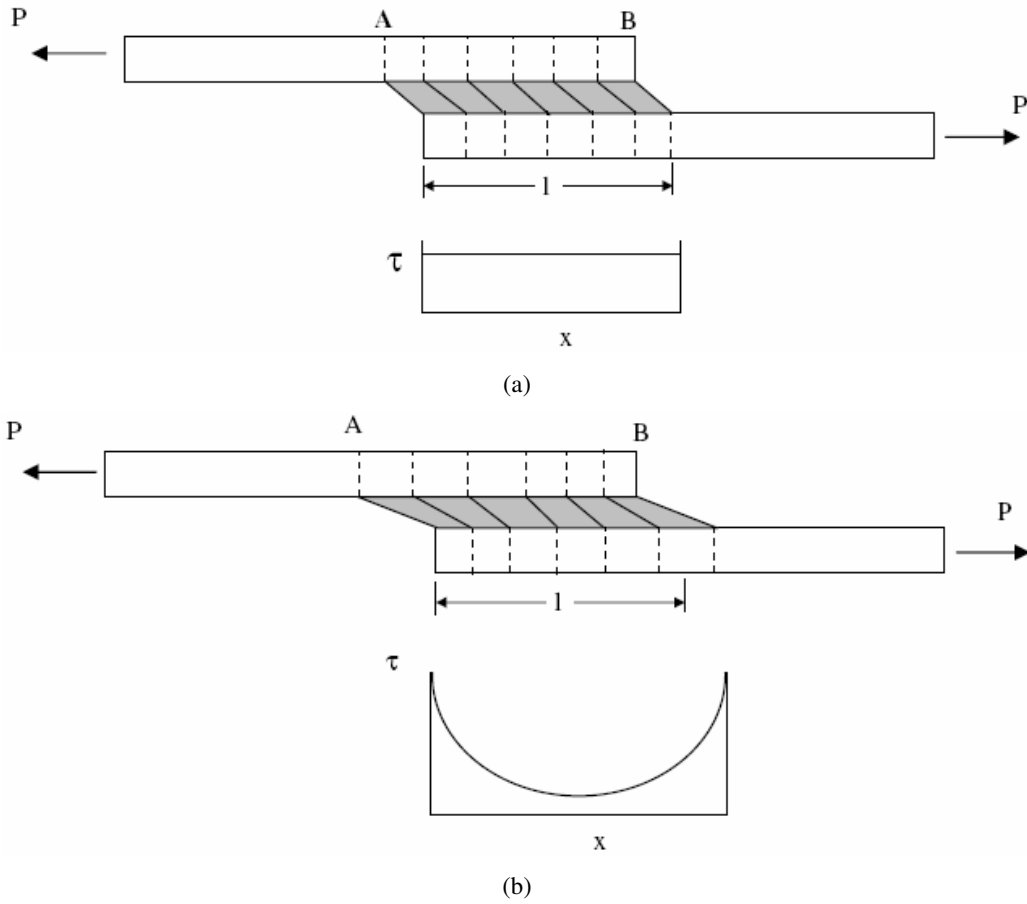
Şekil 2.15. Tek tesirli bindirme bağlantısının şekil değiştirmeden önce ve şekil değiştirdikten sonraki görünümü [2]

Tek tesirli bindirme bağlantıların basitleştirilmiş analizinde, malzemenin rijit ve yapıştırıcının sadece kayma yönünde şekil değiştirdiği kabul edilir (Şekil 2.16.a). Eğer bağlantının genişliği y , uzunluğu l ve uygulanan kuvvet P ise, kayma gerilmesi

$$\left(\tau = \frac{P}{yl} (N/mm^2) \right) \text{ şeklinde olur. Malzemede oluşan kayma gerilmeleri A-B}$$

bindirme uzunluğu boyunca lineer azalır. Şekil 2.16.b'de malzeme rijit yerine elastiktir. Üst levhadaki gerilme, A noktasında maksimum olup B noktasında ise sıfır olur. A noktasındaki şekil değiştirme, B noktasındaki şekil değiştirmeden daha

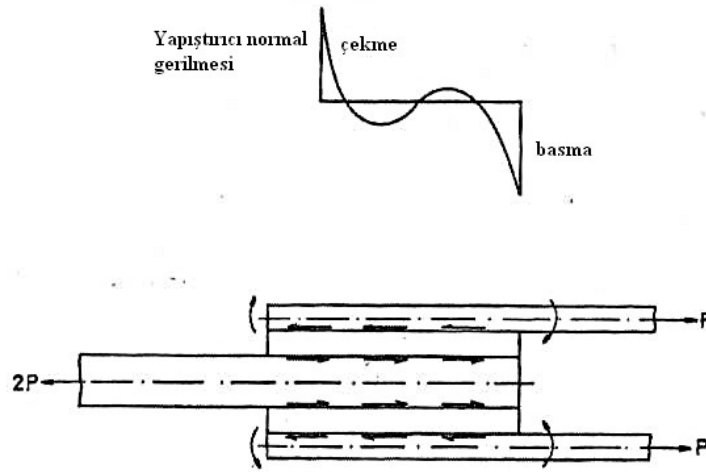
büyüktür ve l uzunluğu boyunca azalır. Ara yüzey sürekli kabul edilerek, Şekil 2.16.a'da görülen yapıştırıcının düzgün bölünmüş paralelkenarı, Şekil 2.16.b'de görülen bozulmuş şekle döner. Bu olaya diferansiyel kayma denir [2].



Şekil 2.16. Yüklendiği haldeki tek tesirli bindirme bağlantısının deforme olmuş hali ve kayma gerilmesi dağılımı; (a) Rijit malzeme, (b) Elastik malzeme [2]

Şekil 2.14.b'de görülen çift tesirli bindirme bağlantısı kullanılarak eğilme etkisi giderilebilir. Çift tesirli bindirme bağlantısı, iki tek tesirli bindirme bağlantısının alt alta dizilmesi ile elde edilir ve bağlantıda büyük dönmeler oluşmaz. Kalın parçanın yüklendiği tarafta çekme yırtılma gerilmesi oluşurken diğer uçta da basma gerilmesi oluşur (Şekil 2.17).

Şekil 2.14'deki diğer bağlantı yapılandırmaları, çoğunlukla gerilme yığılmalarını ve soyulma gerilmelerini azaltacak şekilde yükler için tasarlanmıştır. Tasarımcıların en sevmediği ve kaçındığı gerilme tipi soyulma gerilmesidir. Özellikle düşük yüklerde, tek ve çift bindirme bağlantılarında çoğunlukla kayma gerilmeleri oluşurken, Şekil 2.14.j'de ki yükleme durumu gibi, bağlantı uçlarında yırtılmaya neden olan soyulma gerilmesi oluşur. Zaten Şekil 2.14.j'de görülen bağlantı şekli, birçok soyulma deneyinin temelini oluşturmaktadır [2].



Şekil 2.17. Yüklendi haldeki çift tesirli bindirme bağlantısında oluşan gerilmeler [2]

Eğer bağlantı üzerindeki yük çok küçükse, bindirme bölgesinde dönme olmadığı ve yükleme çizgisinin Şekil 2.15.a' daki gibi olduğu kabul edilir. Bu nedenle söz konusu modelde, eğilme momentinin $M_0 = Pt/2$ ve eğilme moment katsayısının $k \cong 1.0$ olduğu kabul edilir. Ancak uygulanan yük artırılırsa, yükleme çizgisinde bindirme boyunca dönme meydana gelir (Şekil 2.15.b), bu nedenle eğilme moment faktörü değeri azalır [2].

Eğilme moment faktörü

Eğilme moment faktörü, eşit yapıştırılan parça kalınlıklarında Goland ve Reissner'in ortaya koyduğu bir ifadedir:

$$k_{GR} = \left[1 + 2\sqrt{2} \tanh\left(\theta/2\sqrt{2}\right)\right]^{-1} \quad (2.1)$$

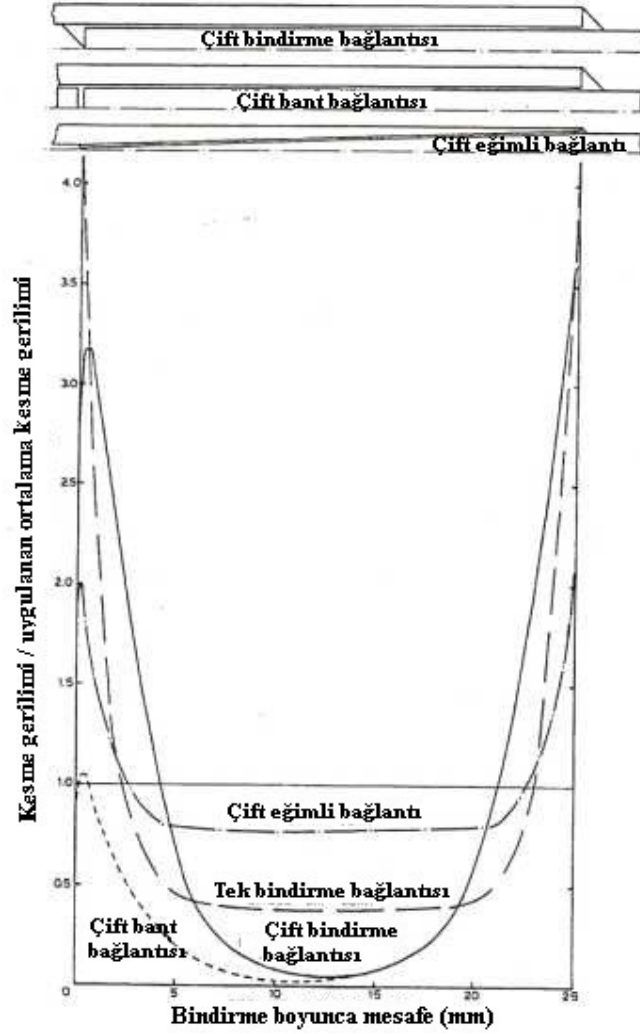
burada, ν Poisson oranı olmakla beraber θ aşağıdaki gibidir [2].

$$\theta = l \sqrt{\frac{3P(1-\nu^2)}{yEt^3}} \quad (2.2)$$

Bağlantı geometrisinin, 20 C⁰ kürleşmiş bir epoksi yapıştırıcının kesme dayanımları üzerine olan etkisi Tablo 2.10' da yer almaktadır. Şekil 2.18'de ise farklı bağlantı şekillerine ait karşılaştırma gösterilmiştir.

Tablo 2.10. Bağlantı geometrisinin kesme dayanımları üzerine etkisi [9]

Bağlantı Tipi	Standart Tarifi	Bindirme Uzunluğu (mm)	Yapıştırılan Plakanın Et Kalınlığı (mm)	Ortalama Kesme Gerilmesi (MPa)
Tek Bindirme Bağlantısı	BS 5350:C5:1976 ASTM D1002:1972	12,5 12,7	1,5 1,6	- 14-16
Çift Bindirme Bağlantısı	BS 5350:C5:1976 ASTM D3528:1976	12,5 12,6	1,5 3,2-1,6	- 15-18
Silindirik Alın Alına Bağlantı	ASTM E229-70	25,4	-	26



Şekil 2.18. Alüminyum-alüminyum bağlantılarda yapıştırıcı kesme gerilimi dağılımları [2]

Şekil 2.18 'de görüldüğü üzere, gösterilen tüm bağlantı tiplerinde, yapıştırma tabakasının orta bölgesinde daha az gerilme yığılması görülmektedir. Çift bindirme bağlantısında yapıştırma tabakasının orta bölgelerinin tek bindirme bağlantısına göre daha az gerilme barındırdığı görülmektedir. Ayrıca çift bindirme bağlantısında, yapıştırıcı tabakası kenarlarında tek bindirme bağlantısına göre daha az gerilme olduğu görülmektedir. Grafikten, çift eğimli bağlantıda yapıştırma tabakası kenarlarındaki gerilmelerin tek ve çift bindirmeli bağlantıya nazaran daha az, orta bölgelerdeki gerilmelerin ise daha çok olduğu çıkarılmaktadır [2].

2.3.2.2. Yapıştırıcı bağlantı tasarım esasları

Yapıştırılmış bir bağlantının kuvveti ve dayanıklılığı başlıca şu parametrelerce belirlenir:

- 1- Yapıştırıcı
- 2- Yapıştırılacak malzeme
- 3- Çalışma ortamı
- 4- Ek yeri tasarımı
- 5- Yük

Bir yapıştırıcının fiziksel ve kimyasal özellikleri, onun kohezyon ve adhezyon kuvvetlerini belirler. Yapıştırma bağlantısının dayanıklılığı da yapıştırıcının özelliklerine bağlıdır. Farklı yapıştırıcı teknolojileri kuvvet, yüzeye tutunma özellikleri ve esneklik yönünden değişik alternatifler sağlar.

Yapıştırılacak malzemeler ve yüzey işlemleri çoğunlukla uygun yapıştırıcı ve ek yeri tasarımında birinci seçim kriteridir, fakat en uygun yapıştırıcının belirlenmesinde malzemelerin mekanik özellikleri ve parçaların sertliği de çok önemlidir. Bağlantının çalışma ortamı (sıcaklık, nem, vb.) yapıştırıcı seçimini doğrudan etkiler. Çalışma ortamı ve tatbik edilen kuvvetler dayanıklılığı belirleyen en önemli parametrelerdir.

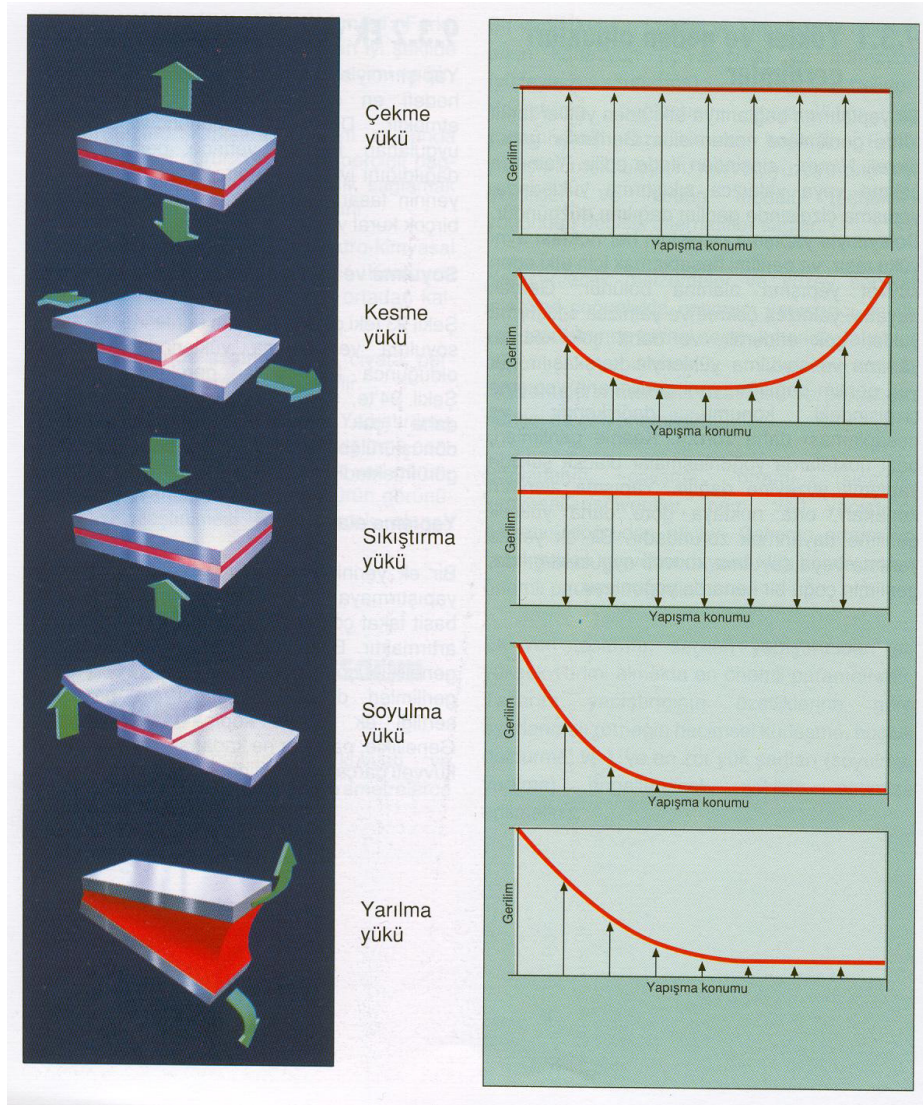
Ek yeri tasarımı, seçilen yapıştırıcıdan en yüksek verimi almakta en önemli parametredir. Tasarım yapıştırıcının özelliklerine göre ayarlanmalı (örneğin boşluk doldurma), ve en zor yük şartları (kesme, soyulma, yarıma) engellenecek şekilde optimize edilmelidir [1] .

2.3.2.3. Bağlantı tasarım kriterleri

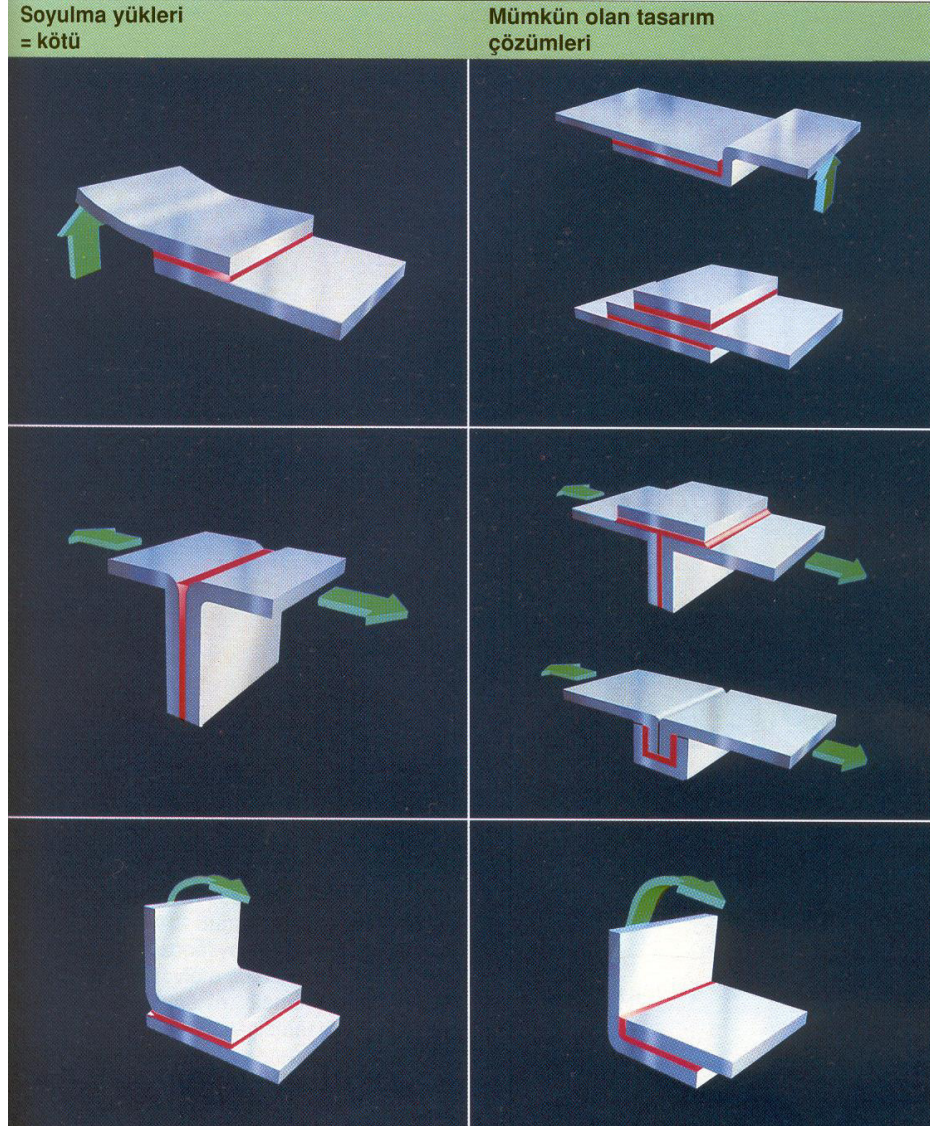
Yapıştırıcıyla birleştirmede, tasarımın hedefi en düzgün gerilim dağılımını elde etmektir. Dolayısıyla mühendisler, kuvvet uygulanan bir ek yerinde gerilimin nasıl dağıldığını iyi bilmelidir. Yapıştırılacak bir ek yerinin tasarımında dikkate alınması gereken birçok kural vardır. Bunları şu şekilde açıklayabiliriz;

Soyulma ve yarıma yükleri en aza indirilmeli: Şekil 2.19'daki gerilme dağılımı eğrilerine bakarsak, soyulma ve yarıma yüklerinden mümkün olduğunca kaçınılması gerektiğini görürüz. Şekil 2.20'de, soyulma ve yarıma kuvvetlerinin daha çok tercih edilen yüklere nasıl dönüştürülebileceğine dair bazı tavsiyeler görülmektedir.

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

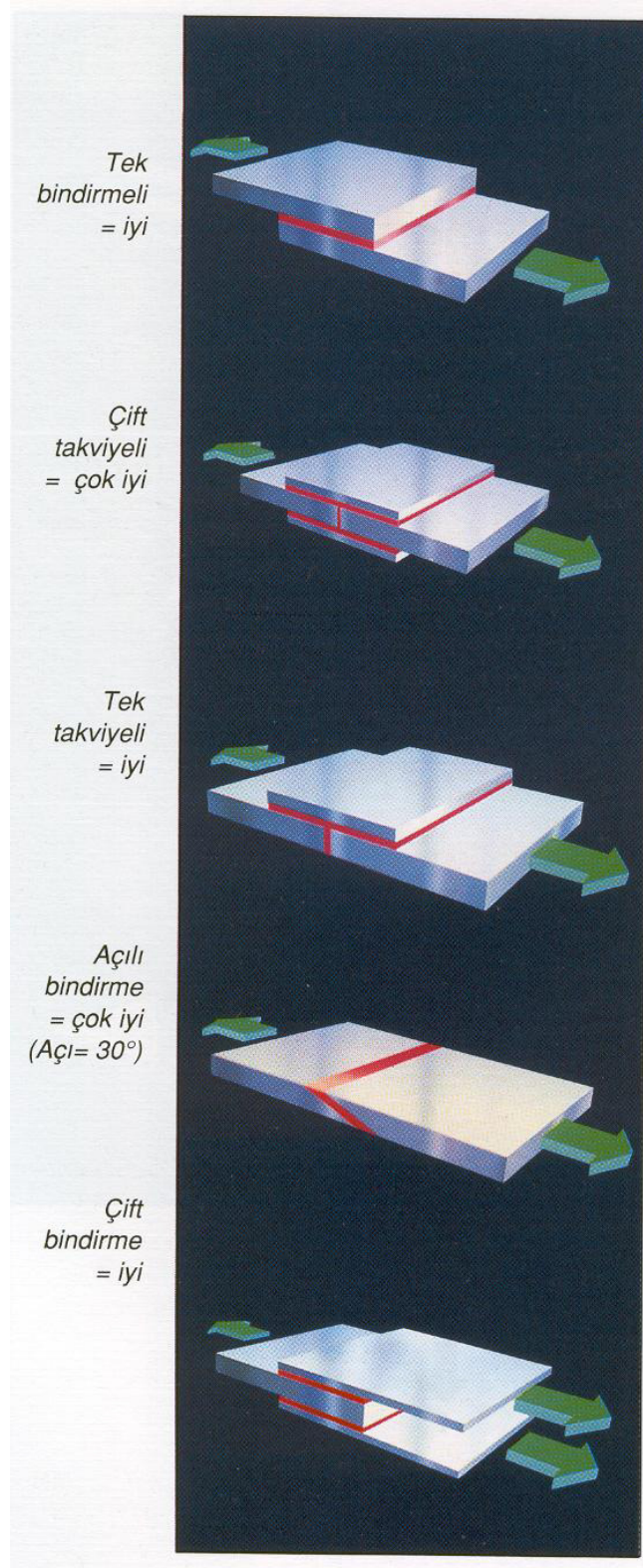


Şekil 2.19. En yaygın yük tipleri ve yapışma çizgisindeki gerilme dağılımları [1]



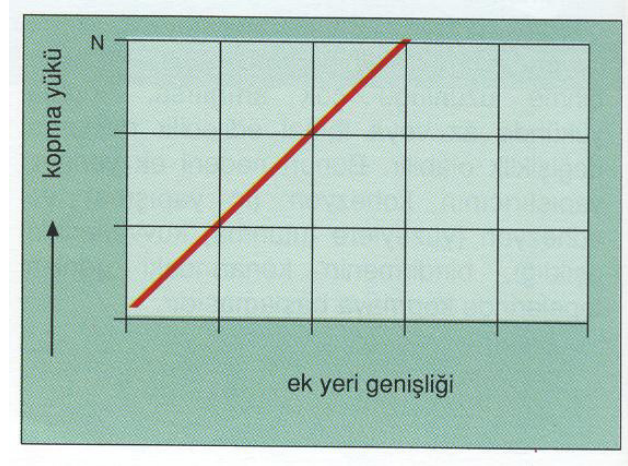
Şekil 2.20. Soyulma yükleri ve mümkün olan tasarım çözümleri [1]

Eksantrik kuvvetlerden kaçınılmalı: Üst üste binen bir ek yerinin düzgün kesme gerilim dağılımı göstermemesi için birçok neden vardır. Sebeplerden biri, böyle bir ek yerine etki eden eksantrik kuvvetlerin eğilme momentine yol açmasıdır. Bu eğilme momenti, özellikle yapışma alanının kenarlarında ilave çekme gerilimleri doğurur. Şekil 2.21'de görüldüğü gibi, yapışma çizgisine etki eden eksantrik kuvvetlerin yol açtığı eğilme momentinin olumsuz etkilerini en aza indirmenin çeşitli yolları vardır [1].



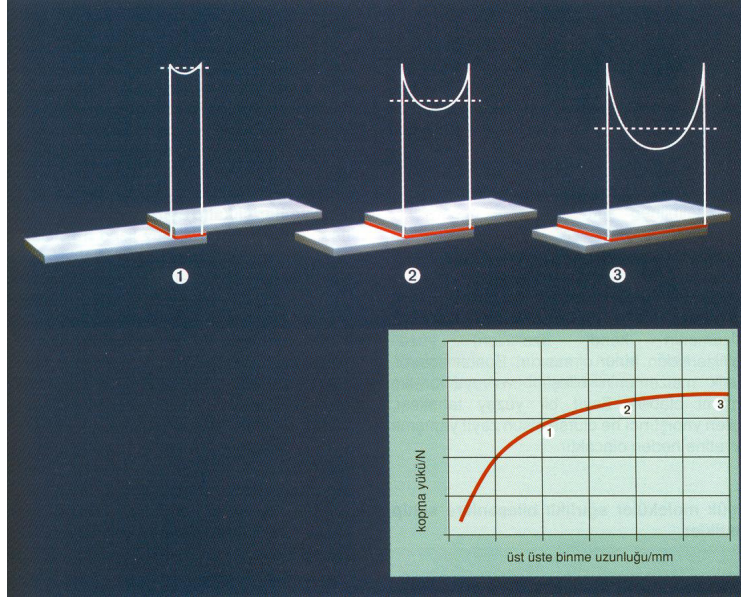
Şekil 2.21. Eksantrik kuvvetlerden kaynaklanan problemlerin muhtelif çözümleri [1]

Ek yeri genişliği artırılmalı: Ek yeri genişliğini artırmakla kesme gerilim dağılımı değişmez. Yani bindirmeli ek yerlerinin kopma yükü, ek yeri genişliğiyle aynı oranda artar. Şekil 2.22’de görüldüğü gibi, ek yeri eni iki katına çıktığında kopma yükü de iki kat artmaktadır.



Şekil 2.22. Kopma yükünün ek yeri genişliği artması ile değişimi [1]

Ek yeri bindirmesi optimize edilmeli: Ek yeri bindirmesinin optimize edilmesi yalnızca ek yeri uzunluğunun olabildiğince uzatılması anlamına gelmez, çünkü kopma yükü ek yeri uzunluğu veya yapışma alanıyla orantılı olarak artmaz. Kesme gerilim dağılımı eğrisinden, yapışma bölgesi kenarlarının ortaya oranla daha yüksek gerilime dayanması gerektiğini görüyoruz (Şekil 2.23). Üst üste binme uzunluğu çok arttırılırsa, kopma yükünde az veya ihmal edilebilir miktarda değişiklik olabilir. Bunun nedeni ek yerinin, yapıştırıcının kohezyon ve adhezyon kuvvetlerinin aşıldığı, bindirmenin kenarındaki gerilim tepelerinde kopmaya başlamasıdır. Şekil 2.23’de, kesme gerilimi ortalama değerinin, bindirme uzunluğu arttıkça düştüğü, bunun neticesinde kopma yükünde orantısız bir artış meydana geldiği görülmüyor. Buradan da görüleceği üzere; eğer yükü taşımak için yapışma yüzeyini artırmak gerekiyorsa, ek yeri bindirmesini arttırmaktansa ek yeri genişliğini artırmak daha iyi sonuç verecektir [1].



Şekil 2.23. Bindirme uzunluğunun artması ile kopma yükündeki değişim [1]

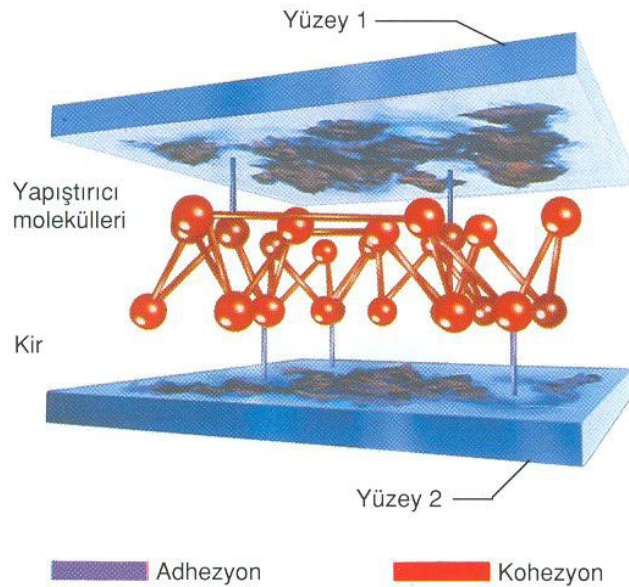
Yapışma çizgisi kalınlığı: Daha kalın bir yapışma çizgisi ek yerini kesme gerilimine daha dayanıklı hale getirir [1]. Ayrıca yapıştırma kalınlığı arttığında ısıl gerilmelerde düşüş olur. Termal gerilmelerin olabildiğince düşük olması istenen tasarımlarda, yapıştırıcı kalınlığı olabildiğince artırılmalıdır [12].

Yapışma tabakası kalınlığının artırılması genelde bağlantı dayanımını artırır ancak bazı durumlarda, farklı yapıştırma geometrilerinde her zaman geçerli olmayabilir. Bu nedenden dolayı yapıştırıcı cinsine ve geometrisine göre optimum kalınlıkta yapıştırıcı uygulanmalıdır.

2.4. Yapıştırma Yüzey Ön İşlemleri

Yapıştırma bağlantılar, yapıştırıcı ve yüzeyler arasında tam temas olmamasından olumsuz etkilenirler. Başarılı bir yapıştırma için tasarımda, uygun bir ön işlem ve uygun yapıştırıcı belirlenmelidir. Basit mekanik temizleme ve kimyasal yağ almadan, karmaşık fiziksel yüzey hazırlamaya kadar birçok ön işlem yöntemi mevcuttur [1].

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 kopar. Doğru yüzey hazırlama yapıldığında, yapıştırıcıdan beklenen kuvvet elde edilebilecek ve kopmalar yapıştırıcının kohezyon kuvvetinin aşılması ve yapıştırıcı tabakasının ikiye ayrılması şeklinde olacaktır. Yapışma kuvveti büyük ölçüde yapıştırılacak yüzeyler ile yapıştırıcı arasındaki adhezyon kuvveti tarafından belirlenir. Yüzeyler iyi temizlendiği ve ön işlem yapıldığı oranda yapışma kuvvetinin artacağı açıktır (Şekil 2.24) [7].



Şekil 2.24. Yapıştırılacak yüzeylerdeki kirlerin adhezyonu düşürmesi [1]

Yüzey hazırlama, yalnızca yapıştırma bağlantısının ilk kuvveti için değil, uzun vadedeki dayanımı için de çok önemlidir. Yüzey hazırlama yöntemleri en azından, yağı, gresi ve yüzeye tutunma kuvveti yapıştırıcıminkinden az olabilecek kaplamaları temizlemelidir. Birçok plastik ve metal malzemede basit zımparalama veya solventle temizleme kullanılır. Ancak bazı metallerde, iyi bir yapışma veya uzun vadeli ortam şartlarına dayanım elde etmek için bu basit yüzey hazırlama yöntemleri yeterli olmayabilir [1] .

Yüzey pürüzlülüğü yapıştırma bağlantılarının mukavemetine önemli derecede etki eder. Yapıştırıcının pürüzler arasında girip sertleşmesi bir şekil bağı meydana getirir. Bu nedenle, yapıştırılacak yüzeylerin çok parlak olmaması gerekir. Ancak pürüzlerin mukavemete ne derece etkidiğini tayin etmek güçtür. Yapıştırmalı birleştirmede iyi ve kaliteli bir bağ elde etmek için yüzeylerin en uygun şekilde hazırlanması esastır [13].

Yapıştırma bağlantısının kalitesi açısından 3 ile 10 µm pürüz derinlik önerilmektedir. Yapıştırılacak yüzeylerin yağdan iyice temizlenmesi birçok halde yeterli gelir. Ancak yüzeylerde oksit tabakası varsa bunun da giderilmesi gerekir [4].

Yüzey hazırlama, aşağıdaki fonksiyonların bir veya bir kaçını birlikte gerçekleştirdiği için bağlantı dayanım kalitesini artırır [14].

- 1- Yüzeydeki kirleri kaldırır.
- 2- Absorbe edilen suyu kontrol eder.
- 3- Yüzey pürüzlülüğünü kontrol eder.
- 4- Oksit oluşumunu kontrol eder.
- 5- Yapıştırıcı ve esas malzemeyi birbirinden korur.
- 6- Esas malzemenin kristal yapısını yapıştırıcının moleküler yapısına uydurur.

Adhezyon kuvveti şu şekilde artırılabilir:

- 1- Sadece yağ ve kirden arındırma
- 2- Yağını temizleme, aşındırma ve artık malzemelerin temizliği
- 3- Tekrar yağdan arındırma ve kimyasal ön işlem

Yüzeyler için ne tip ön işlem yöntemi uygulanırsa uygulansın yapışmanın kalitesi artacaktır [7].

2.4.1. Yüzeylerin yağdan arındırılması

Mümkün olan en iyi yapışmayı elde etmek için yapıştırılacak yüzeylerden yağ, gres, toz ve diğer kalıntıların tamamen temizlenmesi gerekir. Kalıntı bırakmadan buharlaşan solventler buna uygundur. Alkalin veya asit bazlı sulu temizleyiciler her zaman korozyon önleyici içerirler. Bunlar eğer temizleme sonrası yüzeyde kalırsa, yapışma kuvvetini azaltabilir veya yapıştırıcının kürleşmesini engelleyebilir. Her durumda tüm yüzeyler iyice silinmelidir. En önemli solventler ve temizleme kapasiteleri Tablo 2.11’de görülebilir [1].

Tablo 2.11. Önemli solventler ve temizleme kapasiteleri [1]

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

Solventler ile temizlik yapılırken daha iyi netice almak için, yüzeylerden kiri ayıran kimyasal işlem mekanik olarak da desteklenebilir [7]. Yüzeylerin yağdan arındırılması için hazırlanan çözeltilerin, %1'lik çözelti konsantrasyonunda ve kurutma pozisyonunun dikey olduğu durumlarda ön işlemden daha iyi netice alınmaktadır [1].

2.4.2. Mekanik ön işlem ve aşındırma

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 [1]. Aşındırma işleminin amacı, yapışmada iyi bir yüzey elde etmektir. Yani yapışma yüzeylerindeki toz, oksit vb. malzemelerin temizlenmesidir [7]. Etkili bir yüzey aşındırması sadece yüzey alanını artırmakla kalmaz ayrıca yüzeydeki yabancı madde tabakalarını da temizler. Aşındırma yöntemlerinden sonra yüzeyde kalan katı taneler temiz, kuru, basınçlı hava ile temizlenir [13].

2.4.3. Kimyasal ön işlem

Yağdan arındırma ve aşındırma ön işlemleri yapışma için yeterli olabilir ancak yapışmanın kalitesini daha da artırmak için, yapışma yüzeylerinin kimyasal ön işleme tabi tutulması, maksimum yapışma mukavemeti ve dayanıklılığı artırmak açısından önem taşır.

Kimyasal ön işlem malzemelerin tipine göre iki ana başlık altında ele alınır:

- 1- Metalik malzemelerin kimyasal ön işlemi
- 2- Plastik malzemelerin kimyasal ön işlemi

Ayrıca metaller üzerinde boya varsa, kimyasal ön işlemden önce kesinlikle sökülmiş olmalıdır. Bu bölümde alüminyum ve alüminyum alaşımları için kimyasal ön işlem ele alınmıştır [7].

2.4.3.1. Alüminyum ve alüminyum alaşımları

Boyanmış alüminyum ve alüminyum alaşımları, yapışma için uygun değildir. Bu tip malzemelerin üzerindeki boya tabakası, yapışma işleminden önce sökülmelidir. Sökme işlemi için aşındırma işlemi iyi sonuç vermez. Bu yüzden alüminyum levhaların üzerindeki anodik oksit film, kromik / sülfürik asit solüsyonları ile sökülür [7].

2.4.4. Primer

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. Yüzey primerleri genellikle, yüzey ile yapıştırıcı arasında kimyasal köprü oluşturarak yapışabilme özelliğini artırır [1]. Tablo 2.12'de uygulanabilir ön işlem yöntemleri yer almaktadır.

Tablo 2.12. Malzemelerin uygulanabilir ön işlem yöntemleri [1]

Malzeme	Ön İşlem Yöntemi			
	Yağ alma	Mekanik aşındırma	Aşındırma	Primer (yapıştırıcıya göre)
Metal	XXX	XXX	X	X
Cam	XXX	X	X	X
Seramik	XXX		X	X
Plastik	XXX	XXX	X	X
Lastik	XXX	X		X
Ahşap	X	XXX		X

XXX : tercih edilen yöntem

X : alternatif veya ilave yöntem

BÖLÜM 3. SONLU ELEMANLAR METODU

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

3.1. Genel Teorik Bilgi

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

$$K^e u^e = f^e + Q^e \quad (3.1)$$

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

Katılar mekaniğinde aşağıdaki denklem, eleman katılık matrisine karşılık gelmektedir.

$$K^e = StB^e D^e B^{eT} \quad (3.2)$$

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

$$\varepsilon^i = Bu \quad (3.3)$$

(4.3) birim deformasyon vektörünü tanımlamaktadır. (4.4) denklemi ise deplasmanlar cinsinden gerilme vektörünü verir.

$$\sigma = DBu \quad (3.4)$$

Üç boyutta gerilme vektörü aşağıdaki gibidir.

$$\sigma = [\sigma_{xx} \sigma_{yy} \sigma_{zz} \sigma_{xy} \sigma_{xz} \sigma_{yz}] \quad (3.5)$$

3.2. Metot

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

- i. Denge problemleri: Gerilme yığılması, gerilme analizi,
- ii. Yayılma problemleri: Dinamik yükler altında çatlak ve kırılmalar,
- iii. Özdeğer problemleri: Dışli yükler altında tabi frekans.

Mühendisliğin birçok dalında elastik sürekli ortamda, gerilme ve deformasyon dağılımlarının çözümü aranır. Bir elastik ortamda temas noktalarının gerçek sayısı sonsuzdur. Dolayısıyla sayısal çözümde en büyük zorluk buradadır. Sonlu elemanlar metodunda bu zorluklar aşağıda gösterildiği gibi düzenlenebilir ve yaklaşıklık sağlanabilir [15].

- i. Sürekli ortam, hayali çizgiler veya yüzeylerle belirli sayıda sonlu elemanlara ayrılır.
- ii. Elemanlar, sınırları üzerinde bulunan belirli sayıda düğüm noktasında temas halinde kabul edilir.
- iii. Her sonlu eleman içindeki yer değiştirmeyi tanımlamak için, düğüm noktalarının yer değiştirmeleri cinsinden fonksiyon veya fonksiyonlar seçilir.
- iv. Yer değiştirme fonksiyonları, bir eleman içinde, düğüm noktaları yer değiştirmeleri cinsinden yer değiştirme durumunu genel olarak tarif eder. Bu yer değiştirmeler, eleman içindeki gerilme durumunu tarif eder.

3.2.1. Denge problemlerinin çözümü

Çözüm için önce elemanın tipi, boyutu ve sayısı belirlenir. Ortama özgü katılık matrisi uygun varyasyon metotlarından biriyle belirlenir. Bu katılık matrisinin tersi alınır. Bu ters matris ile dış yüklerden oluşan sütun matrisinin çarpımı yer değiştirme sütun matrisine eşitlenir. Böylece her bir elemana ait köşe noktalarının gerilme fonksiyonları bulunarak problem çözülmeye başlanır. Bu (4.6)'daki gibi gösterilir.

$$K.\phi = p \quad (3.6)$$

Bu ifadede K; katılık matrisi, ϕ ; bilinmeyen gerilme fonksiyonu değerleri, p; sabit değerler sütun vektörü (genel olarak dış yükler veya verilen düğüm noktalarının koordinatlarını belirleyen fonksiyon). Yukarıdaki formülün çözümü için direkt veya yaklaşık çözüm metotlarından biri kullanılabilir [15].

3.2.2. Yöntemde dikkat edilmesi gereken hususlar

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

BÖLÜM 4. PROBLEMİN TANIMI VE SONLU ELEMANLAR MODELİ

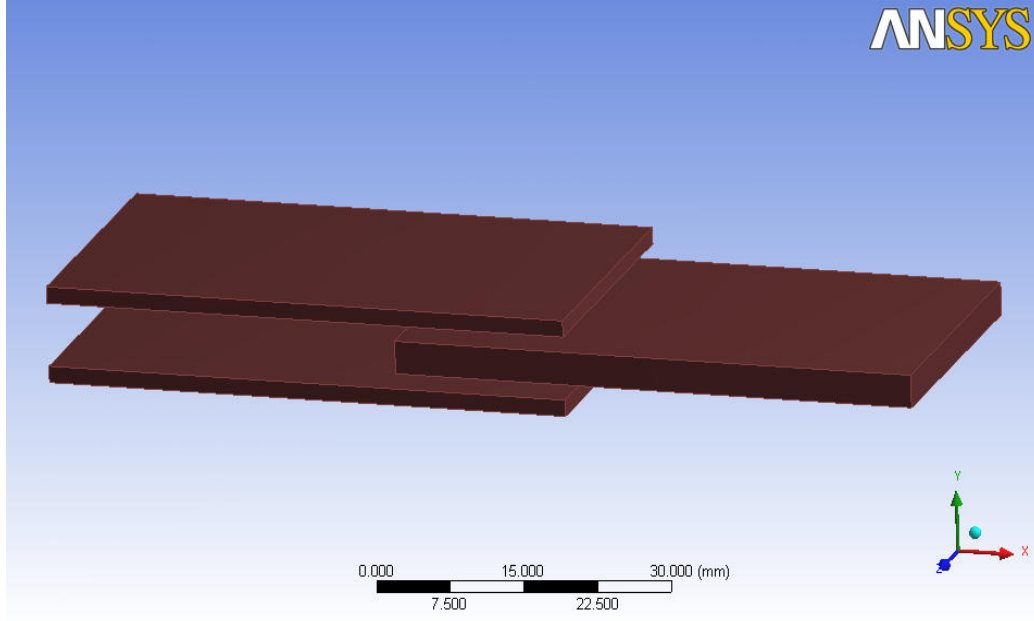
Bundan önceki çalışmalarda sabit bağlantı üzerindeki yük dağılımının ölçülmesi ve tahmin edilmesi oldukça sınırlı kalmıştır. Bu çalışmada, alüminyum malzemelerin çeşitli (yapıştırma bağlantılı ve cıvatalı bağlantılı) çift bindirme bağlantılarındaki gerilmeleri; kullanılacak yapıştırıcının cinsi, yapıştırma tabakası dairesel geometrisinin çapı, yapıştırma tabakası dörtgen geometrisi alanı, yapıştırıcının kalınlığı, kullanılacak cıvatanın anma çapı değiştirilerek ayrı ayrı incelendi.

Daha önceden yapılan çalışmaların birçoğunun dörtgen yapıştırıcı tabakası geometrisi düşünülerek yapıldığı görülmüştür. Yapılan çalışmada endüstrideki kullanılabilirliği de göz önünde bulundurularak, dairesel geometrideki yapıştırıcı tabakasının gerilme davranışları incelendi ve dörtgen geometrideki yapıştırıcı tabakası gerilme davranışlarıyla karşılaştırıldı.

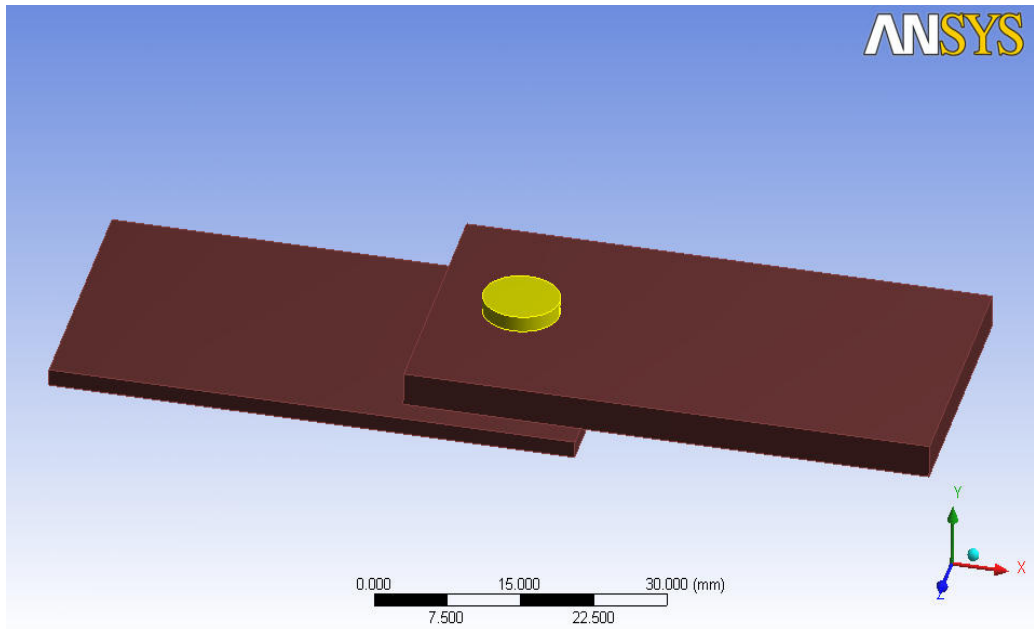
Amaç, geliştirilmiş yapısal performansı etkileyen bağlantı konfigürasyonunu ve şartlarını belirlemektir. Yapılan çalışmada ANSYS Workbench sonlu elemanlar programı kullanılmıştır.

4.1. Yapıştırıcı Bağlantı Modeli

Yapıştırıcı bağlantı modeli olarak çift bindirmeli bağlantı seçildi. Yapıştırıcı tabakaları dairesel ve dörtgen geometriye sahip olmak üzere modellendi.



Şekil 4.1. Çift bindirmeli yapıştırıcılı bağlantı



Şekil 4.2. Çift bindirmeli yapıştırıcılı bağlantıda dairesel yapıştırıcı geometrisi ve yerleşimi

Bağlantı; yapıştırılan plakaların boyları $a=55$ mm, genişlikleri $b=30$ mm, üst ve alt plakaların kalınlıkları $e_1=1,6$ mm, orta plakanın kalınlığı $e_2=3,2$ mm, dairesel yapıştırıcı tabakalarının merkezlerinin plaka kenarlarına (dikey yakın kenar) uzaklığı $c=9$ mm olmak üzere modellendi. Plakaların kalınlıkları, çift bindirmeli yapıştırıcı bağlantılar için kullanılan ASTM D3528 test standardı baz alınarak ölçülandırıldı.

Çalışmanın, yapıştırıcı kullanılarak hazırlanan bağlantının gerilmelerinin inceleneceği bölümünde; yapıştırıcı kalınlığı, yapıştırıcı dairesel tabaka geometri ölçüleri, yapıştırıcı dörtgen tabaka geometri ölçüleri ve yapıştırıcı cinsi birer parametre olarak ele alınmıştır. Yapıştırıcı cinsi olarak Araldite 420 A/B epoksi yapıştırıcısı A, Loctite 21425 epoksi yapıştırıcısı B tipi yapıştırıcı olarak tanımlanmıştır. Plakaların kalınlıkları sabit tutularak yapıştırıcı kalınlıkları $e_3=1$ mm, $e_3=1,25$ mm, $e_3=1,5$ mm; dairesel yapıştırıcı geometrisinin çapları $R=8$ mm, $R=10$ mm, $R=12$ mm alınıp yapıştırıcı cinsi A ve B ayrı ayrı değiştirilerek söz konusu parametrelerin bağlantı mukavemetine etkileri incelendi. Değişen dairesel yapıştırıcı geometrisi çapları için aynı alanda ve aynı kalınlıkta dörtgen yapıştırıcı tabakalar modellenerek söz konusu parametrelerin bağlantı mukavemetine etkileri incelendi ve dairesel tabaka ile dörtgen tabaka için gerilme değerleri karşılaştırıldı. Her bir parametreye göre değişen gerilmeler karşılaştırılmıştır.

4.1.1.Yapıştırıcılı bağlantı modelinde kullanılan malzemeler ve özellikleri

Çalışmanın model oluşturma safhasında kullanılan yapıştırıcı malzemelerinin seçimi ve bunların mekanik özelliklerinin tayini önemli bir yer tutmaktadır. Zira, bu özellikleri ile bir bağlantının en uygun emniyetli yükleme durumuna karar verilecektir. Modelde, yapıştırıcı cinsi olarak Araldite 420 A/B (A tipi) ve Loctite 21425 (B tipi) ticari isimli yapıştırıcılar kullanıldı. Yapıştırılan plakalar için ise alüminyum alaşımı AA 6082-T6 kullanıldı. Söz konusu yapıştırıcılar ve kullanılacak yapıştırılan malzemeler endüstride beraber uyumlu bir şekilde kullanılmaktadırlar. Yapıştırıcı ve yapıştırılan çiftler genelde tek bindirme ve çift bindirme bağlantısı olarak uçak ve otomobil sanayisinde kullanılmaktadır.

4.1.1.1. Araldite 420 A/B

Genelde uçak ve otomobil sanayisinde kullanılan Araldite 420 A/B özel tip bir epoksi yapıştırıcıdır. Islatma ve penetrasyon kabiliyeti iyidir. Farklı polaritede malzemelerle olan uyumu iyidir. Kendi molekülleri arasındaki çekim gücü (kohezyon) kuvvetlidir [19]. Tablo 4.1’de yapıştırıcının bazı özellikleri gösterilmektedir.

Tablo 4.1. Araldite 420 A/B epoksi yapıştırıcının özellikleri [16]

Young Modülü (GPa)	1,82
Poisson Oranı	0,3
Çekme Dayanımı (MPa)	30,29
Akma Gerilmesi (MPa)	8,0

4.1.1.2. Loctite 21425

Uçak ve otomobil sanayisinde kullanılan epoksi tür yapıştırıcıdır. Hızlı kürleşme istenen durumlarda tercih edilirler. Kendi molekülleri arasındaki çekim kuvveti yüksek ve ıslatma kabiliyeti iyi bir epoksidir. Alüminyum alaşımı malzemeler ile birlikte sıkça kullanılmaktadırlar. Tablo 4.2’de söz konusu yapıştırıcının bazı özellikleri verilmektedir [20].

Tablo 4.2. Loctite 21425 epoksi yapıştırıcının özellikleri [17]

Young Modülü (GPa)	3,0
Poisson Oranı	0,31
Öz kütle (kg/m^3)	1500

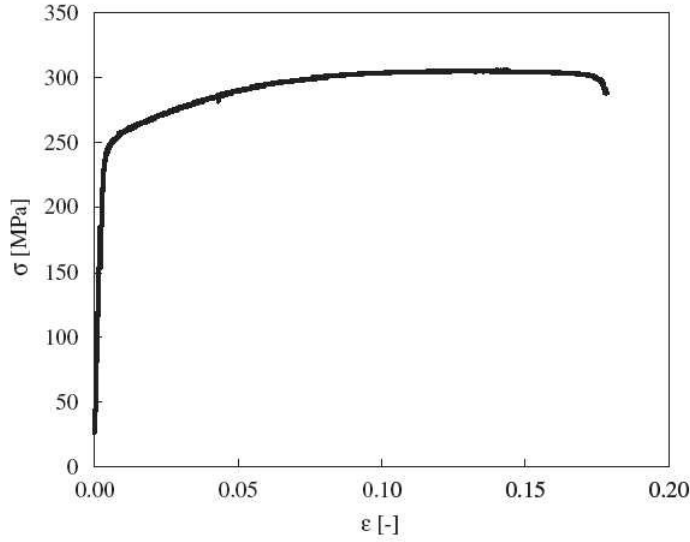
4.1.1.3. Alüminyum alaşımı AA 6082-T6

Endüstride çoğunlukla yapıştırma, lehim ve kaynak bağlantılarında kullanılırlar. Ekstrüzyon yöntemi ile üretilirler ve görünümünün bozulmaması için renkli veya renksiz olarak kaplanırlar. Alüminyum alaşımları ilave edilen metallere göre sınıflandırılırlar. 6XXX notasyonunda adlandırılırlar, bu sınıfın özelliği silisyum ve magnezyumlu alüminyum alaşımı olmasıdır. T6 notasyonu ise ısıtılma işlem halini göstermektedir. T6 alaşımın yapay yaşlandırmadan sonra sertleştirildiğini gösterir. Korozyona dayanımı iyidir. 100 HV sertliğine sahip olup AA 6082 T sınıfının en sert alaşımıdır [21].

Tablo 4.3’de alüminyum alaşımı AA 6082-T6’nın bazı özellikleri verilmektedir. Şekil 4.3’de ise söz konusu alüminyum alaşımına ait 1 mm plaka için gerilme-şekil değiştirme eğrisi verilmiştir.

Tablo 4.3. Alüminyum alaşımı AA 6082-T6 özellikleri [16]

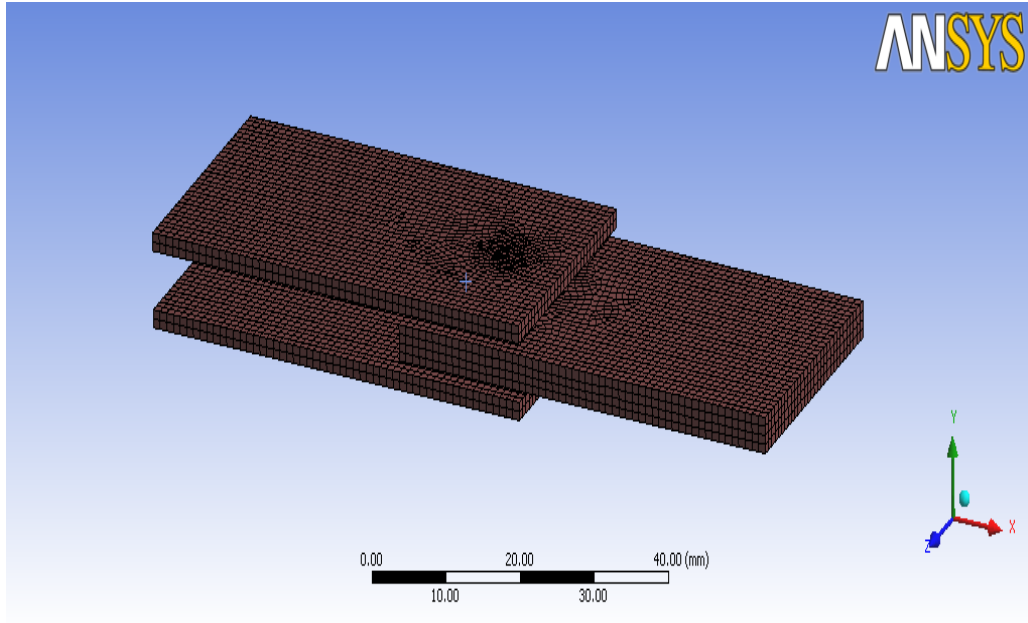
Young Modülü (GPa)	69,5
Poisson Oranı	0,346
Kayma Modülü (GPa)	25,34
Çekme Dayanımı (MPa)	305,6
Akma Gerilmesi (MPa)	245,1
Yüzde Uzama (%)	16,5



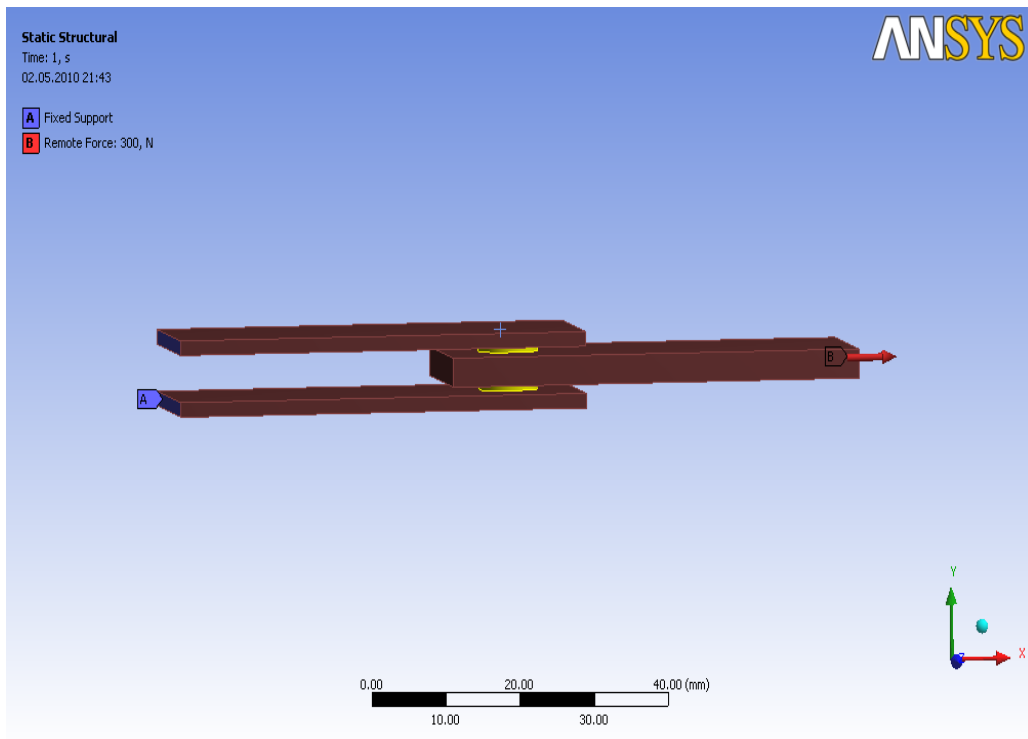
Şekil 4.3. 1 mm plaka için AA 6082-T6'nın gerilme-şekil değiştirme eğrisi [16]

4.1.2. Yapıştırıcılı modelin tanımlanması ve sınır şartları

Bağlantı tipi olarak çift bindirmeli bağlantı, yapıştırıcı tabakası olarak dairesel ve dörtgen tabakalar seçilmiştir. 2 yapıştırıcı tipi için yapıştırıcı tabakası çapları 8 mm, 10 mm, 12 mm ve tabaka kalınlıkları 1 mm, 1,25 mm, 1,5 mm olarak ayrı ayrı modellenerek gerilme değerleri elde edildi. Ayrıca 2 yapıştırıcı tipi için, dairesel tabakanın değişen çaplarında aynı yapışma (yüzey) alanına sahip dörtgen yapıştırıcı tabakaları modellenmiş olup ve tabaka kalınlıkları 1 mm, 1,25 mm, 1,5 mm olmak üzere ayrı ayrı incelendi. Modeller kontak kısımlarda daha fazla elemana bölündü. Tüm modeller; bir uçtan ankastre olup diğer uçtan 300 N çekme kuvveti ile zorlanmaktadır. 8 mm yapıştırıcı çaplı modelde 23252, 10 mm yapıştırıcı çaplı modelde 28952, 12 mm yapıştırıcı çaplı modelde 33178 eleman olmak üzere bağlantı modellenmiştir. 8 mm yapıştırıcı çapla aynı alandaki dörtgen yapıştırıcılı modelde 21911, 10 mm yapıştırıcı çapla aynı alandaki dörtgen yapıştırıcılı modelde 23629, 12 mm yapıştırıcı çapla aynı alandaki modelde 31604 eleman olmak üzere bağlantı modellenmiştir. Şekil 4.4 'de modelin meshlenmiş hali ve Şekil 4.5 'de de uygulanan sınır şartları gösterilmektedir.



Şekil 4.4. Modelin parçalara bölünmüş hali



Şekil 4.5. Modele uygulanan sınır şartları

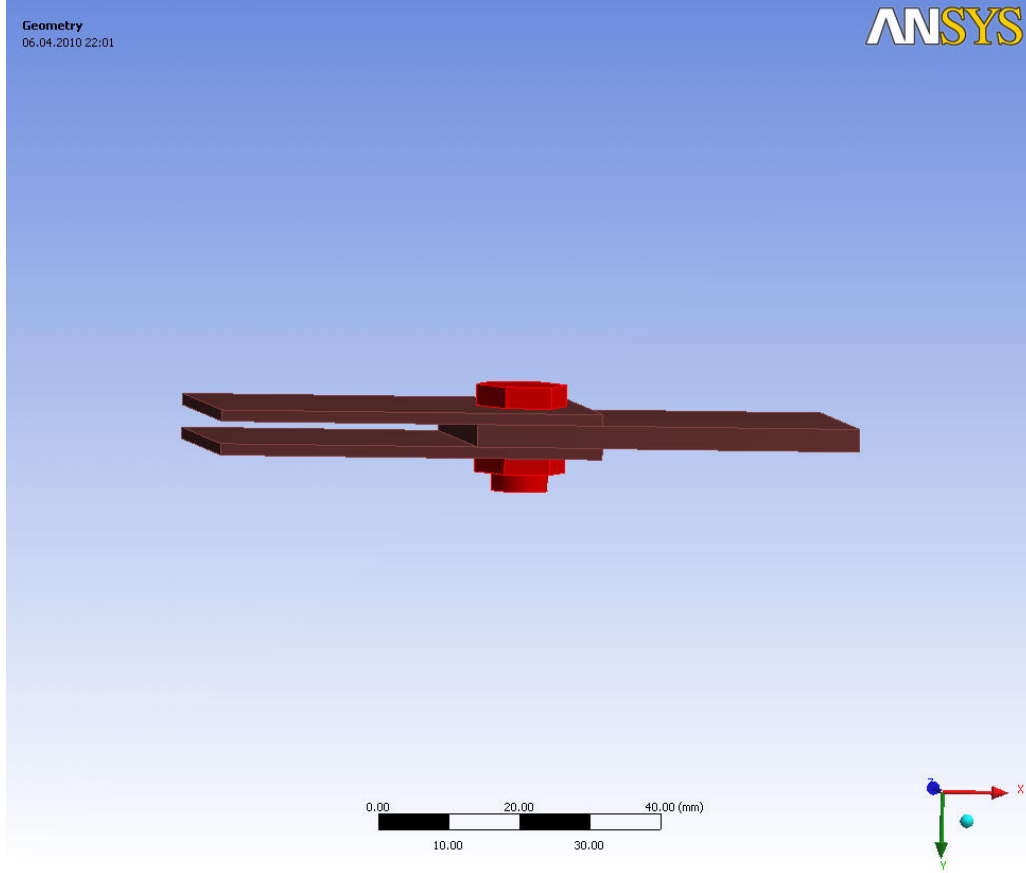
Analiz kısmında, 8 mm, 10 mm, 12 mm yapıştırıcı tabakası çapları ve dairesel tabakalarla aynı yapışma alanına sahip dörtgen tabakalar için değişik yapıştırıcı kalınlıklarında formlar ele alınmış olup bunlara ait maksimum eşdeğer ve kesme gerilmeleri grafiklerde gösterildi.

Her iki yapıştırıcı tabakasının da orta plaka ile temas yüzeylerindeki gerilmeler yaklaşık olarak aynı olduğundan, tek yapıştırıcı tabakasının orta plaka ile temas yüzeyindeki gerilmeler grafiklere aktarıldı.

4.2. Cıvatalı Bağlantı Modeli

Bağlantı modeli olarak seçilen çift bindirmeli bağlantının, yapıştırıcı ile montajı önceki kısımda yapılmıştı. Bu bölümde ise çift bindirmeli bağlantı M8, M10 ve M12 cıvatalar ile ayrı ayrı montajlanarak modellenmiştir. Şekil 4.6'da modellenen cıvatalı bağlantı tasarımı görülmektedir.

Bir önceki kısımdaki gibi; montajlanan plakaların boyları $a=55$ mm, genişlikleri $b=30$ mm, üst ve alt plakaların kalınlıkları $e_1=1,6$ mm, orta plakanın kalınlığı $e_2=3,2$ mm, cıvata deliklerinin merkezlerinin plaka kenarlarına (dikey yakın kenar) uzaklığı $d=9$ mm olmak üzere modellenmiştir.



Şekil 4.6. Cıvatalı bağlantı modeli

Cıvata kullanılarak yapılan bağlantının eşdeğer gerilmeleri ve kesme gerilmelerinin incelenmesinde; plakaların boyutları sabit tutularak, cıvata anma çapları değişken parametre olarak ele alındı. Çalışmada; altı köşebaşlı M8, M10, M12 cıvatalar ve bağlantıda kullanılacak olan M8, M10, M12 altı köşe somunlar ele alındı. Cıvata çapları değiştirilerek, değişikliklerin bağlantı mukavemeti üzerine etkileri incelendi. Hazırlanan modellerde maksimum eşdeğer ve maksimum kesme gerilmeleri göz önünde bulundurularak karşılaştırmalar yapıldı.

4.2.1. Cıvatalı modelin tanımlanması ve sınır şartları

Ele alınan model bir ucundan ankastre olup diğer ucundan 300 N çekme kuvveti ile zorlanmaktadır (Şekil 4.7). Aynı zamanda sınır şartı olarak her bir cıvata için ayrı ayrı hesaplanmış ön gerilme kuvvetleri (pretension load) programa girildi. Tablo 4.4’de söz konusu cıvatalara ait sıkma tork değerleri görülmektedir. Bu tork değerleri baz alınarak cıvataların ön gerilme kuvvetleri bulunmuştur.

Tablo 4.4. Cıvatalar için tork değerleri [22]

Cıvatalar	Tork Değerleri	
	Kg.m	Nm
M8	3,36	33,00
M10	6,72	66,00
M12	8,66	85,00

Cıvata montaj esnasında sıkıldığında cıvata üzerine bir tork yüklenir. Bu torktan kaynaklı olarak ön gerilme kuvveti (pretension load) cıvata montajında etkili olur. Cıvata üzerindeki tork ve kuvvet arasında aşağıdaki gibi bir ilişki vardır:

$$T = F_i \cdot K \cdot D \quad (4.1)$$

Burada T cıvata sıkma torku, F_i cıvata ön gerilme kuvveti, D cıvata anma çapı, K tork katsayısıdır. Tork katsayı değeri 0,2 ‘dir. Böylece tork ve kuvvet arasındaki ilişki aşağıdaki gibi olur [23].

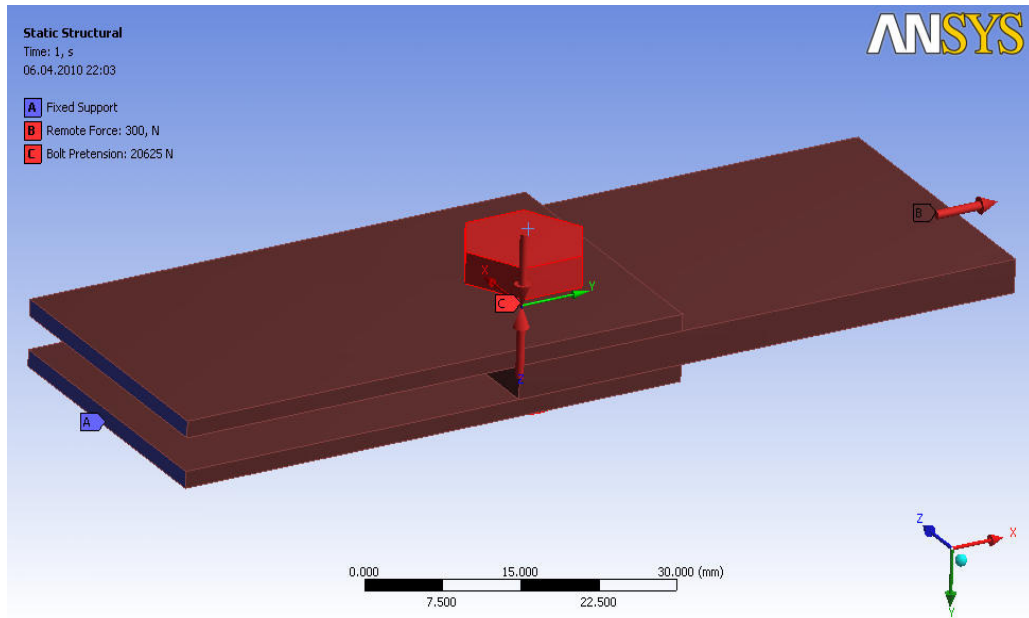
$$T = 0,2 \cdot F_i \cdot D \quad (4.2)$$

(5.2)’ye göre her bir cıvataadaki ön gerilme kuvvetlerini hesaplamak istersek aşağıdaki sonuçları elde ederiz:

$$\text{M8 için; } F_i = \frac{33000}{0,2 \times 8} = 20625 \text{ N}$$

$$\text{M10 için; } F_i = \frac{66000}{0,2 \times 10} = 33000 \text{ N}$$

$$\text{M12 için; } F_i = \frac{85000}{0,2 \times 12} = 35416 \text{ N}$$

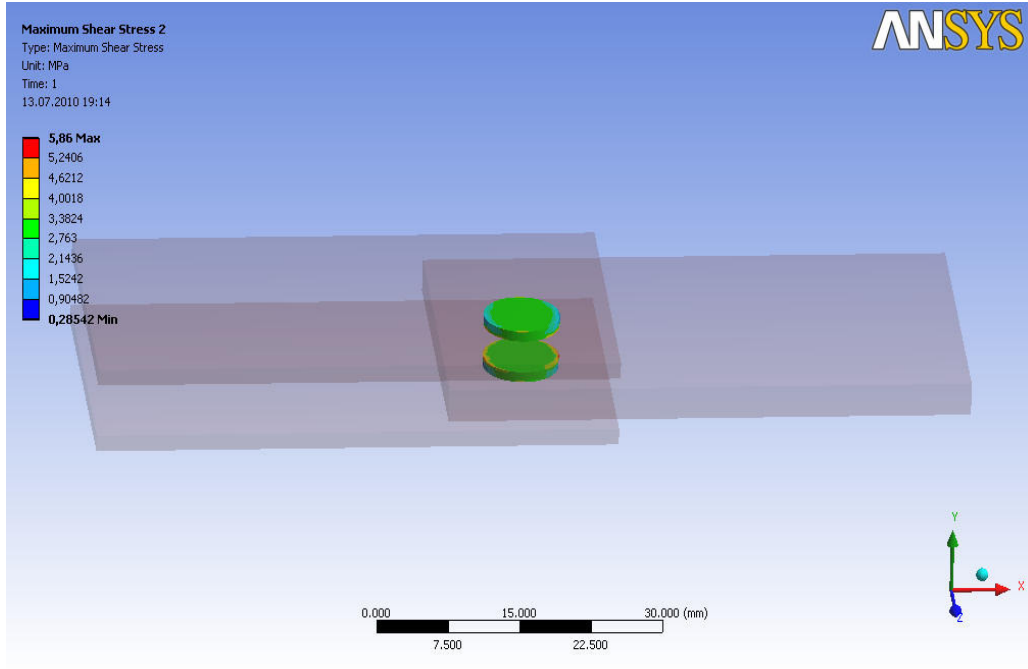


Şekil 4.7. M8 cıvata ile oluşturulmuş model için sınır şartları

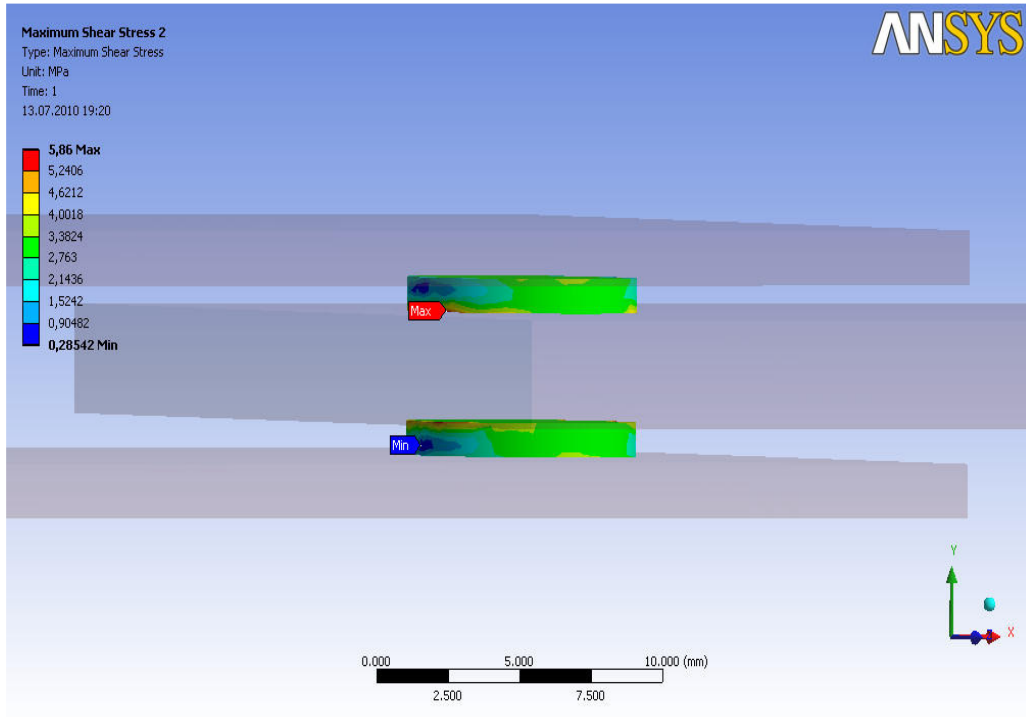
BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bağlantı modellerinde; yapıştırıcı cinsleri, kalınlıkları, dairesel geometrilerinin ölçüleri (çapları), dörtgen yapıştırıcı tabaka geometrinin ölçüleri, cıvatalı bağlantılarda cıvata anma çapları değiştirilerek bulunan gerilme değerleri bu bölümde gösterildi.

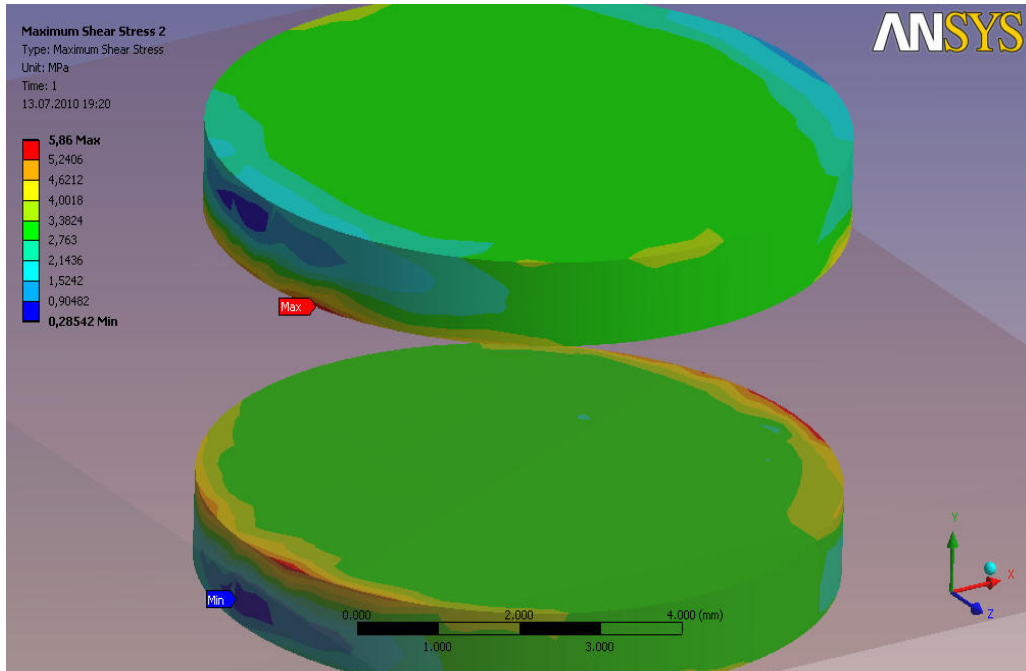
Bu bölümde söz konusu gerilme değerleri göz önünde bulundurularak sonuçlar grafikler halinde ifade edilmiştir. Grafikler; yapıştırıcı cinsi, dairesel yapıştırıcı tabakası çapı, dörtgen yapıştırıcı tabakası ölçüleri, yapıştırıcı kalınlığı ve cıvata anma çapı göz önünde bulundurularak hazırlanmıştır.



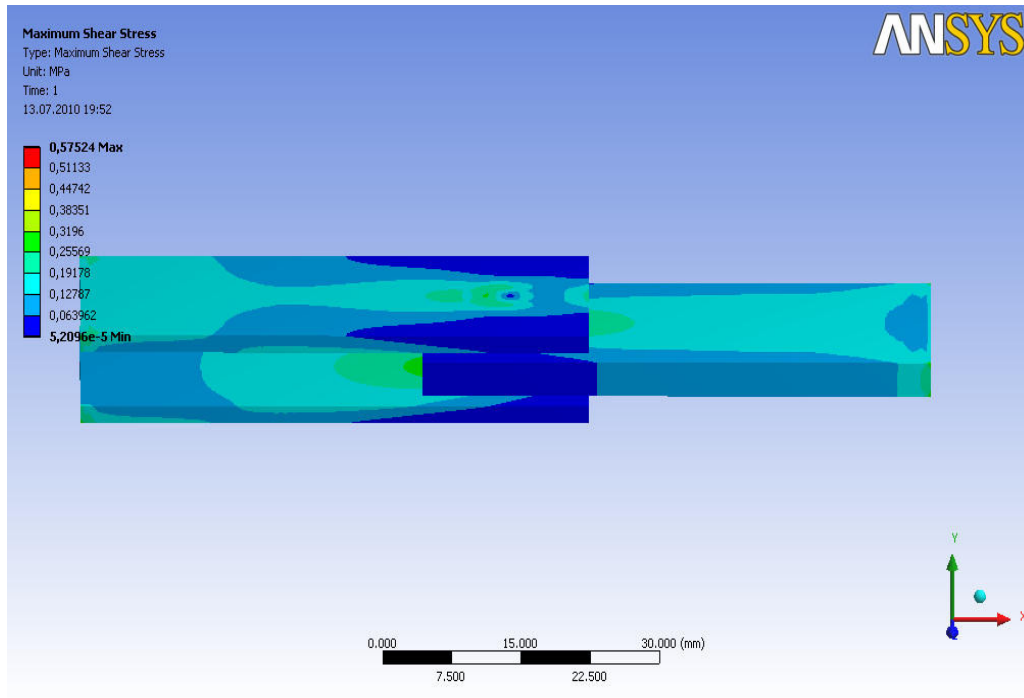
Şekil 5.1. A tipi yapıştırıcı için 8 mm yapıştırıcı tabakası çapı ve 1 mm yapıştırıcı kalınlığında yapıştırıcı tabaka üzerinde oluşan kesme gerilmeleri



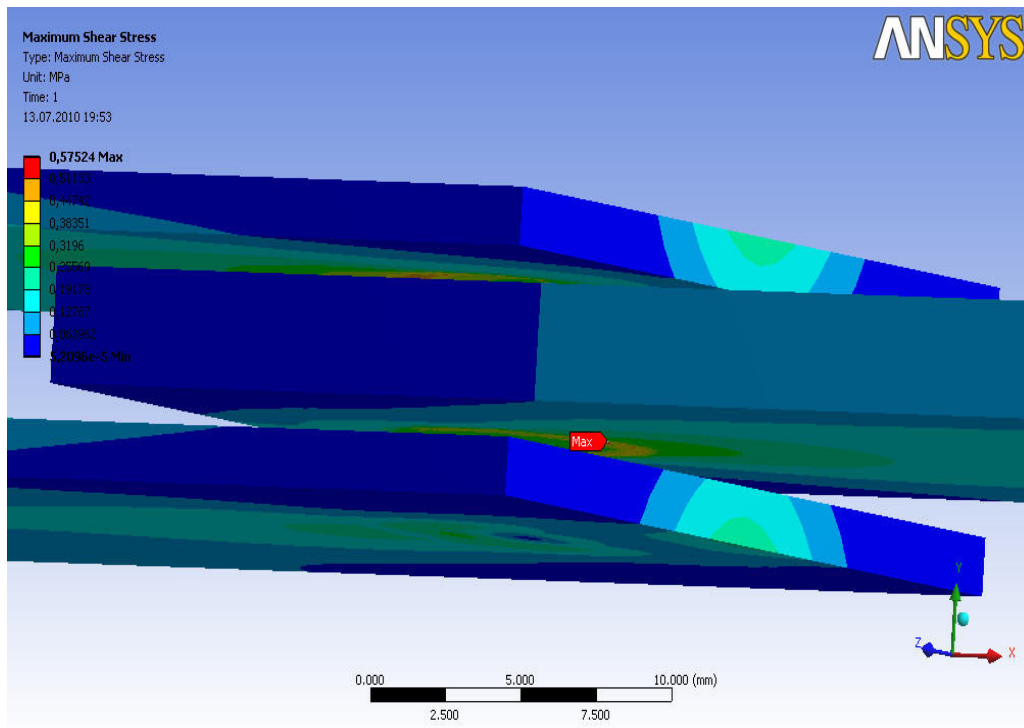
Şekil 5.2. A tipi yapıştırıcı için 8 mm yapıştırıcı tabakası çapı ve 1 mm yapıştırıcı kalınlığında yapıştırıcı tabaka üzerinde oluşan maksimum ve minimum kesme gerilmelerinin gösterimi



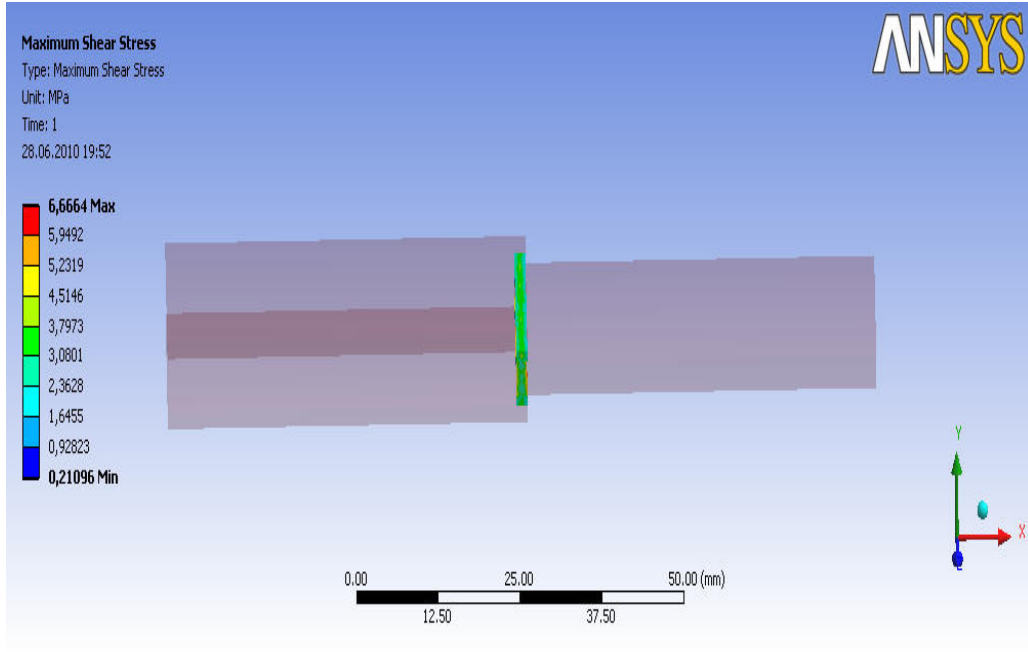
Şekil 5.3. A tipi yapıştırıcı için 8 mm yapıştırıcı tabakası çapı ve 1 mm yapıştırıcı kalınlığında yapıştırıcı tabaka üzerinde oluşan kesme gerilim dağılımları



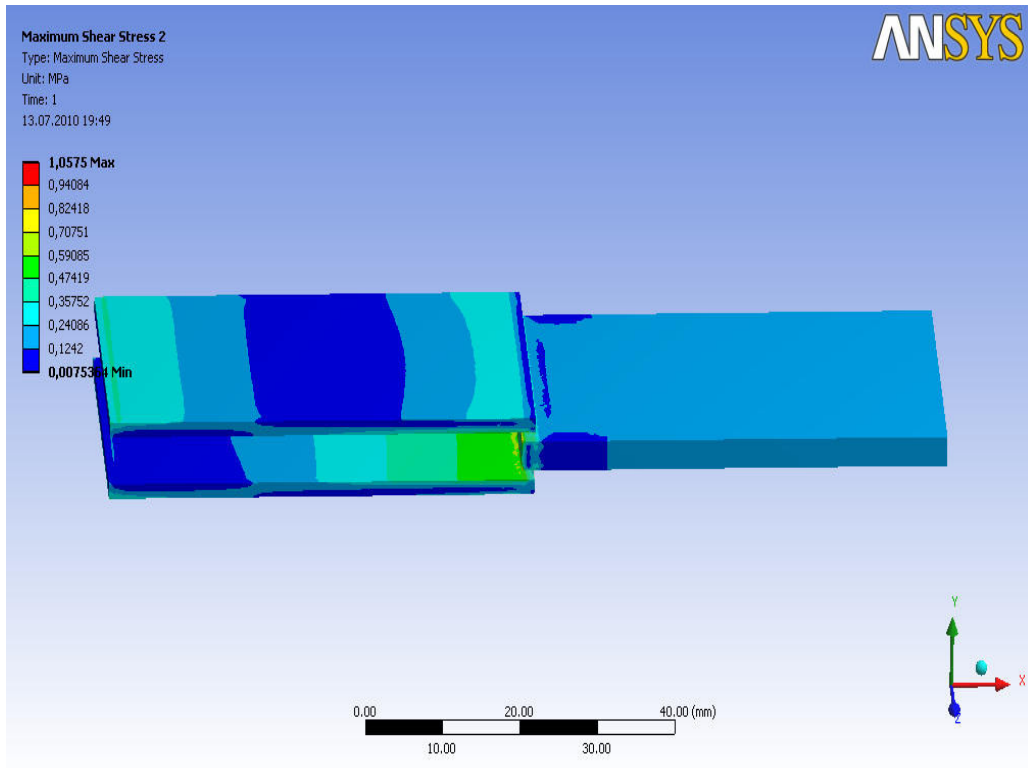
Şekil 5.4. A tipi yapıştırıcı için 8 mm yapıştırıcı tabakası çapı ve 1 mm yapıştırıcı kalınlığı kullanılarak oluşturulan modelde, plakalar üzerinde oluşan kesme gerilmeler



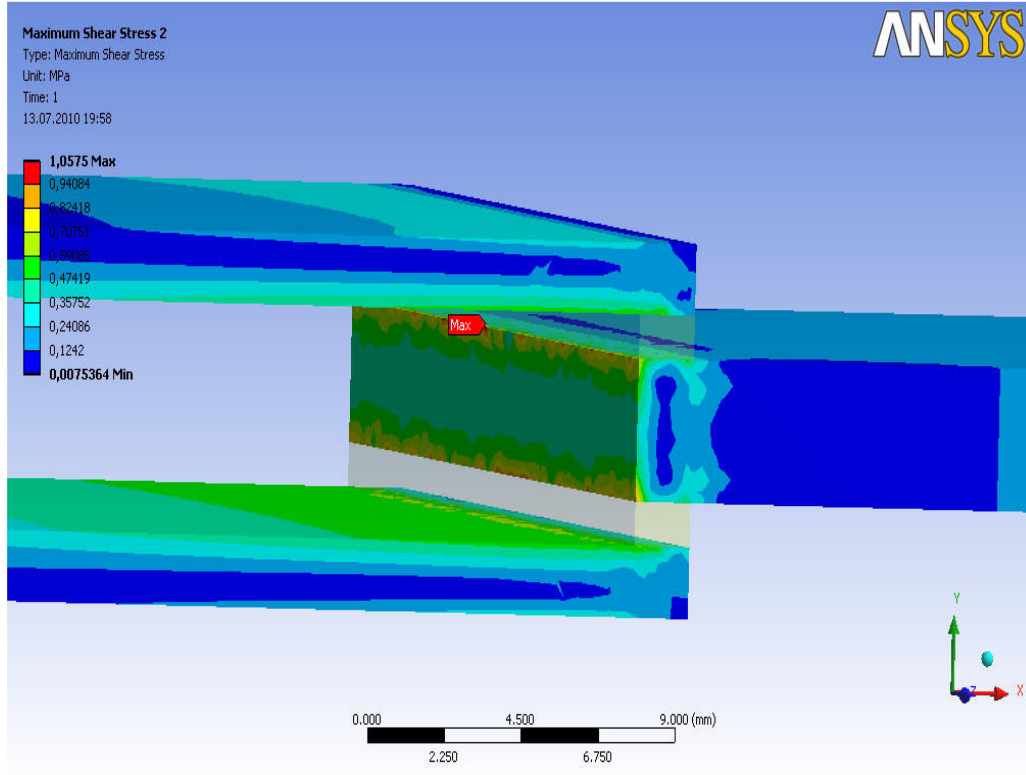
Şekil 5.5. A tipi yapıştırıcı için 8 mm yapıştırıcı tabakası çapı ve 1 mm yapıştırıcı kalınlığı kullanılarak oluşturulan modelde, plakalar üzerinde oluşan maksimum kesme gerilmesi ve yeri



Şekil 5.6. A tipi yapıştırıcı için, 8 mm dairesel yapıştırma tabakası ile aynı yapışma alanına sahip 1 mm kalınlıktaki dörtgen yapıştırma tabakası üzerindeki maksimum kesme gerilmeler



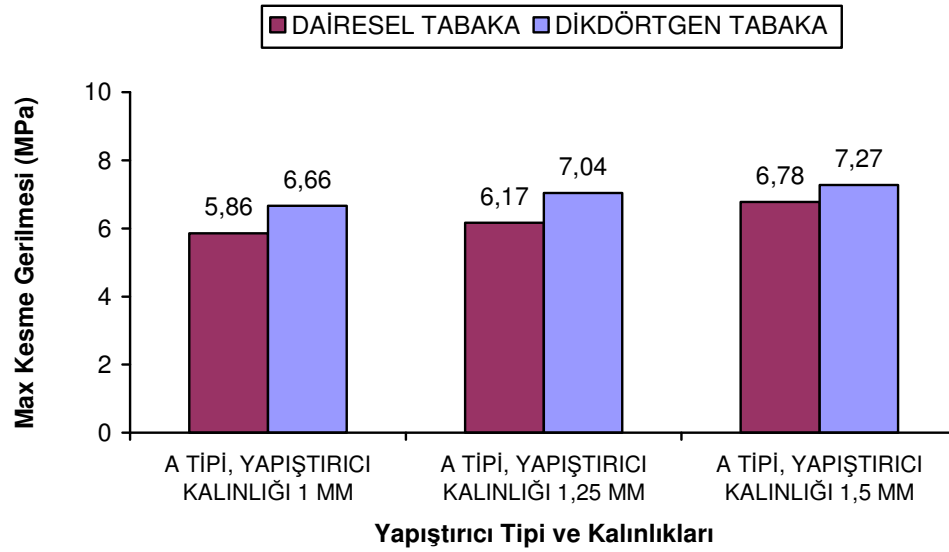
Şekil 5.7. A tipi yapıştırıcı için, 8 mm dairesel yapıştırma tabakası ile aynı yapışma alanına sahip 1 mm kalınlıktaki dörtgen yapıştırma tabakası ile oluşturulmuş modelde, plakalar üzerindeki kesme gerilmeler



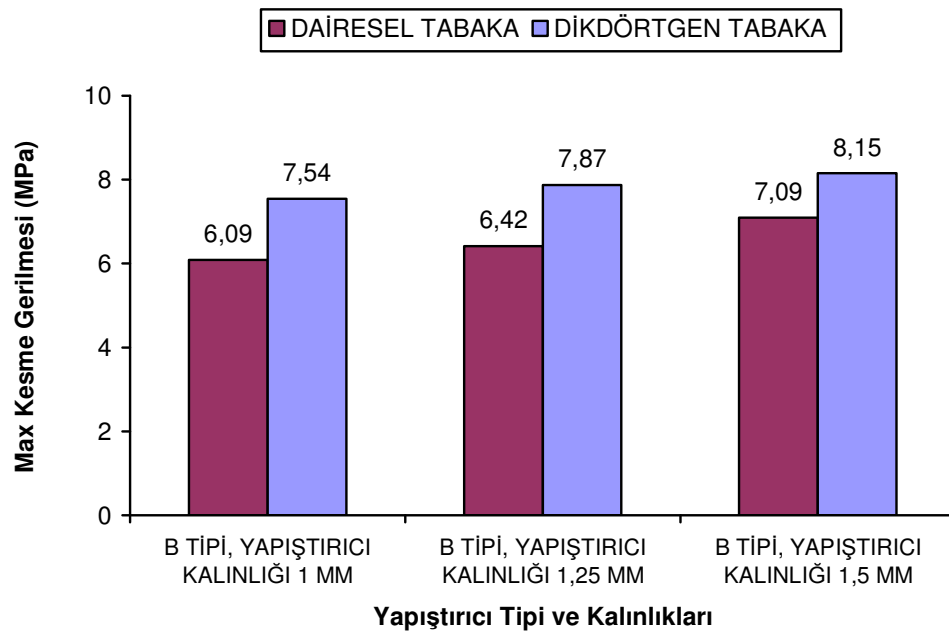
Şekil 5.8. A tipi yapıştırıcı için, 8 mm dairesel yapıştırma tabakası ile aynı yapışma alanına sahip 1 mm kalınlıktaki dörtgen yapıştırma tabakası ile oluşturulmuş modelde, plakalar üzerindeki maksimum kesme gerilmesi ve yeri

Şekillerde görüldüğü üzere, 1 mm kalınlık için, 8 mm çaplı dairesel yapıştırıcı bağlantı da yapışma tabakası ve plakalar üzerindeki kesme gerilmeler dairesel geometriyle aynı yapışma alanına sahip dörtgen yapışma tabakası ile yapılan bağlantıya kıyasla daha düşüktür. Çift bindirme bağlantılarda dikkat edilmesi gereken esas husus kesme gerilmesi olduğundan dolayı; aynı alan ve aynı hacime sahip dairesel geometride yapıştırıcı kullanımı, dörtgen yapıştırıcı kullanmaya kıyasla kesme yönünden daha avantajlıdır.

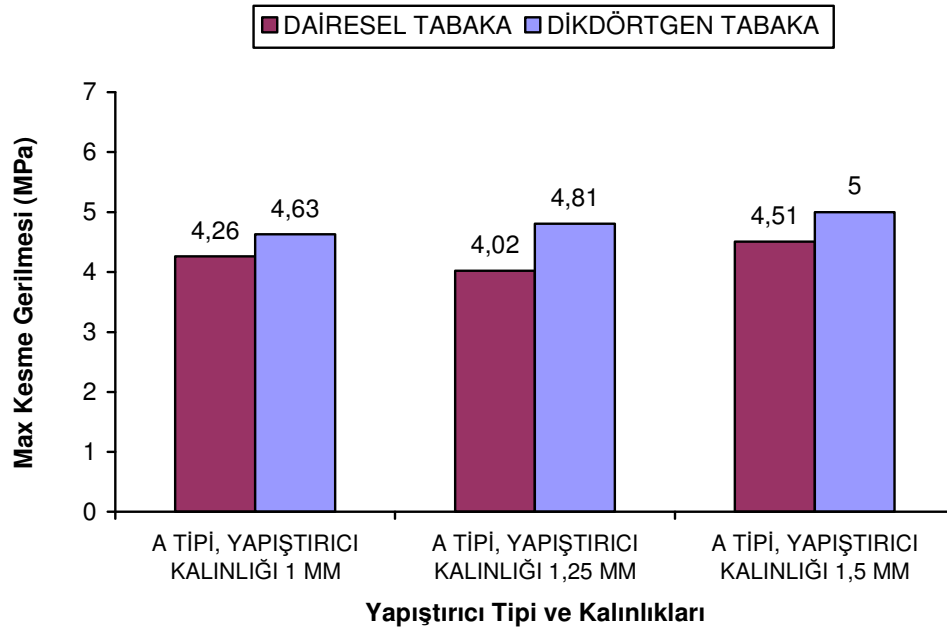
Görüldüğü üzere, yapışma tabakaları üzerindeki maksimum gerilmeler tabaka kenarlarında (dairesel geometride, merkeze en uzak bölgelerde), plakalar üzerindeki maksimum gerilmeler ise bunlara karşılık gelen bölgelerde oluşmaktadır.



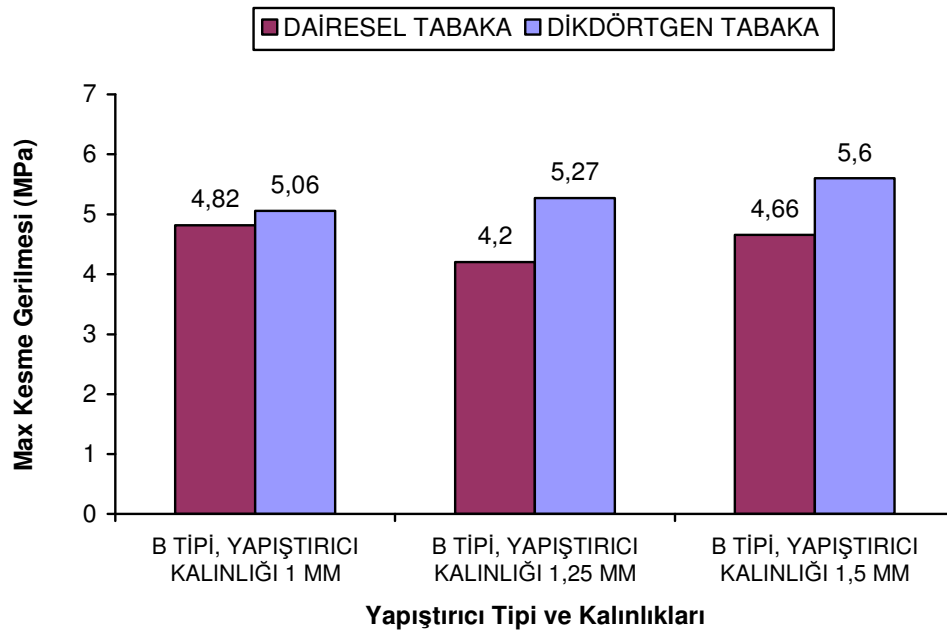
Şekil 5.9. A tipi yapıştırıcı için 8 mm dairesel tabaka çapı ve aynı yapıştırma alanına sahip dörtgen yapıştırıcı tabakası üzerinde oluşan max. kesme gerilmesi değerlerinin karşılaştırılması



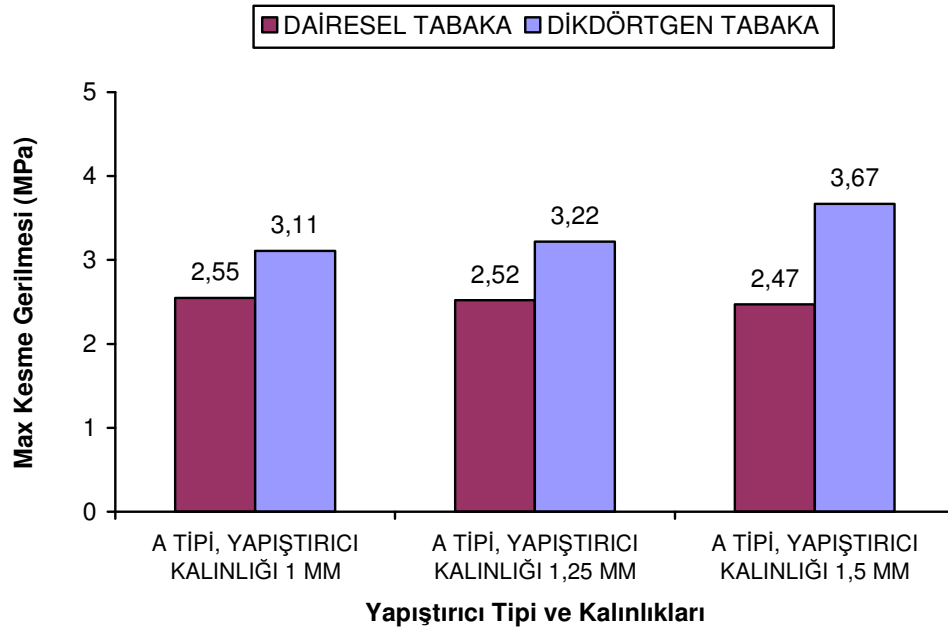
Şekil 5.10. B tipi yapıştırıcı için 8 mm dairesel tabaka çapı ve aynı yapıştırma alanına sahip dörtgen yapıştırıcı tabakası üzerinde oluşan max. kesme gerilmesi değerlerinin karşılaştırılması



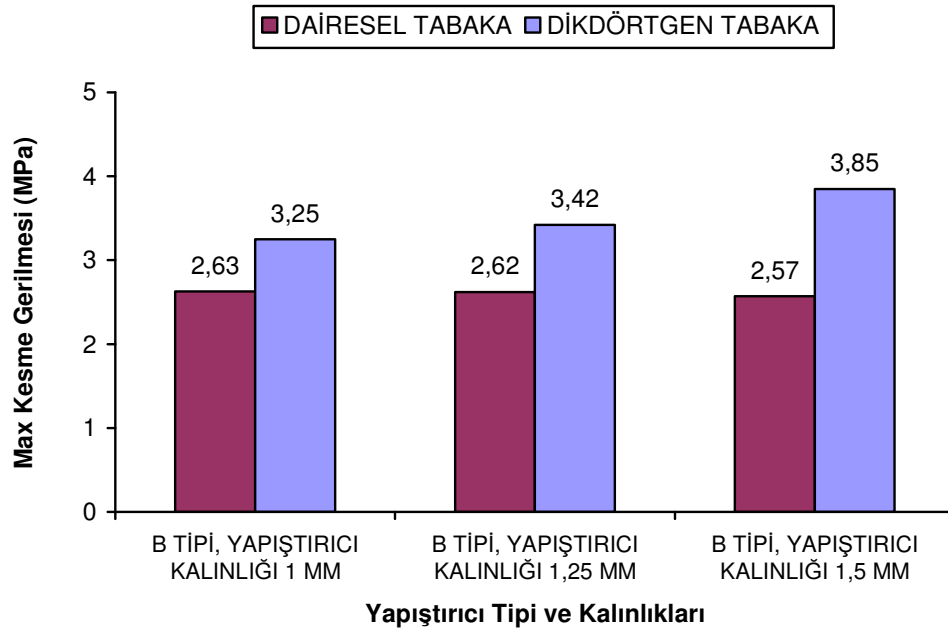
Şekil 5.11. A tipi yapıştırıcı için 10 mm dairesel tabaka çapı ve aynı yapıştırma alanına sahip dörtgen yapıştırıcı tabakası üzerinde oluşan max. kesme gerilmesi değerlerinin karşılaştırılması



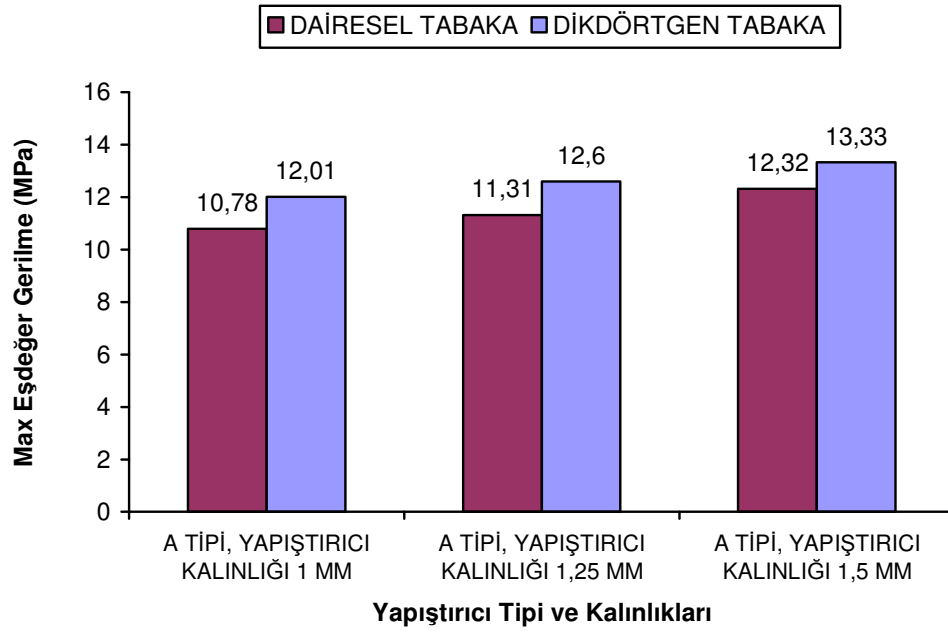
Şekil 5.12. B tipi yapıştırıcı için 10 mm dairesel tabaka çapı ve aynı yapıştırma alanına sahip dörtgen yapıştırıcı tabakası üzerinde oluşan max. kesme gerilmesi değerlerinin karşılaştırılması



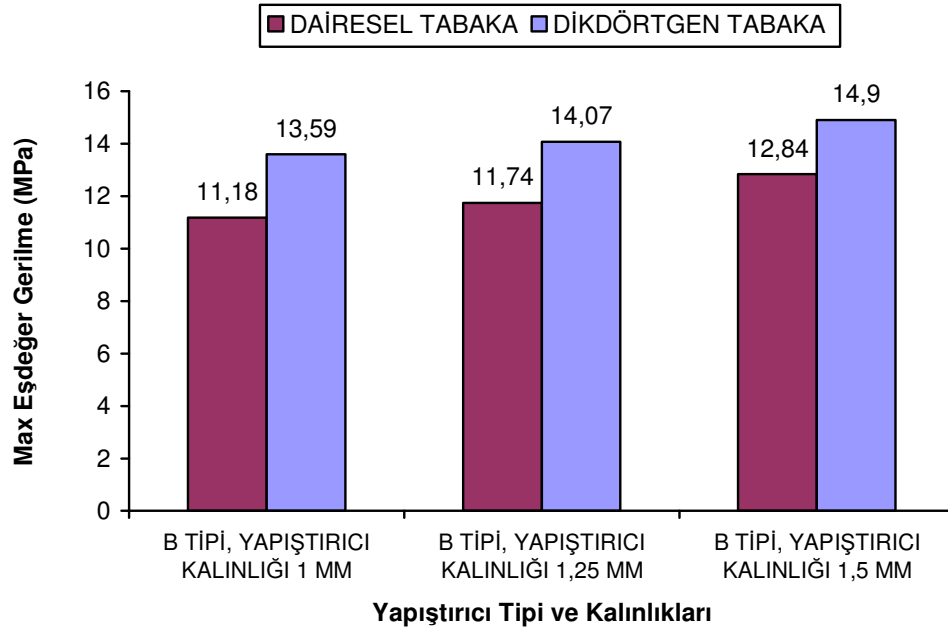
Şekil 5.13. A tipi yapıştırıcı için 12 mm dairesel tabaka çapı ve aynı yapıştırma alanına sahip dörtgen yapıştırıcı tabakası üzerinde oluşan max. kesme gerilmesi değerlerinin karşılaştırılması



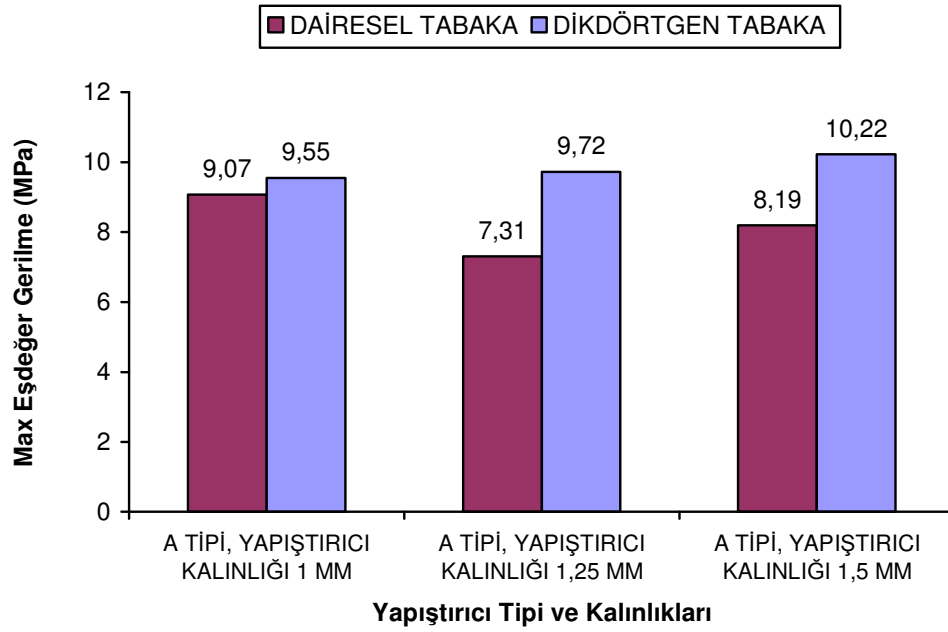
Şekil 5.14. B tipi yapıştırıcı için 12 mm dairesel tabaka çapı ve aynı yapıştırma alanına sahip dörtgen yapıştırıcı tabakası üzerinde oluşan max. kesme gerilmesi değerlerinin karşılaştırılması



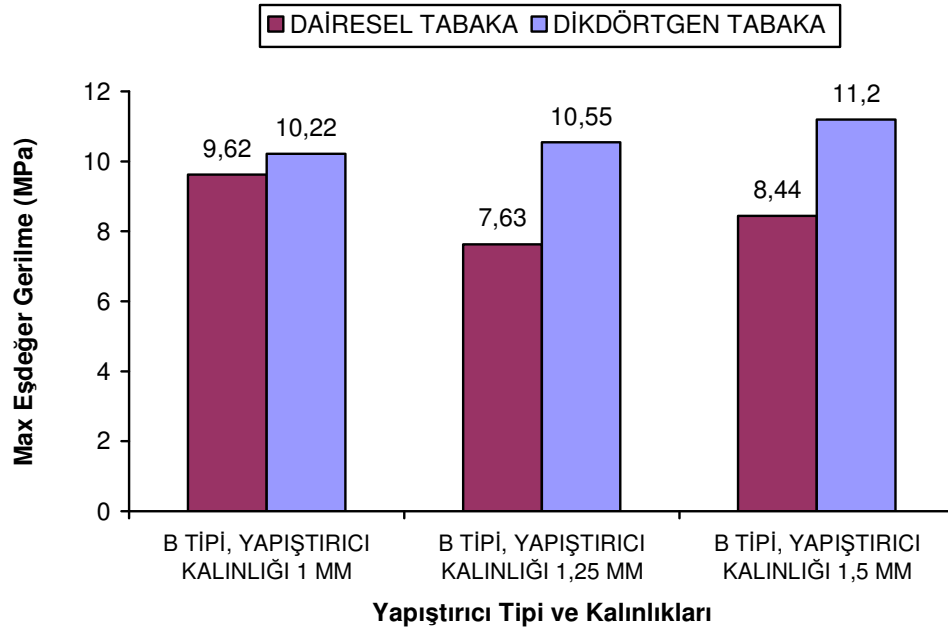
Şekil 5.15. A tipi yapıştırıcı için 8 mm dairesel tabaka çapı ve aynı yapıştırma alanına sahip dörtgen yapıştırıcı tabakası üzerinde oluşan max. eşdeğer gerilme değerlerinin karşılaştırılması



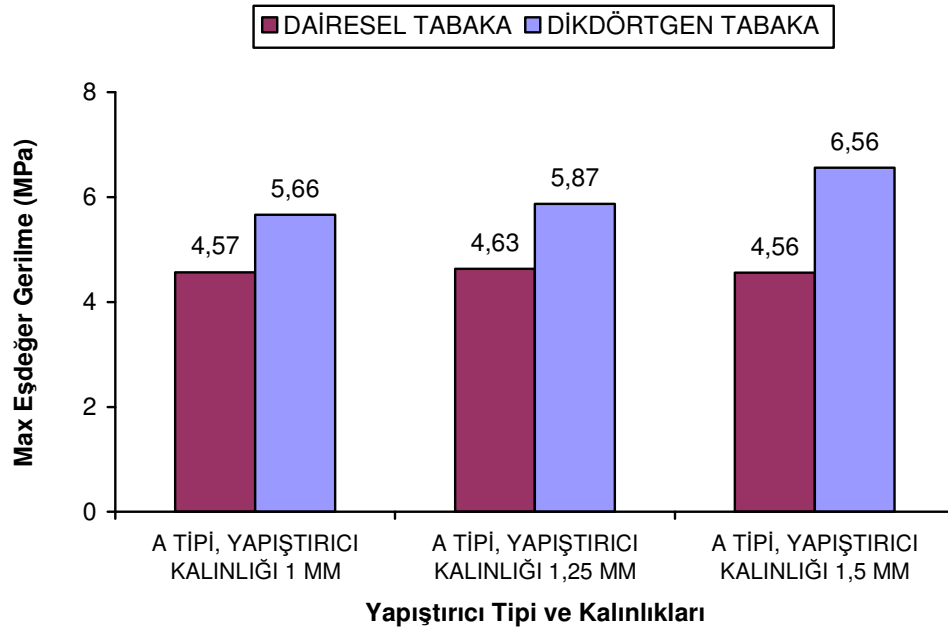
Şekil 5.16. B tipi yapıştırıcı için 8 mm dairesel tabaka çapı ve aynı yapıştırma alanına sahip dörtgen yapıştırıcı tabakası üzerinde oluşan max. eşdeğer gerilme değerlerinin karşılaştırılması



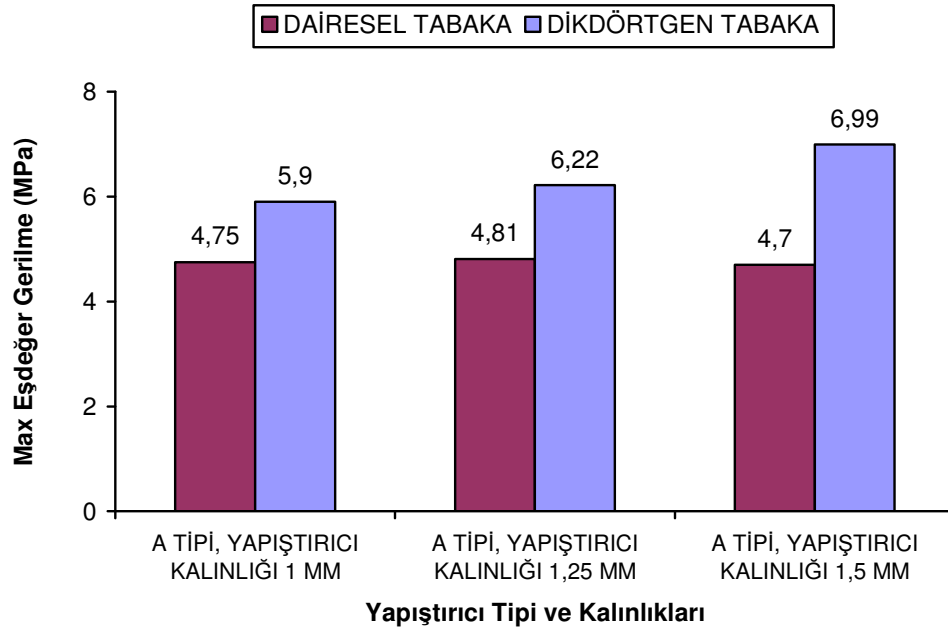
Şekil 5.17. A tipi yapıştırıcı için 10 mm dairesel tabaka çapı ve aynı yapıştırma alanına sahip dörtgen yapıştırıcı tabakası üzerinde oluşan max. eşdeğer gerilme değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 5.18. B tipi yapıştırıcı için 10 mm dairesel tabaka çapı ve aynı yapıştırma alanına sahip dörtgen yapıştırıcı tabakası üzerinde oluşan max. eşdeğer gerilme değerlerinin karşılaştırılması



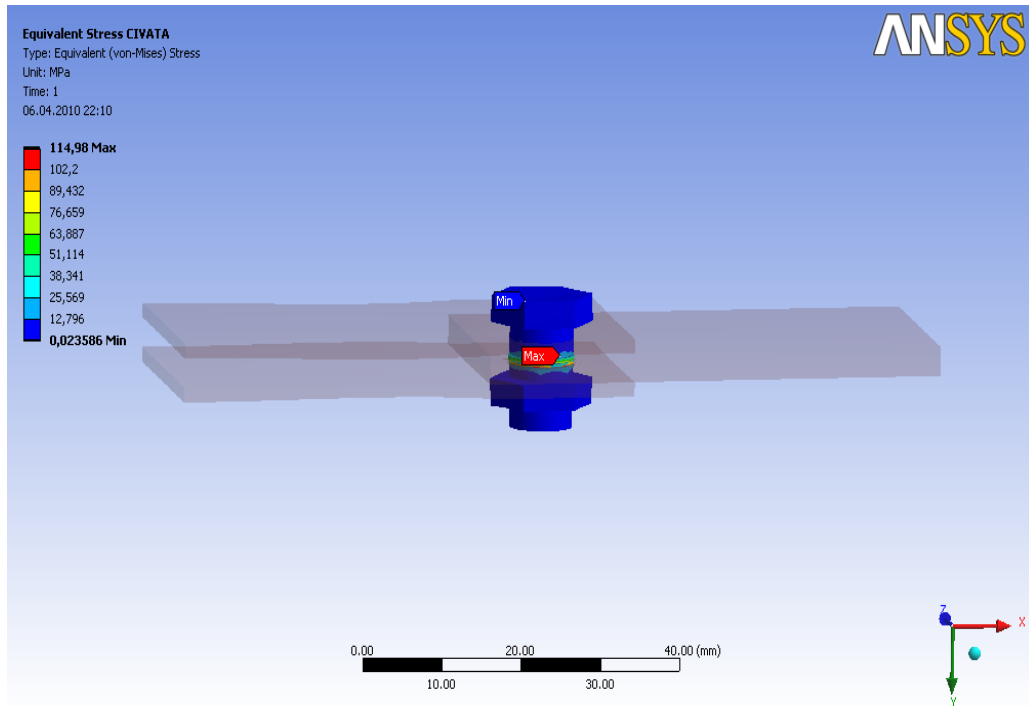
Şekil 5.19. A tipi yapıştırıcı için 12 mm dairesel tabaka çapı ve aynı yapıştırma alanına sahip dörtgen yapıştırıcı tabakası üzerinde oluşan max. eşdeğer gerilme değerlerinin karşılaştırılması



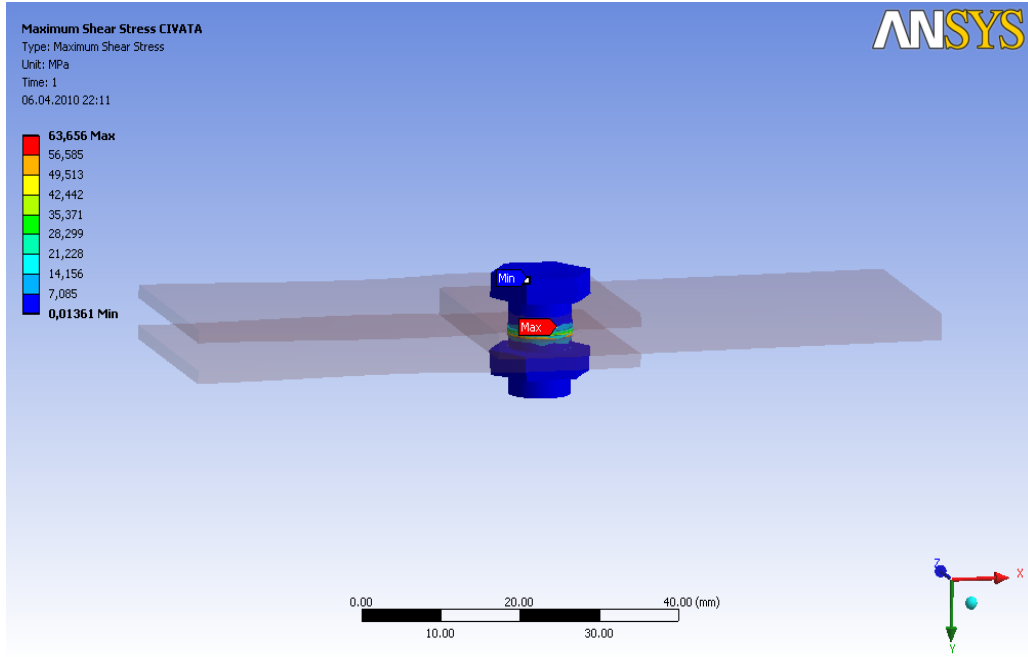
Şekil 5.20. B tipi yapıştırıcı için 12 mm dairesel tabaka çapı ve aynı yapıştırma alanına sahip dörtgen yapıştırıcı tabakası üzerinde oluşan max. eşdeğer gerilme değerlerinin karşılaştırılması

Dairesel tabaka ve dörtgen tabakanın aynı yapışma alanı ve aynı yapıştırıcı kalınlığı (aynı hacim) düşünülduğünde; söz konusu şartlar altında dairesele tabakalar üzerinde oluşan maksimum kesme gerilmelerin ve eşdeğer gerilmelerin dörtgen tabakaya göre her zaman daha düşük değer aldığı görülmektedir. Bu sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda, aynı yapışma alanı ve hacmi için dairesele geometride tabaka kullanmanın dörtgen tabakaya oranla kesme yönünden daha iyi olduğu aşıkardır. Tek bindirme ve çift bindirme bağlantılarda yapıştırma bölgesi kesmeye zorlandığından, dörtgen tabaka yerine dairesele tabaka kullanılması daha avantajlı olacaktır.

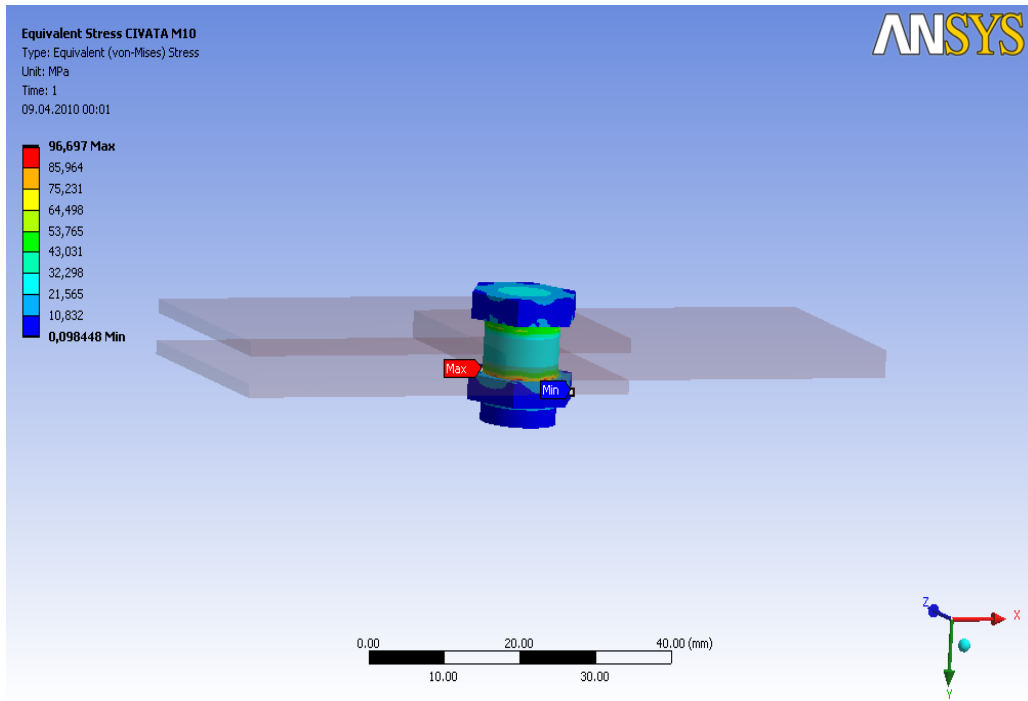
Cıvata kullanılarak yapılan bağlantılarda; plakaların boyutları sabit tutularak, cıvata anma çapları değişken parametre olarak ele alındığına önceki bölümde değinilmiştir. Çalışmada; dairesele yapışma tabakaları ile aynı çaplı, altı köşebaşlı M8, M10, M12 cıvatalar ele alındı. Cıvata çapları değiştirilerek, değişikliklerin bağlantı mukavemeti üzerine etkileri incelendi. Hazırlanan modellerde maksimum eşdeğer ve maksimum kesme gerilmeleri göz önünde bulundurularak karşılaştırmalar yapıldı.



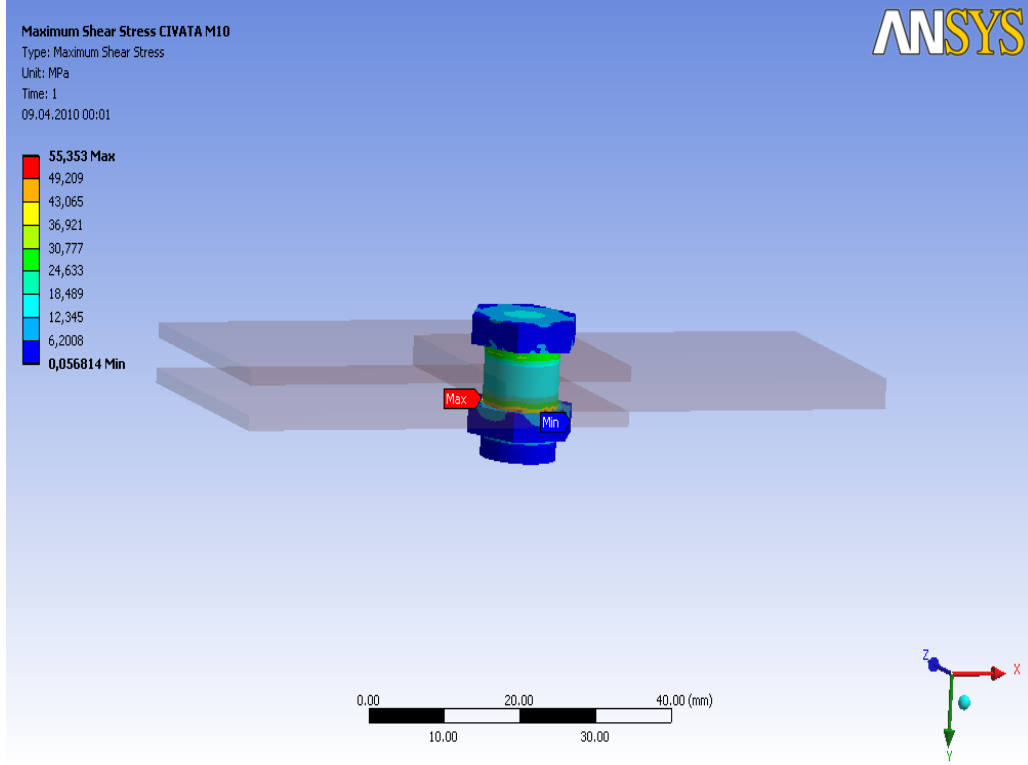
Şekil 5.21. M8 cıvata için eşdeğer gerilme değerleri



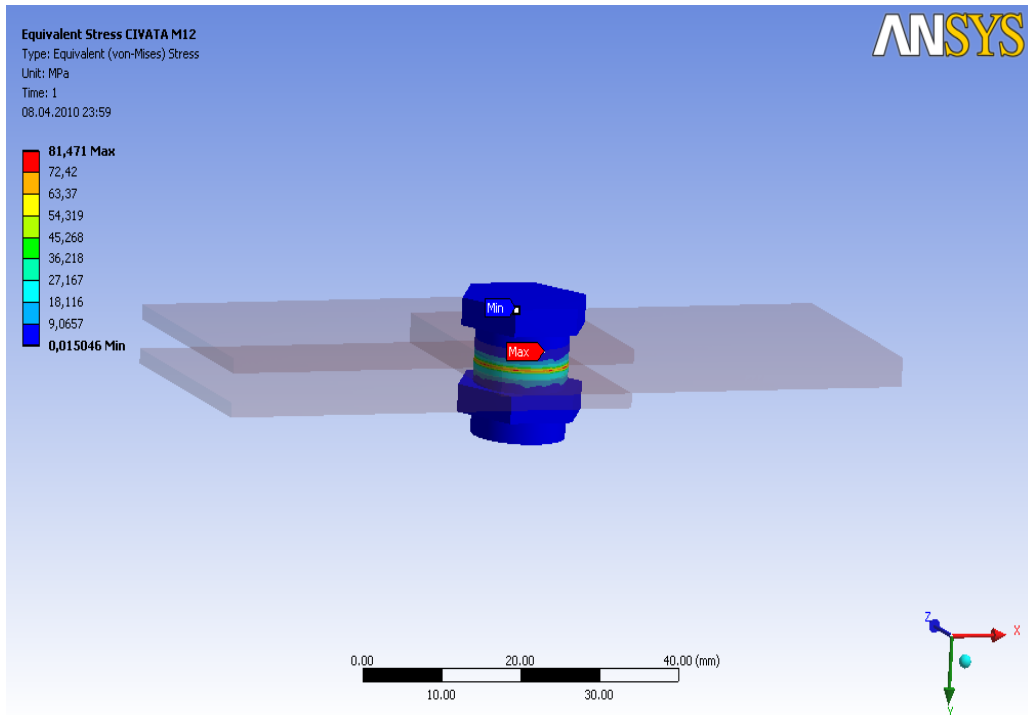
Şekil 5.22. M8 cıvata için kesme gerilme değerleri



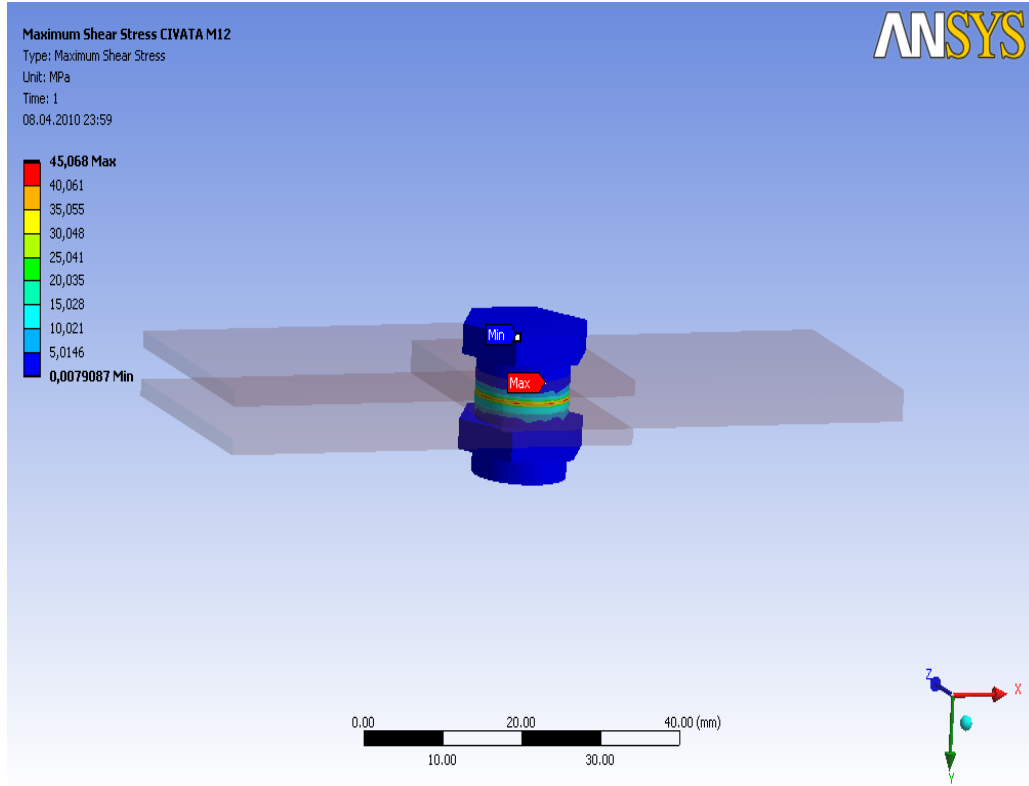
Şekil 5.23. M10 cıvata için eşdeğer gerilme değerleri



Şekil 5.24. M10 cıvata için kesme gerilme değerleri



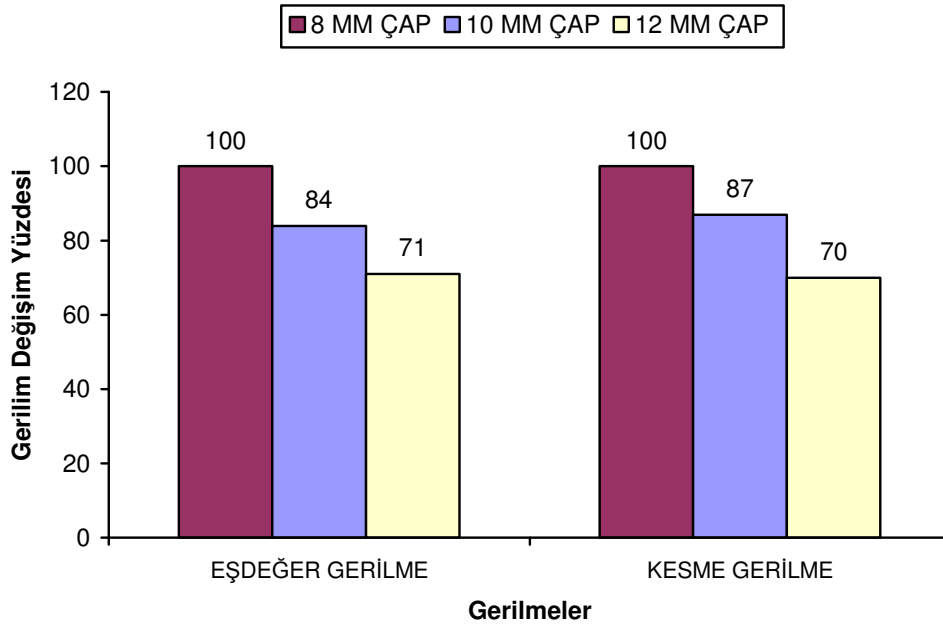
Şekil 5.25. M12 cıvata için eşdeğer gerilme değerleri



Şekil 5.26. M12 cıvata için kesme gerilme değerleri

Tablo 5.1. Cıvatalı bağlantı analizlerinden elde edilen değerler

Cıvata	Uygulanan Kuvvet (N)	Cıvata Sıkma Torku (Nm)	Cıvata Öngerilme Kuvveti (N)	Maksimum Eşdeğer Gerilmesi (MPa)	Maksimum Kesme Gerilmesi (MPa)
M8	300	33	20625	114,98	63,656
M10	300	66	33000	96,697	55,353
M12	300	85	35416	81,471	45,068



Şekil 5.27. Cıvatalı bağlantı modellerinde cıvata anma çapının değiştirilmesi ile eşdeğer ve kesme gerilmelerin değişimleri (değerler yaklaşık olarak ifade edilmiştir)

Söz konusu verilere göre aşağıdaki sonuçları elde edebiliriz;

- 1- A ve B yapıştırıcı cinsleri için dörtgen yapıştırıcı tabakasının aksine, dairesel yapıştırıcı tabakasında Z doğrultusu boyunca gerilmelerin değişebildiği görülmektedir.
- 2- Yapıştırıcı tabakasının dörtgen yerine dairesel seçilmesinin bağlantı karakteristiklerini değiştirdiği görülmektedir.
- 3- A ve B yapıştırıcı cinsleri için her iki yapıştırıcı tabakasının orta plaka ile temas yüzeyleri ele alındığında, her iki yapıştırıcı tabakasında da gerilmelerin yaklaşık olarak aynı olduğu görülür. Yapıştırma alanı ve kalınlığının değiştirilmesi ile eşdeğer ve kesme gerilmelerin benzer oranda değiştiği görülmektedir.

4- A ve B tip yapıştırıcılar farklı yapıştırma tabakası çapları ve kalınlıklarında benzer karakteristik göstermekle beraber, genelde B tipi yapıştırıcının gerilme değerlerinin fazla olduğu görülmektedir.

5- Dairesel tabaka ve dörtgen tabakanın aynı yapışma alanı ve aynı yapıştırıcı kalınlığı (aynı hacim) düşünüldüğünde; söz konusu şartlar altında dairesele tabakalar üzerinde oluşan maksimum kesme gerilmelerin ve eşdeğer gerilmelerin dörtgen tabakaya göre her zaman daha düşük değer aldığı görülmektedir. Bu sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda, aynı yapışma alanı ve hacmi için dairesele geometride tabaka kullanmanın dörtgen tabakaya oranla kesme yönünden daha iyi olduğu aşikardır. Tek bindirme ve çift bindirme bağlantılarda yapıştırma bölgesi kesmeye zorlandığından, dörtgen tabaka yerine dairesele tabaka kullanılması daha avantajlı olacaktır.

6- Bağlantı dayanımına etki eden esas faktörlerin yapıştırma alanı ve kalınlığı olduğu görülmektedir. Yapıştırma alanının artırılması bağlantı dayanımını ciddi oranda değiştirmektedir. Dairesel geometrinin ele alındığı bağlantılarda, yapıştırma çapının 8 mm'den 12 mm'ye çıkarılması ile gerilmelerde yaklaşık % 60-65 oranında azalma olmaktadır. Dörtgen geometrinin ele alındığı bağlantılarda, yapıştırma çapının 8 mm'den 12 mm'ye çıkarılması ile gerilmelerde yaklaşık % 45-50 oranında azalma olmaktadır.

7- Dairesel geometriye sahip yapışma tabakalı bağlantılarda, yapıştırma alanının artması ile bağlantı dayanımının artmakta olduğu, buna karşın yapıştırma tabakası kalınlığının artmasının bağlantı dayanımına her zaman olumlu etki etmediği görülmektedir. Kullanılan yapıştırıcı cinsi ve yapışma alanına bağlı olarak optimum kalınlıkların değişebileceği görülmektedir. 8 mm yapıştırma çapı için 1 mm yapıştırıcı kalınlığı, 10 mm yapıştırma çapı için 1,25 mm yapıştırma kalınlığı, 12 mm yapıştırma çapı için 1,5 mm yapıştırma kalınlığının bağlantılar için daha uygun olduğu görüldü.

8- Dörtgen geometriye sahip yapışma tabakalı bağlantılarda, yapıştırma alanının artması ile bağlantı dayanımının artmakta olduğu, buna karşın yapıştırma tabakası kalınlığının artmasının bağlantı dayanımına olumsuz etki ettiği görülmektedir.

9- A ve B tip yapıştırıcılar farklı yapıştırma tabakası çapları ve kalınlıklarında benzer karakteristik göstermekle beraber, genelde B tipi yapıştırıcının gerilme değerlerinin fazla olduğu görülmektedir.

10- Cıvata anma çapının artırılması ile gerilmelerin düştüğü görülmektedir. Eşdeğer ve kesme gerilme davranışları benzerdir. M8 yerine M12 cıvata kullanılması gerilmeleri % 30 oranında düşürmektedir. Bu değer yapıştırıcılardaki yapışma alanı değişimi davranışına nazaran daha düşük olduğu görüldü.

11- Tespitler sonucunda; çift bindirme bağlantılarda dairesel geometriye sahip yapıştırıcı tabakası kullanılarak bağlantı yapılması, dörtgen geometriye sahip yapıştırıcı tabakası kullanılarak ve cıvata kullanılarak bağlantı yapılmasına nazaran belirlenen sınır şartları altında daha avantajlıdır.

12- Yeterince iyi hazırlanmış bir bağlantıda, epoksi malzemelerin kesme gerilme dayanımları genel olarak 25 MPa civarındadır. Bağlantının deforme olmaması için yapıştırıcının kesme dayanımının üstüne çıkılmaması gerekmektedir. Emniyetli olarak kesme dayanımının 20 MPa olduğunu düşünürsek; 8 mm yapıştırıcı çaplı bağlantılarda (1 mm kalınlık için) 950 N, 10 mm yapıştırıcı çaplı bağlantılarda (1,25 mm kalınlık için) 1350 N, 12 mm yapıştırıcı çaplı bağlantılarda (1,5 mm kalınlık için) 2300 N yükleme sınırlarının geçilmemesi gerekmektedir.

13- Yapılan incelemeler sonucu, 8 mm yapıştırıcı çaplı bağlantılarda 950 N, 10 mm yapıştırıcı çaplı bağlantılarda 1350 N, 12 mm yapıştırıcı çaplı bağlantılarda 2300 N yük mertebelerine kadar dairesel çaplı yapıştırıcılı bağlantı kullanılması, dörtgen geometride yapıştırıcılı bağlantı ve cıvataya kıyasla daha avantajlıdır.

KAYNAKLAR

- [1] COWDREY, S., FERGUSON, C., LENNOX, A.F., MAURO, P., NEUMMAYER, R., ORME, B., MÜLLER, M., “Loctite Worldwide Design Handbook”, Germany, 1998.
- [2] ADAMS, R.D., COMYN, J., WAKE, W.C., “Structural Adhesive Joints in Engineering” , Chapman and Hall, London, 1997
- [3] ŞEKERCİOĞLU, T., “Yapıştırma Bağlantılarının Dinamik Yükler Altındaki Davranışlarının İncelenmesi”, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 2001
- [4] GEDİKTAŞ, M., “Makine Elemanları Bağlama Elemanları Kostrüksiyon ve Hesap”, Çağlayan Kitabevi, İstanbul, 1995
- [5] DASTİN, S.J., “Joining and Machining Techniques”, Handbook of Composites, Van Nostrand Reinhold Company Inc., New York, 1982.
- [6] KAYA, F., “Ana Hatları ile Yapıştırıcılar”, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2004
- [7] SOLMAZ, M.Y., “Yapıştırıcı ile Birleştirilmiş Bağlantıların Mekanik Analiz ve Tasarımları”, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2008
- [8] ÖZENÇ, M., “Yapıştırma Bağlantılarının Darbe Yükleri Altında İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 2007
- [9] MAYS, G.C., HUTCHINSON, A.R., “Adhesives in Civil Engineering”, Cambridge University Pres, 1992
- [10] ASM, “Engineered Materials Handbook, Adhesive and Sealants”, The Materials International Society, 1990
- [11] YAZICI, T. Y., “Tübüler Yapıştırıcı Bağlantılarda Gerilme Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 2007

- [12] ŞEN, F., ALDAŞ, K., PALANCIOĞLU, H., “Çift Örtü Kullanılarak Yapıştırılmış Metal Levhalarda Isıl Gerilme Analizi”, Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2008
- [13] TEMİZ, Ş., “Yapıştırma Bağlantılarının Mekanik Özellikleri Üzerine Çevresel Faktörlerin Etkisinin İncelenmesi”, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2003
- [14] ÇALIK, A. “Yapıştırıcılar ve Köşeleri Yuvarlatılmış Basamaklı Bindirme Yapıştırıcı Bağlantılarda Gerilme Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 2008
- [15] VASUDEVAN, A.K., DOHERTY, R.D., “Aluminum Alloys-Contemporary Research and Applications”, 1989
- [16] PEREIRA, A.M., FERREIRA, J.M., ANTUNES, F.V., BARTOLO, P.J., “Study on the Fatigue Strength of AA 6082-T6 Adhesive Lap Joints”, International Journal of Adhesion and Adhesives, 2009
- [17] PANDURANGAN, P., BUCKNER, G.D., “Vibration Analysis for Damage Detection in Metal to Metal Adhesive Joints”, Experimental Mechanics, 2006
- [18] www.omnexus4adhesives.com/services/application-gallery.aspx
- [19] www.hutsman.com
- [20] www.loctite.com
- [21] www.aalco.co.uk
- [22] www.motorteknik.org
- [23] euler9.tripod.com

ÖZGEÇMİŞ

Sefa Yıldız, 11.06.1985 de Ankara' da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Kocaeli'nin Körfez İlçesinde tamamladı. 2003 yılında Körfez Oruç Reis Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2004 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümünü 2008 yılında bitirdi. 2008 yılında Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı. 2009 yılında Kocaeli Defterdarlığı Milli Emlak Dairesi Başkanlığında göreve başladı. Halen bu kurumda, Teknik Büro Koordinatörlüğünde Makine Mühendisi olarak çalışmaktadır.