



**Yamalı ve Yamasız Alüminyum / Kompozit  
Plakaların Nümerik Olarak Yorulma Analizi**

**Zeyni SAĞLAM**

**YÜKSEK LİSANS**

**Makine Mühendisliği Mekanik Anabilim Dalını**



**T.C.**

**BATMAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Yamalı ve Yamasız Alüminyum / Kompozit  
Plakaların Nümerik Olarak Yorulma Analizi**

**Zeyni SAĞLAM**

**YÜKSEK LİSANS**

**Makine Mühendisliği Mekanik Anabilim Dalını**

**AĞUSTOS – 2019  
BATMAN  
Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Zeyni SAĞLAM tarafından hazırlanan “Yamalı ve Yamasız Alüminyum / Kompozit Plakların Numerik Olarak Yorulma Analizi” adlı tez çalışması 23 / 08 / 2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Mekanik Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

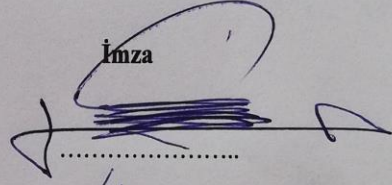
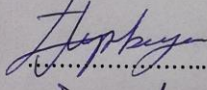
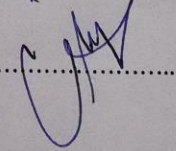
### Jüri Üyeleri

**Başkan / Danışman**  
Doç. Dr. Hamit ADİN

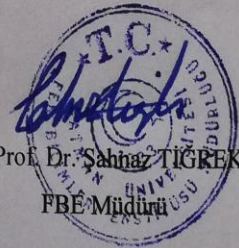
**Üye**  
Dr. Öğr. Üyesi Tolga TOPKAYA

**Üye**  
Dr. Öğr. Üyesi İsmail SARAÇ

İmza

  
.....  
  
.....  
  
.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

  
Prof. Dr. Sahnaz TIGREK  
FBE Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## **DECLARATION PAGE**

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Zeyni SAĞLAM

23 / 08 / 2019

**ÖZET****YÜKSEK LİSANS****YAMALI VE YAMASIZ ALÜMİNYUM / KOMPOZİT PLAKALARIN  
NÜMERİK OLARAK YORULMA ANALİZİ****Zeyni SAĞLAM****Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Mekanik Anabilim Dalı****Danışman: Doç. Dr. Hamit ADİN****2019, 85 Sayfa****Jüri****Doç. Dr. Hamit ADİN****Dr. Öğr. Üyesi Tolga TOPKAYA****Dr. Öğr. Üyesi İsmail SARAÇ**

Çalışmamız ana başlığımız doğrultusunda 4 ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde kompozit, alüminyum, yapıştırıcı, yama ve yorulma üzerine yapılan çalışmalar incelenmiş ve bu konuda çeşitli bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde ise yapmak istediğimiz çalışmamıza benzer veya yakınlığı bulunan çalışmaların içerikleri incelenmiş ve özet halinde verilmiştir. Üçüncü bölümde ise tezimizin ana konusu hakkında bilgiler verilmiştir. Kullanmış olduğumuz bilgisayar programından elde ettiğimiz veriler paylaşılmış ve izlediğimiz adımlar tek tek irdelenmiştir. Son olarak ise elde edilen verilerin kıyası yapılmış ve yorumlanmıştır. Yapılan çalışmamız yamalı ve yamasız alüminyum plakaların nümerik analiz yöntemiyle yorulma analizidir. Analiz numunelerine ayrıca deformasyon ve gerilme analizleri uygulanmıştır.

Analizler neticesinde kompozit yamalı numunelerde yorulma ömrü bir hayli artmıştır. Alüminyum bir materyal hasara uğradığı vakit malzemenin değişmesi yerine kompozit bir yama ile onarım yapılması zaman ve maliyet açısından ciddi anlamda faydalı olacağı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Alüminyum, Kompozit, Yama, Yorulma Analizi

**ABSTRACT****MASTER OF SCIENCE****NUMERICAL FATIGUE ANALYSIS OF PATCHED AND NON-PATCHED  
ALUMINUM / COMPOSITE PLATES****Zeyni SAĞLAM****The Graduate School Of Natural And Applied Science Of Batman University  
The Degree Of Master Of Science In Mechanical Engineering****Advisor: Associate Professorship Hamit ADİN****2019, 85 Pages****Jury****Associate Professor Hamit ADİN  
Assistant Professor Tolga TOPKAYA  
Assistant Professor İsmail SARAÇ**

Our study consists of 4 main sections in line with our main title. In the first part, composite, aluminum, adhesive, patches and fatigue studies are examined and various information is given on this subject. In the second part, the contents of the studies that are similar to or similar to the study we want to do are examined and summarized. In the third part, information about the main subject of our thesis is given. The data obtained from the computer program we used was shared and the steps we followed were examined one by one. Finally, the data were compared and interpreted. Our study is the fatigue analysis of patched and non-patched aluminum plates by numerical analysis method. Deformation and stress analysis were also applied to the samples.

As a result of the analysis, fatigue life of composite patch samples increased considerably. When an aluminum material is damaged, it is seen that repairing with a composite patch instead of changing the material will be beneficial in terms of time and cost.

**Keywords:** Aluminium, Composite, Patch, Fatigue Analysis

**TEŐEKKÜR**

Tezimi yazarken emeği geçen öncelikle aileme, arkadaşlarıma ve öğretmenlerime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Zeyni SAĞLAM

23 / 08 / 2019



## ÖNSÖZ

Teknolojinin gelişmesi ile malzeme bilimi önem kazanmıştır. Bir materyalden birden fazla üstün özellik beklenmektedir. Tek bir materyalde birden fazla üstün özellik bulmak çok güçtür. Daha üstün özellikler elde etmek için 16. Yüzyılda iki malzemeyi bir yapıştırıcı yardımıyla birleştirip daha iyi sonuçlar elde edilen yeni bir malzeme türetildiği görülmüştür.

Birbiri ile birleşen materyallerden daha iyi yeni bir materyal olması yapıştırıcılar ile mümkün olabilmektedir. Ayrıca yapıştırıcılar sayesinde hasara uğramış materyaller onarılabilmektedir. Yapıştırıcılar hayatın her döneminde insanların bir ihtiyacı olmuştur. İnsanlığın faydasına olacak her türlü teknolojik gelişmeler neticesi ile çeşitli materyal karışımları yapılarak veya birleştirme yapılarak daha üstün özelliklere sahip yeni materyaller elde edilmiştir.

“Yamalı ve Yamasız Alüminyum / Kompozit Plakaların Nümerik Olarak Yorulma Analizi” adlı çalışmamızda hasarlı bir materyale onarım uygulanarak elde edilmiş olan materyalin mekanik değerleri açısından elde edilecek sonuçlar irdelenmiştir. Yapılan analizler neticesinde yamalı ve yamasız numunelerin yorulma ömürleri incelenmiştir.

BATMAN – 2019

Zeyni SAĞLAM



## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>iv</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>v</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Kompozit Materyaller.....	1
1.1.1. Kompozit materyallerin olumlu ve olumsuz özellikleri .....	2
1.1.2. Kompozit materyallerin yapısal olarak tasnif edilmesi .....	4
1.1.2.1. Matris cinsi metal olan kompozit materyaller .....	4
1.1.2.2. Matris cinsi seramik olan kompozit materyaller .....	5
1.1.2.3. Matris cinsi polimer olan kompozit materyaller .....	5
1.1.3. Kompozit materyallerin şekillere göre sınıflandırılması .....	6
1.1.3.1. Takviye elemanın elyaf yapıya sahip olduğu kompozit materyaller .....	6
1.1.3.2. Takviye elemanın partikül yapıya sahip olduğu kompozit materyaller ..	7
1.1.3.3. Takviye elemanın tabakalı yapıya sahip olduğu kompozit materyaller ..	8
1.1.3.4. Takviye elemanın yığılma (hibrid) yapıya sahip olduğu kompozit materyaller .....	8
1.1.4. Kompozit materyal imalatında kullanılan ana unsurlar .....	9
1.1.4.1. Matris elemanı.....	9
1.1.4.2. Reçineler .....	10
1.1.4.3. Elyaf ürünleri ve özellikleri .....	10
1.1.5. Kompozit malzemelerin imalat usulleri.....	10
1.1.6. Kompozit materyallerin uygulama alanları .....	11
1.2. Alüminyum Materyaller .....	11
1.2.1. Alüminyum materyalinin saf hali .....	12
1.2.2. Alüminyum materyalinin dövme alaşımları (işlenmiş) .....	13
1.2.2.1. İşlenmiş alüminyum-bakır alaşımları (2XXX) .....	13
1.2.2.2. İşlenmiş alüminyum-mangan alaşımları (3XXX).....	14
1.2.2.3. İşlenmiş alüminyum-silisyum alaşımları (4XXX).....	14
1.2.2.4. İşlenmiş alüminyum-magnezyum alaşımları (5XXX).....	14
1.2.2.5. İşlenmiş alüminyum-magnezyum-silisyum alaşımları (6XXX).....	14
1.2.2.6. İşlenmiş alüminyum-çinko alaşımları (7XXX).....	14
1.2.3. Alüminyum materyalinin döküm alaşımları .....	15
1.2.3.1. Alüminyum – bakır türü döküm alaşımlar .....	15
1.2.3.2. Alüminyum – silisyum –magnezyum veya bakır türü döküm alaşımlar 15	
1.2.3.3. Alüminyum – silisyum türü döküm alaşımlar.....	15
1.2.3.4. Alüminyum – magnezyum türü döküm alaşımlar.....	16
1.2.3.5. Alüminyum – çinko – magnezyum türü döküm alaşımlar.....	16
1.2.4. Alüminyum materyalinin alaşımlarına uygulanan ısıl işlemler .....	16
1.2.5. Alüminyum materyalinin kullanım alanları.....	17
1.3. Materyallerin Birleştirme Metotları .....	18

1.3.1.	Mekanik birleştirme metodu.....	18
1.3.2.	Termal birleştirme metodu .....	18
1.3.3.	Kimyasal birleştirme metodu .....	19
1.4.	Birleştirici Materyal Türü Olan Yapıştırıcılar.....	19
1.4.1.	Yapıştırma prosedürleri .....	19
1.4.1.1.	Adhezyon etkisi .....	20
1.4.1.2.	Kohezyon etkisi .....	21
1.4.2.	Yapıştırıcı ile birleştirmenin teorileri .....	22
1.4.2.1.	Mekanik açıdan yapıştırma .....	22
1.4.2.2.	Adsorpsiyon etkisi ile yapıştırma .....	22
1.4.2.3.	Difüzyon etkisi ile yapıştırma.....	23
1.4.2.4.	Elektrostatik etki ile yapıştırma .....	23
1.4.3.	Yapıştırıcı materyallerin çeşitleri .....	24
1.4.3.1.	Yapıştırıcıların kimyasal, fiziksel tepkimelere göre sınıflandırılması.....	24
1.4.3.2.	Yapıştırıcıların doğadaki formlarına göre sınıflandırılması .....	24
1.4.4.	Yapışmaya etki eden faktörler.....	25
1.4.5.	Yapıştırmanın geometrik teknikleri.....	25
1.4.6.	Yapıştırma yapılmak istenilen yüzeylerde ön hazırlıklar .....	29
1.4.7.	Yapıştırma bağlantılarının faydaları ve zararları.....	30
1.5.	Kompozit Materyal Yardımıyla Yapılan Yama Tamirataı .....	32
1.5.1.	Kompozit materyallerin hasar oluşumları .....	32
1.5.2.	Kompozit materyallerde oluşan hasarın onarımı.....	34
1.6.	Materyallerde Yorulma .....	35
1.6.1.	Yorulmanın teknik açıdan incelenmesi .....	37
1.6.2.	Yorulma oluşumu .....	40
1.6.3.	Yapıştırıcı ile birleştirmelerde yorulma olayı.....	40
1.7.	Sayısal Yöntemler .....	42
<b>2.</b>	<b>LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>44</b>
<b>3.</b>	<b>MATERYAL VE METOT.....</b>	<b>47</b>
3.1.	Malzemelerin Mekanik Özellikleri.....	47
3.2.	Materyallerin Teknik Resim ve Detayları .....	48
3.3.	Sayısal Analiz Çalışmaları.....	54
3.3.1.	Ansys yorulma çalışmaları.....	55
3.3.2.	Sayısal Çalışma Sonuçları .....	65
3.3.2.1.	Yorulma (Çeki-Bası) Açısından Değerlendirme Sonuçları.....	65
3.3.2.1.	Gerilme ve Deformasyon Açısından Değerlendirme Sonuçları .....	75
<b>4.</b>	<b>SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>82</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>86</b>	
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>89</b>	
<b>ANSYS WORKBENCH VERSİYON 15 PROGRAMINDA YORULMA ANALİZİ AKIŞ ŞEMASI .....</b>	<b>90</b>	

## 1. GİRİŞ

### 1.1. Kompozit Materyaller

Her malzemenin ön plana çıkan bir özelliği mevcuttur. Fakat bazı durumlarda istenilen birden fazla özellik tek bir materyalde bulunmaz. Bu durumda istenilen özellikleri sağlayacak bir materyalin elde edilmesi için çalışmalar yapılmış ve çeşitli yöntemler denenmiştir. Bu bağlamda istenilen özellikleri sağlamak adına iki veya daha fazla materyalin kendi aralarında çözelti (karışım) oluşturmadan etkileşimi ile başlangıçtaki malzemeden daha üstün özelliklere haiz elde edilmiş yeni bir malzeme çeşidini kompozit materyal olarak adlandırabiliriz. Asıl hedef malzemelerin kendi başlarına sahip olamadıkları yeni özellikler kazandırmaktır.[1]

Kompozit malzemeler takviye eden ve takviye edilen olarak iki ana kısımdan oluşur. Takviye elemanı çekirdek ve bunu çepeçevre saran ise matris malzeme olarak adlandırılır.[2]

Kompozit malzemeleri ön plana çıkaran en önemli etken muhteviyatındaki malzeme çeşitlerinin sınırsız olmasıdır. Muhteviyatındaki malzeme çeşitliliği sayesinde yüksek mukavemet, düşük elektrik iletkenliği, hafiflik ve görsellik gibi birçok konuda arzu edilen özellikleri elde etmek mümkün olabilmektedir. [3]

Kompozit malzeme muhteviyatında bulunan çekirdek ve matris malzemelerden çekirdek malzeme, üzerine uygulanan yükü taşımak, malzemenin rijit bir şekilde durmasına destek olmak ve malzemenin mukavemetini sağlamak gibi görevleri mevcuttur. Matris malzemenin görevi ise çekirdek malzemenin etrafını sararak dış etkenlerden korumak, dış ortamdan gelen yükü takviye elemanına eşit bir şekilde pay ederek yükün dengeli bir şekilde iletimini sağlamak ve oluşan yeni kompozit malzemenin bir bütün oluşturup içerisindeki hata oranını ortadan kaldırmaya çalışmaktır. [4]

Bir malzemenin tam anlamıyla kompozit olarak nitelendirilmesi için insan eliyle yapılmış olması ve iki veya daha fazla materyalin birleşiminden oluşması gerekmektedir. İçeriğinde barınan her bir malzemenin tek başına taşıdığı özelliklerden

daha üstün özelliklere sahip olması gerekmektedir. Tek bir materyalden elde edilemeyecek özelliklerin kompozit malzemeden elde edilebilir olması ve istenilen üstün özelliklere sahip bir materyali elde etmek için takviye eden ve edilen tüm materyallerin kontrollü bir şekilde üretilebilir olması gerekmektedir. Kompozit bir malzemeye ihtiyaç duyulduğu vakit görev alacağı ortamın mekanik, fiziksel ve kimyasal olarak tüm özellikleri göz önünde bulundurulmalı ve bu istenilen şartlara göre kompozit malzeme üretimine başlanmalıdır. Bu konuya değinmemizdeki asıl amaç kompozit bir malzeme üzerine uygulanan yük kompozitin her bölgesinde aynı tepkiyi vermemesinden kaynaklıdır. Yani lokal olarak en çok yükün geldiği noktada daha sık takviye eleman yerleştirilmesi ve diğer bölgelerde ise daha az bir yerleşim oluşturulması maliyet ve zaman açısından yararlı olacaktır. [5]

### **1.1.1. Kompozit materyallerin olumlu ve olumsuz özellikleri**

Doğada var olan her malzemenin kullanıldığı ortama göre artı ve eksi yönleri mevcuttur. Kompozit malzemelerde istenilen mukavemet, rijitlik, korozyon dayanımı, aşınma direnci, estetiklik, hafiflik, termal dayanım, yorulma zamanı gibi özellikler yönünden avantaj ve dezavantajlara sahiptir. Kompozit malzemelerin bilindik özellikleri göz önüne alınarak avantajları şu şekilde sıralayabiliriz.[6]

- i. Aşındırıcı etkiler karşısında mukavemetleri yüksektir.  
Kullanılan ortama göre tasarlandıklarından dolayı çevre koşullarından en az etkilenecek şekilde imal edilebilirler.
- ii. Hafif olmalarına karşın mukavemeti yüksek materyallerdir.  
Hem hafif hem de yüksek mukavemet değerlerine sahip kompozit malzemeler zaman ve maliyet açısından uçak endüstrisinde tercih edilirler.
- iii. Elektrik iletkenliği düşüktür bir materyaledir.  
Kompozit malzemeler elektrik iletimi sifıra yakın olabilecek şekilde üretilebilmelerinden dolayı elektrik yalıtkanlığı istenilen ortamlarda kullanılabilirler. Endüstride dayanım ve yalıtkanlık istenilen ortamlarda sıkça kullanılırlar.
- iv. Mekanik özellikleri bakımından yorulma dayanımları yüksektir.
- v. Ürün çeşitliliği sayesinde her ortamda kullanılabilirler.

- vi. Hasara uğradığı zaman onarılması zaman ve maliyet açısından büyük avantaj sağlar
- vii. Kalıplanabilmesi imalatı zor olan malzemelerin üretiminde avantaj sağlayacaktır.
- viii. Yüksek sıcaklıklar karşısında dayanımı yüksek olarak imal edilebilmesi büyük bir avantaj sağlar
- ix. Üretim sonunda elde edilen malzemenin rijitlik değerlerinin yüksek olması avantaj sağlamaktadır.
- x. İstenilen renkte imal edilebilmesi üretim sonunda ayrıca yapılacak bir boyama işine gerek kalmaması maliyet açısından avantaj sağlar
- xi. Fiber-matris çeşit ve oranına göre sızdırmazlığı yüksek malzemeler elde edilebilmektedir.

Kompozit malzemelerde sıralanmış avantajların en önemli etkeni en doğru şekilde tercih edilmiş olan takviye malzemesi ve matris çeşididir. Sayılı avantajlarının yanı sıra dezavantajları aşağıda şekilde sıralanabilir.

- i. Yüzey kısmında kusurlar olabilir.
- ii. Mali açıdan külfetli olabilir.
- iii. Üretim konusunda zorluklar yaşanabilir.
- iv. Tabakalı kompozit yapılarda tabakalar arası ayrılma (delaminasyon) oluşabilir.
- v. Kompozit malzemeler genellikle gevrek olduğundan ani olarak kırılmalar olabilir.

Mühendislik uygulamalarında tercih yaparken belirtilmiş olan kriterler göz önüne alınarak tercih yapılmalıdır. Her türlü olumlu ve olumsuz özellikleri göz önünde alındığı vakit yaygın kullanım alanına sahiptirler.

### 1.1.2. Kompozit materyallerin yapısal olarak tasnif edilmesi

Kompozit ürünlerin sınıflandırılmasında asıl etken matris ve takviye elemanın cinsidir. Bunların her birinin yapısı itibarı ile hangi tür malzemedен oluştuğu o kompozit malzemenin yapı olarak sınıfını belirtir. Matris malzemesi plastik, metal ve seramik olarak çeşitlilik gösterir. Yapısal açıdan matris malzemenin cinsi üzerinden üç grupta sınıflandıracağız.

#### 1.1.2.1. Matris cinsi metal olan kompozit materyaller

Metaller, yüksek mukavemet gösteren ve rijit bir materyal olup, çekme ve basma gerilmelerine karşı oldukça dayanıklı olmalarına karşın yoğunluğu yüksek, ağır malzemelerdir.

Matris cinsi olarak metal malzemenin seçilmesinde başlıca etkenler;

- i. Darbelere karşı yüksek mukavemet göstermesi
- ii. Çekme dayanımlarına karşı yüksek mukavemet göstermesi
- iii. Basma dayanımlarına karşı yüksek mukavemet göstermesi
- iv. Eğme dayanımlarına karşı yüksek mukavemet göstermesi
- v. Tok bir materyal oluşu
- vi. Uzun süreli çalışmalarda verimli olması (yorulma dayanımı)
- vii. Elektrik iletiminin iyi olması

Metal olarak alüminyum (Al), Molibden (Mo), Demir (Fe), Bakır (Cu), Titanyum (Ti), Manganez (Mn) gibi metaller ve diğer tüm mühendislik metalleri ayrıca bunların alaşımları tercih edilebilmektedir. Matris cinsi metal olan bir kompozit malzemenin takviye elemanı olarak seçilecek materyal de dayanımda çok önemli rol oynar. Takviye elemanı ile metal matrisli bir kompozit malzemenin uyumlu olarak seçilmesi denenmiş bazı yöntemlerden yararlanarak ve yeni yöntemler deneyerek bulunabilir. Örneğin metal matrisli bir malzemeye takviye elemanı olarak seramik bir materyal uygulanırsa yüksek sıcaklıklara karşı dayanımı yüksek bir kompozit elde edilir. Başka örnekler vermek gerekirse; matris cinsi metal olan bir malzemeye başka bir alaşım uygulanarak aşınma dayanımı açısından daha iyi bir kompozit elde edilebilir

ve matrisi metal olan bir malzemeye plastik takviye elemanı uygulanırsa daha esnek bir kompozit elde edilecektir.[7]

Matris cinsi metal bir materyal ile uyumlu bir takviye eleman seçilmesi halinde kullanılmak istenilen ortamda mekanik açıdan ve arzu edilen tüm özellikler bakımından daha üstün bir kompozit materyal elde etmek mümkün olacaktır.

### **1.1.2.2. Matris cinsi seramik olan kompozit materyaller**

Çok yüksek sıcaklıklarda metal olmayan materyaller ile metal materyallerin pişirilmesi sonucunda oluşan yeni malzeme seramik olarak adlandırılmaktadır.[8] Matris cinsi olarak seramik malzeme seçilmesi hususunda en önemli etkenler;

- i. Çok sıcak mahallerde faaliyetini sürdürebilir.
- ii. Yüksek elastikiyet modülüne sahiptir.
- iii. Rijit bir materyaldir.
- iv. Elektrik yalıtkanlığı yüksek bir materyaldir.

Belirtilen özelliklere sahip olmasına karşın ani ısı değişimleri karşısında (termal şok) zayıf olması, gevrek olduğundan dolayı darbe karşısında düşük mekanik özellikler sergilemesi açısından bazı dezavantajlara sahiptir.

Gelişen teknoloji ile daha dayanıklı olacak şekilde seramik kompozit üretimi üzerine çalışmalar yoğunlaşmıştır. Matrisi seramik olan kompozit materyallere uygun takviye elemanı ilavesiyle çok daha dayanıklı materyaller elde edilmesi mümkün olup bu sayede birçok alanda kullanılması sağlanabilmektedir. Takviye elemanının sürekli olması ve süreksiz olması bakımından matrisi seramik olan materyaller iki grupta incelenir. [8]

### **1.1.2.3. Matris cinsi polimer olan kompozit materyaller**

Polimerler organik veya sentetik olabilirler, fakat organik polimerler çoğunlukla metal olmayan bileşenler ile hidrojenin, karbonun birleşimi sonucu oluşan yeni

materyaller olarak anlatılabilir.[8] Matris malzeme olarak polimerlerin tercih edilmesi hususunda önemli etkenleri şöyle sıralayabiliriz; [9]

- i. Karmaşık ve büyük yapıda olan malzemelerin dahi üretimi yapılabilmektedir.
- ii. Maddi açıdan uygun malzemeler olması tercih sebebidir.
- iii. Düşük yoğunlukta ve hafif malzemeler olması tercih sebebidir.
- iv. Doğal etmenlere karşı (korozyon gibi) dirençli olması tercih sebebidir.
- v. Renklendiriciler yardımıyla istenilen renklere boyanarak ek olarak boyanması gibi bir maliyet çıkarmaması tercih sebebidir.
- vi. Seri bir şekilde üretilebilmeleri tercih sebebidir.

Tercih edilmelerinin yanı sıra bazı olumsuz özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir; [9]

- i. Darbelere karşı yeteri mukavemet gösteremediklerinden mukavemetleri düşüktür.
- ii. Belirli sıcaklık aralıklarında kullanabilmeleri dezavantaj sağlamaktadır.

Kompozit malzemelerde takviye elemanında plastik türde malzeme seçilmesi durumunda darbenin absorbe edilmesi ve elastikiyet kazanmasına avantaj sağlarken matris malzemede kullanılması durumunda üzerine uygulanan yükü daha fazla oranda taşımasına yardımcı olur.

Polimer matrisli kompozit malzemeler termosetler, termoplastikler ve elastomerler olarak üç ana gruptan oluşur.

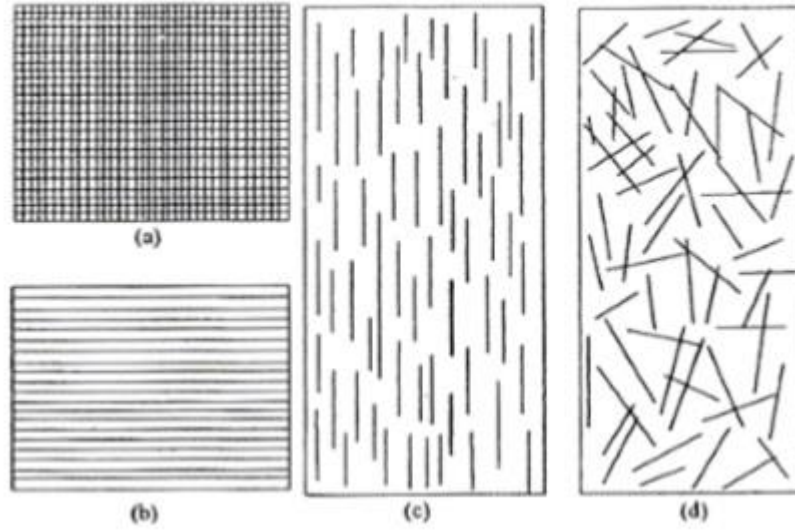
### **1.1.3. Kompozit materyallerin şekillere göre sınıflandırılması**

Kompozit malzemelerin yapısındaki takviye elemanın geometrik şekli açısından elyaf, partikül yapılı, tabakalı ve karışık yapıya sahip olmak üzere dört alt başlık altında incelenecektir.

#### **1.1.3.1. Takviye elemanın elyaf yapıya sahip olduğu kompozit materyaller**

En yaygın olarak kullanılan takviye çeşidi elyaf takviyeli kompozitlerdir. Sürekli (örgü ve düz) ve kesikli (tek yönlü ve karmaşık) olmak üzere iki şekilde görülür.





**Şekil 1.1** Kompozit materyaller içinde liflerin dağılımı  
a) Örgü tip sürekli lif b) tek yönlü sürekli lifler c) kesikli tek yönlü lifler  
d) kesikli karmaşık lifler [11]

Takviye elemanı olarak kullanılan elyaf yüksek mukavemete sahip rijit materyallerdir. Üzerine uygulanan kuvvetler lifler tarafından taşınır. Kompozit materyallerde bulunan matrisler lifleri bir arada tutar ve üzerine uygulanan kuvvetin liflere dağılımını sağlar. Belirtilen özellikler dışında liflerin kompozit üzerinde yönelimleri, elyaf miktarının tüm malzemeye oranı ve kullanılmak istenilen ortamda en iyi özelliği sağlayabilecek olan takviye elemanın cinsi kompozit malzeme seçiminde etkili olan faktörler arasında büyük önem arz etmektedir.

### 1.1.3.2. Takviye elemanın partikül yapıya sahip olduğu kompozit materyaller

Takviye elemanının partikül yapıda olduğu kompozit materyallerde matris içerisinde etkileşime uğramayıp birbiri ile büyük veya küçük oranda karışımı sonucu oluşur. Bu tür kompozitlerin üretilmesindeki amaç aşınma direncinin artırılması, elektrik iletkenliğini veya yalıtkanlığını sağlamak, kompozit materyalin rijitliğini artırmak, termal özelliklerini iyileştirmek gibi özelliklerinin geliştirilmesi sağlanır. Kompozit materyalin içinde tam olarak birleşim olmadığından dolayı mekanik açıdan iyileştirilmekten çok şekilsel olarak özelliklerin geliştirilmesi ön planda tutulur.

Takviye elemanının parçacıklı yapıda olması ve birbiri ile ısı etkisi altında tam olarak birleşim göstermemesinden dolayı oluşan yeni parçanın mekanik özelliklerinde

düşüş yaşanabilir. İki farklı malzemenin ergime sıcaklığının farklı olabilmesinden ötürü tam birleşme sağlanamayabilir. Bahsedilen özelliklerinden dolayı genelde görsel amaçlı üretilen ürünlerde partiküllerin farklı bir desen sağlaması açısından tercih edilirler. Takviye elemanı elyaf olan kompozit materyallerde yükün en büyük kısmı lifler tarafından taşınırken, takviye elemanı olarak partikül yapıdaki kompozitlerde yük matris ve takviye eleman tarafından bölünerek taşınır.[11]

### **1.1.3.3. Takviye elemanın tabakalı yapıya sahip olduğu kompozit materyaller**

Takviye elemanı tabakalı yapıya sahip kompozitler, genelde birden fazla malzemenin yapıştırılmasıyla meydana gelirler. Birden fazla ve birbirinden farklı takviye elemanı kullanılmasındaki asıl amaç malzemenin mukavemetini artırmak, dış etmenlere karşı (korozyon v.b.) dayanımını artırmak, yalıtım konusunda materyalin daha iyi özellikler göstermesini sağlamak ve yüzey kalitesini artırmak gibi daha birçok yönden kompozit materyalin iyileştirilmesini sağlamaktır.

Takviye elemanı olarak tabakalı yapıdaki materyallerde en az iki ve daha fazla tabaka kullanılmaktadır. Kompozit materyalden beklenen özelliklere göre aynı türden tabakada kullanılabilir. Fakat istenilen özelliklerin fazla olması durumunda tabaka sayısı artırılarak istenilen verimi elde etmeye çalışmak gerekir.

### **1.1.3.4. Takviye elemanın yığma (hibrid) yapıya sahip olduğu kompozit materyaller**

Tek bir kompozit materyalin takviye elemanında iki veya daha fazla değişik yapıda elyaf türünün kullanıldığı materyallerdir. Buradaki amaç materyalin ön plana çıkan özellikleri kullanılarak bir diğer malzemenin de üstün özelliklerinin eklenmesiyle oluşan yeni malzemenin birden fazla özellik bakımından üstün bir malzeme elde edilmesini sağlamaktır. Örneğin bir materyalin mekanik açıdan üstün özelliklere haiz olması ile bir diğer malzemenin kimyasal veya fiziksel özelliklerinin iyi olmasıyla elde edeceğimiz yeni kompozit materyalin mekanik, kimyasal veya fiziksel bakımdan daha üstün tek bir materyal elde edebileceğimiz yöntemdir. İstenen özelliklerdeki yeni

malzemeler ekonomik açıdan ve zaman açısından gelişen teknoloji ile insanlığa fayda sağlayacaktır.

#### **1.1.4. Kompozit materyal imalatında kullanılan ana unsurlar**

Matris elemanı, Reçineler ve Elyaf ürünleri bir kompozit malzemenin temel unsurları olarak gösterilebilir.

##### **1.1.4.1. Matris elemanı**

Matris elemanının temel fonksiyonlarını aşağıda belirtilen şekilde sıralamak mümkündür;

- a. Kompozit materyalin dışındaki ortamdan gelen etkiler karşısında koruma sağlamaktır.
- b. Kompozit materyal içerisinde bulunan liflere dış ortamdan gelen yükleri eşit bir şekilde dağıtmaktır.
- c. Kompozit materyalin bir bütün olarak rijit durmasını sağlamaktır.
- d. Kompozit materyalin kaliteli bir dış yüzeye sahip olmasını sağlar.

Kompozit bir materyalden arzu edilen davranışları göstermesi açısından matris elemanı çok büyük önem arz etmektedir. Matris elemanları günlük hayatta genellikle sıvı fazda olup üretim aşamasından sonra katı hale geçmektedir. Seçim yapılacak matris elemandan beklenen özelliklerden bazılarını şu şekilde sıralamak mümkündür;

- a. Yüksek basınç etkileri altında sağlam bir duruş sergilemelidir.
- b. Çekme yükü etkisi altında sağlam bir materyal olmalıdır.
- c. Yorulma mukavemeti iyi bir materyal olmalıdır.
- d. Ani darbelere karşı iyi bir koruma sağlamalıdır.

Matris elemanından beklenen özellikleri sağlamak açısından kullanılacağı ortam hakkında sağlam bilgiler elde etmek gereklidir. Sıcak bir ortamda çalışacaksa buna uygun seçim yapılmalıdır. Sürekli yük etkisi altında çalışacaksa mekanik özellikleri iyi bir malzeme seçimi yapılmalıdır. Matris elemanının çalışacağı ortam üzerinde iyi bir çalışma yapıp birçok açıdan değerlendirilip seçilmesi için çok büyük ve önemli kısmını oluşturmaktadır. Gelişigüzel yapılacak bir tespit zaman ve maliyet gibi en önemli iki

değer açısından kayıplara yol açabilmektedir. Bu sebeptendir ki yapılacak tercih çok önem arz etmektedir.

#### **1.1.4.2. Reçineler**

Endüstride hali hazırda kullanılmakta olan sıvı ve toz kıvamda reçineler mevcuttur. Bunlardan en çok kullanılan türleri epoksi, polyester, üretan ve fenolik reçinelerdir.

#### **1.1.4.3. Elyaf ürünleri ve özellikleri**

Kompozit materyallerde takviye elemanı olarak elyaf ürünler yaygın olarak kullanılır. Elyaf materyaller hafif yapıdadır ve hafifliklerin yanı sıra yüksek tokluğa ve iyi derecede elastikiyete sahiptirler. Elyaf ürünleri kompozit materyalin mekanik özelliklerinin oluşumunda katkısı çok büyüktür.

Geçmişten günümüze doğru gelindikçe ilk olarak ve en çok kullanılan elyaf türü cam elyafıdır. Gelişen teknoloji ile birlikte bor elyaf, grafit elyaf, silisyum karbür elyaf, alümina elyaflar ve aramid elyaflar farklı özellikleri sayesinde değişik alanlarda kullanıma başlanmıştır. Elyaf yapılar gelişen teknoloji sayesinde değişik kombinasyonlar kullanılarak ve çeşitli deneyler ile mekanik özellik bakımından üstün materyaller geliştirilmiş ve gelişimi devam etmektedir.

#### **1.1.5. Kompozit malzemelerin imalat usulleri**

Kompozit materyallerin imalat usulleri değişik ihtiyaçlara göre farklı farklı yöntemlerle yapılmaktadır. Farklı yöntemler kullanılarak yapılan imalatlar birbirlerine göre çeşitli avantajları vardır. Yani çeşitli yöntemler kullanılarak elde edilecek olan kompozit materyallere en uygun yöntem uygulanarak optimum değerler elde edilmesi sağlanır. Kompozit materyallerin imalat usulleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- ❖ El ile yatırma usulüne göre kompozit imalatı
- ❖ Reçine enjeksiyon usulüne göre kompozit imalatı
- ❖ Püskürtme usulüne göre kompozit imalatı

- ❖ Flaman sarma usulüne göre kompozit imalatı
- ❖ Profil çekme usulüne göre kompozit imalatı
- ❖ Torba kalıplama usulüne göre kompozit imalatı

### 1.1.6. Kompozit materyallerin uygulama alanları

Doğada bulunanlar tüm materyaller istenilen ihtiyaçları karşılamak açısından kullanılmaktadır. Kompozit materyallerin mekanik açıdan üstün özellikleri sayesinde hayatın birçok alanında bulunan ihtiyaçları karşıladığı için sıklıkla kullanılan bir materyal olmaktadır. Gelişen teknoloji ile daha farklı özellikleri karşılaması ve farklı kullanım alanlarında istenilen kombinasyonda kullanılması kompozit materyalleri öne çıkaran önemli özelliklerindedir. Kompozit materyallerin kullanıldığı mecralardan bazıları şu şekildedir;

- ✓ Havacılık ve uzay endüstrisi
- ✓ Otomotiv endüstrisi
- ✓ Denizcilik endüstrisi
- ✓ Sağlık endüstrisi
- ✓ Yapı endüstrisi

### 1.2. Alüminyum Materyaller

Çelik materyalin yoğunluğuna kıyas ile alüminyum üçte bir oranında daha hafif bir üründür. Metallere göre daha parlak gümüş gri bir renge sahiptir. Doğal ortamda oksit yapabileceğinden dış yüzeyi kaplanır. Bakır materyaline oranla %35 daha az iletken bir materyaldir. Termal iletkenliği yüksek bir materyaldir. Tablo 1.1' de alüminyum materyalinin bazı özellikleri verilmiştir.

**Tablo 1.1** Alüminyum materyalinin bazı özellikleri [1]

<b>Kimyasal Sembolü</b>	Al
<b>Özgül Ağırlığı</b>	2.78 g/cm <sup>3</sup>
<b>Ergime Noktası</b>	658 °C
<b>Çekme Mukavemeti</b>	
+ Yumuşak tavlı	65 N/mm <sup>2</sup>
++ Sert hadde edilmiş	12-190 N/mm <sup>2</sup>
<b>Atom Numarası</b>	13
<b>Elastikiyet Modülü</b>	70 GPa

Alüminyum materyali işlenebilir ve çeşitli etkiler ile mukavemet özelliklerinde ciddi oranda artış sağlanabilir. Saf hali ile çeşitli materyaller ile alaşım oluşturulmuş hali arasında 14 kat oranında yüksek mukavemet değerleri elde edilebilir. [1]

Alüminyum ekseriyetle yoğunluğun düşük olması gereken araçlarda kullanılmaktadır. Hava araçlarında hafiflik ön planda olduğundan bu sektörde yaygın kullanıma sahiptir. Sıcaklık etkisinde ısının depolanması ve boşaltılması yönünden etkili bir materyal olan alüminyum ısıtma ve soğutma gerektiren radyatör gibi birçok materyalin ana ürünüdür. Fiyatına göre bakırdan daha ucuz olması münasebetiyle günlük hayatta alternatif bir ürün olarak kullanılmaktadır. İşlenmesi kolay bir ürün olup korozyon karşısında dayanıklı olması tercih sebebidir.

Alüminyum materyali ile bazı elementlerin alaşımları sonucu mukavemeti yüksek, korozyon direnci yüksek daha üstün materyaller elde edilmektedir. Aşağıda tablo 1.2’de bazı elementler ile alüminyum alaşımın pozitif etkileri verilmiştir.

**Tablo 1.2** Alüminyum materyaline bazı elementlerin etkileri [1]

	Magnezyum	Bakır	Silisyum	Çinko	Mangan	Kurşun
Dayanım (Mukavemet)	**	**	*	**	*	0
Korozyon Direnci	**	-	**	-	**	0
Döküm Durumu	*	0	**	0	0	0
İşlenme Durumu	*	0	*	*	-	**
** : Mükemmel * : standart 0: Nötr - : Ters Etkili						

Çeşitli işlemler sonrası elde edilen ürünler ısıl etkileşim ile daha fazla sertlik elde edilerek yüksek mukavemetli alüminyum materyal elde edilebilir. [1]

### 1.2.1. Alüminyum materyalinin saf hali

Saflık değeri yüzde 99 ve üzeri olan 1XXX serisinde bulunan alüminyum türüdür. 1XXX diye tanımlanırken sondaki iki rakam alüminyumun yüzde cinsinden

değerini ifade eder. Saf alüminyum korozyon direnci yüksek olup, termal etkiler karşısında ısınır, soğuyabilme ve elektrik iletimi konusunda yeterince uygun özellikler göstermektedir. Kullanım alanları aynı doğrultuda çeşitli elektriksel reflektörlerde, araçlarda kullanılan radyatörler yani ısı değiştirgeçlerinde, folyo ve bazı estetik amaçlı ürünlerde kullanılmaktadır.

### 1.2.2. Alüminyum materyalinin dövme alaşımları (işlenmiş)

2XXX ile başlayan ve 8XXX'e kadar olan alaşımlar dövme alaşımları olup, sondaki iki rakam özel bir ifadeye sahip değildir. Sonda bulunan bu rakamlar değişik alaşımların tanımlanmasında kullanılır.[4] Aşağıda bulunan tablo 1.3' te bazı alaşım grupları ve tanımlamaları verilmiştir.

**Tablo 1.3** Alüminyum materyaline bazı elementlerin etkileri [4]

	Dövme alaşım	Dökme alüminyum
Saf halde	1XXX	1XXX.X
Cu	2XXX	2XXX.X
Mn	3XXX	3XXX.X
Si	4XXX	4XXX.X
Mg	5XXX	5XXX.X
Mg+Si	6XXX	6XXX.X
Zn	7XXX	7XXX.X
Li	8XXX	8XXX.X
Farklı tür		9XXX.X

#### 1.2.2.1. İşlenmiş alüminyum-bakır alaşımları (2XXX)

Asıl olarak bakırın, ani soğutma ile alüminyum içerisinde doymuş bir yapı elde edilmesiyle oluşur. Bu işlem çökelme ısıl işlemi olarak adlandırılır. İşlenme açısından önem arz eden materyallerde kullanılır ve düşük ısılarda yüksek mukavemet özellikleri göstermektedir. Korozyon karşısında diğerlerine oranla daha düşük değerlere sahiptir. Herhangi bir kırılma veya birleştirme işlerinde düşük kaynak özellikleri gösterebilir. [4]

### **1.2.2.2. İşlenmiş alüminyum-mangan alaşımları (3XXX)**

İşlenme bakımından kolay bir materyal istendiği vakit ve korozyona karşı dirençli olması bakımından bu tür alaşımdaki alüminyum kullanılır. 3XXX şeklinde ifade edilir. İçecek kutuları, mutfak ürünleri, radyatör ürünleri, saklama tankları, kaplama ürünleri bu tür alüminyumlardan kullanılmaktadır. [4]

### **1.2.2.3. İşlenmiş alüminyum-silisyum alaşımları (4XXX)**

Alaşım elementi silisyum olduğundan ötürü alüminyumun ergime sıcaklığının altında kalmaktadır. Bu sebepten dolayı bu tür alaşımlara ekseriyetle ısı işleme maruz bırakılmamaktadır. Lehim türünde ve kaynak işlemlerinde kullanılan bir tür alaşımdır. 4032 türünde bir alaşım dövme pistonlarda kullanılarak genleşme oranı düşük aşınma direnci yüksek ve hafif materyal olarak istisna gösterilebilir. [4]

### **1.2.2.4. İşlenmiş alüminyum-magnezyum alaşımları (5XXX)**

Uzama miktarı yüksek alaşım türüdür. Sertleştirmeye maruz kalmış alaşımlarda bile bir süre sonra yumuşama görülebilmektedir. Ekseriyetle kaynak işlemlerinde kullanılan bir türdür. Uzama yaptığından dolayı çatlama riski azdır. Isı olarak düşük basınçlı yerler olan içecek türlerinin depolandığı tanklarda kullanılan bir materyaldir.[4]

### **1.2.2.5. İşlenmiş alüminyum-magnezyum-silisyum alaşımları (6XXX)**

Ortalama bir mukavemet değerlerine sahip olmasına karşın, kaynak olabilme oranı yüksek, korozyon karşısında mukavemetli olması ekseriyetle kullanılmasını sağlamıştır. Köprü ve birleştirilmiş yapılarda, ulaşım sektöründe kullanılmaktadır. [4]

### **1.2.2.6. İşlenmiş alüminyum-çinko alaşımları (7XXX)**

7XXX olarak ifade edilen ve eser miktarda dahi olsa bakır ve krom gibi elementler ilave edilen alaşım türüdür. Magnezyum elementinin eklenmesi ile



sertleştirilebilir ve daha mukavemetli bir ürün elde edilebilir. Genellikle mukavemet gerektiren uçak gövdeleri gibi yerlerde kullanılmaktadır. [4]

### **1.2.3. Alüminyum materyalinin döküm alaşımları**

Hafif olmanın yanı sıra dökümde alüminyum kullanılmasının kendine has avantajları bulunmaktadır. Düşük sıcaklıklarda ergimeye uğraması, hidrojen hariç diğer gazların düşük olarak çözünmesi, elde edilen ürünün yüzeyinin pürüzsüz olması avantajlarından bir kısmıdır. Buna karşın döküm sırasında oluşan iç boşluklar ve soğuma sonrasında materyalin büzülmesi gibi bazı dezavantajları mevcuttur. [4]

#### **1.2.3.1. Alüminyum – bakır türü döküm alaşımlar**

Döküm yapılırken bazı kusurlar görülebilir ve ürün elde edilirken soğuma sırasında ürün ilave edilerek sertlik sağlamak gerekmektedir. Genel olarak kum kalıplara döküm yapılarak ürün elde edilir. Metal kalıplarda üretim yapmak için silisyum ile dökümün akışkan olmasını sağlamak gerekmektedir. Fakat silisyum eklenmesi oluşan ürünün sünekliği ciddi oranda düşüş yaşanır. Korozyona karşı alaşımlara oranla daha düşük oranda mukavemete sahiptir. Belirli limitlerde kaynak edilebilir.[4]

#### **1.2.3.2. Alüminyum – silisyum –magnezyum veya bakır türü döküm alaşımlar**

Muhteviyatında %1,3 oranında silisyum ile magnezyum aynı oranda bulunur. Düşük oranda kurşun, bakır veya krom mukavemeti artırmak için kullanılabilir. Mekanik parçalar, Ahşap ürünlerinden olan mobilya sektörü ve köprü gibi taşıma sistemlerinde kullanılan bir tür döküm çeşididir. Daha çok aynı oranda silisyum ve bakır içeren dökümler kullanılmaktadır. İstenen oranlarda elementler değiştirilebilir. [4]

#### **1.2.3.3. Alüminyum – silisyum türü döküm alaşımlar**

Dökümde akışkanlığı sağlandığından sıklıkla kullanılan bir tür döküm çeşididir. Kaynak edilme kabiliyeti yüksek ürün elde edilir. Korozyon karşısında yüksek

mukavemet gösteren bir tür döküm alaşımdır. Silisyum yapı itibarı ile sert bir ürün olduğundan dolayı işlenme konusunda güçlük oluşturabilir. [4]

#### **1.2.3.4. Alüminyum – magnezyum türü döküm alaşımlar**

Ekseriyetle deniz suyunun yüksek korozyon oluşumuna etkisi karşısında yüksek mukavemetli bir türdür. Döküm yapılması konusunda bazı güçlükler yaşatması, bu türdeki alaşımların ekonomik açıdan dezavantaj sağlamaktadır. Döküm yapılacak kalıp eğer kumdan yapılıyor ise; kumda oluşan nem etkisiyle alüminyumun içerisinde bulunan magnezyum ile etkileşim yapıp kararmalara sebebiyet vereceğinden bu tür etkiler karşısında çeşitli önlemler almak gerekecektir. Ayrıca kum kalıplamalarda yüzey kalitesinde düşüş yaşanacağından bu tür etkilere dikkate alınıp önlem almak gerekmektedir. Bu tür etkiler karşısında oluşturulacak kalıp içerisindeki kuma %1,5 oranında borik asit eklemekle bu tür sorunlar indirgenebilir. [4]

#### **1.2.3.5. Alüminyum – çinko – magnezyum türü döküm alaşımlar**

Bu türdeki alaşımlara ek olarak krom, bakır ilave edilerek mukavemet artırılır. Fakat ilave edilen bakır ve krom kaynak açısından sıkıntılar çıkarabilir. Mukavemet oda şartlarında bekletildiğinde düşüğe uğrayabilir bu durumda çeşitli sertleştirme işlemleri uygulanıp materyalin mukavemeti artırılabilir. İşlenme özelliği açısından bu türdeki alaşımlar tercih edilir. Korozyona karşı mukavemetli olup, boyut açısından değişiklik göstermezler [4]

#### **1.2.4. Alüminyum materyalinin alaşımlarına uygulanan ısıl işlemler**

Alüminyum materyallerin alaşımlarına uygulanan ve çeşitli yönlerden daha iyi özellikler kazandırmak adına çeşitli ısıl işlemler uygulanır. Bu uygulamalardan bazılarını aşağıda şekilde sıralayabilir.

- Çeşitli sebeplerden ötürü muhteviyatında bulunan materyallerin birbirinden ayrılmasını önlemek ve şekillendirilmesini kolaylaştırmak adına ilk olarak belli bir ısıya maruz bırakmak veya homojen hale getirmek

- Sertlik artırma işlemi ve ısıtma işlemi sonucu sertleşmiş materyali yumuşatmak, iç gerilmeleri azaltmak, mukavemet değerleri artırmak ve boyut değişimini engelleme yapmak
- Çözelti olarak alaşımların rijitliğini sağlamak ve mekanik açıdan üstün özellikler kazandırmak
- Katı fazda bulunan ve materyallerin çökme ile sertleştirilmesini sağlama işlemi uygulamak [4]

### 1.2.5. Alüminyum materyalinin kullanım alanları

Dünyada metal üretimi ilk sırada olup hemen ardından alüminyum üretimi onu izlemektedir. Bazı kullanım alanlarına göre % olarak dağılımları tablo1.4' te yaklaşık olarak verilmiştir.

**Tablo 1.4** Alüminyum materyalinin uygulama alanlarına göre oranları [4]

<b>Kullanıldığı alan</b>	<b>Kullanılma yüzdesi (%)</b>
<b>İnşaat sektörü</b>	<b>25</b>
<b>Ulaşım sektörü</b>	<b>24</b>
<b>Koruyucu ambalaj</b>	<b>15</b>
<b>Elektronik</b>	<b>10</b>
<b>Mühendislik uygulamaları</b>	<b>9</b>
<b>Günlük kullanım eşyaları (mobilya v.b.)</b>	<b>6</b>
<b>Demir-çelik endüstrisi</b>	<b>3</b>
<b>Kimya sektörü</b>	<b>1</b>
<b>Diğer sektörler</b>	<b>7</b>
<b>Toplam</b>	<b>100</b>

Yoğunluğu göz önüne alındığı vakit çekme mukavemetine oranla yapı çelikler ile karşılaştırıldığı zaman yaklaşık 3 kat daha yüksek mekanik özelliklere sahiptir. Hafiflik ve mukavemetin ön planda olduğu havacılık sektöründe ekseriyetle kullanılmakta olan alüminyum materyaller ayrıca korozyona karşı göstermiş olduğu üstün özellikleri sayesinde denizcilik sektöründe kullanılmaktadır. Alüminyum ile bakırın özgül ağırlığı kıyas edilince alüminyum daha hafif olduğundan bazı elektrik işlerinde (yüksek hatlarda) her ne kadar bakır ile kıyas edilince %40 oranında daha az iletken olması göz önüne alınırsa dahi hafifliğin etkisi daha fazla kullanılmasını sağlamıştır. Ayrıca kimyasal etkileşimi düşük bir materyal olduğundan dolayı sağlık ve

yiyecek sektöründe de sıklıkla kullanılan bir ürün haline gelmiştir. Plastik şekil değişim oranı yüksek olduğundan çok ince boyutlara kadar haddelenmesi mümkündür.

### **1.3. Materyallerin Birleştirme Metotları**

Genel manada üç çeşit birleştirme türünden bahsedilebilir.

1. Mekanik birleşim; perçin ile birleştirme veya cıva ile bağlama
2. Termal birleşim; lehimleme ile birleştirme
3. Kimyasal birleşim; yapıştırıcı yardımıyla birleştirme

#### **1.3.1. Mekanik birleştirme metodu**

Makine elemanlarını çeşitli zamanlarda bakım veya onarım için montaj veya de montaj yapmak gerekebilir. Bu ve benzeri işlerde birbirleri ile çalışan elemanların birbirlerine birleştirilmesi ve sökülmesi kolay olması gerekmektedir. Cıvatalar bu tür birleşimlerde en ideal parçalardır.

Mekanik olarak cıvata ve perçin ile yapılan birleştirmelerde yapıştırılacak iki parçada delik açılır ve birleşim sağlanır. Açılan delikler malzemenin mekanik olarak zayıflamasına sebebiyet verebilir. Bu durumun önlenmesi açısından malzemenin et kalınlığını artırarak mukavemet artırılabilir. Fakat herhangi bir önlem alınmaz ise; malzeme kısa sürede yorulmaya uğrayabilir. Bir diğer olumsuz yönü ise materyalin o bölgede daha çabuk korozyona maruz kalmasına sebep olabilir. Bu tür durumlarda da malzemenin o bölgesine çeşitli koruma yöntemleri uygulanabilir.

Bu türde yapılan birleştirmeler mekanik olarak birbiri ile bağlantılı çalışan ve sökülüp takılmaya ihtiyaç duyulan materyallerde uygulanır. Günlük hayatta sıklıkla kullanılan birleştirme yöntemidir.

#### **1.3.2. Termal birleştirme metodu**

Benzer materyallerin birleşiminde kullanılan bir metottur. Bu tür birleşim uygulanmış materyallerin birbirinden ayrılması işlemi genelde zordur. Birleştirme işlemi yüksek sıcaklıklarda yapıldığından dolayı materyalde çeşitli iç gerilmelere

sebebiyet verebilir ve bu nedenden ötürü normalden daha erken bir zaman içerisinde malzeme yorgunluğuna uğrayabilir. Genel olarak birbirinden kopan parçaların birleşiminde ve aynı türden iki materyalin çeşitli geometrilerde birleştirme işlemlerinde sıklıkla tercih edilen bir metottur. Günlük hayatta ekonomik açıdan yüksek materyallerin kısmı onarımlarında kullanılmaktadır.[14]

### **1.3.3. Kimyasal birleştirme metodu**

Materyallerin bir yapıştırıcı yardımıyla birleştirildiği metottur. Bu yöntemde mekanik yöntemde olduğu gibi delik açılmadığından dolayı malzemede herhangi bir iç gerilme oluşmaz. Termal birleştirmede yüksek sıcaklıklardan ötürü materyalde fiziksel değişim olduğu gibi bu yöntemde böyle bir duruma rastlanmaz. Her türlü boyutta ve şekilde parçalar birbirleri ile yapıştırıcı yardımıyla birleştirilebilir. Birleştirilen iki materyalin üstün özelliklerinden faydalanmak amacıyla her türlü malzeme seçimi ile birleşim yapılması mümkündür. Birleştirilen materyaller arasında sızdırmazlık sağlanır. Diğer yöntemlere göre fazladan bir parça veya ağırlık olmadığından dolayı malzemede hafiflik sağlanabilir.[14]

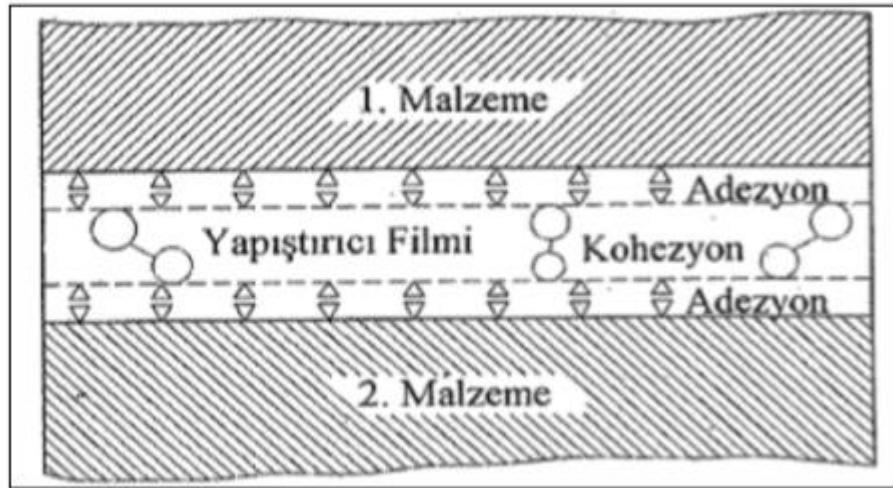
## **1.4. Birleştirici Materyal Türü Olan Yapıştırıcılar**

### **1.4.1. Yapıştırma prosedürleri**

Aynı türden veya farklı türden materyallerin birbirlerine adhezyon kuvveti etkisiyle sağlam bir şekilde tutunmasını sağlayan ve bu birleşimin rijitliğini uzun bir müddet koruyabilen birleştirici türüne yapıştırıcı denilmektedir.[15]

Mekanik ve termal birleştirme yöntemlerine göre olumlu ve olumsuz özellikleri göz önüne alındığı vakit yapıştırma yöntemi kabul gören bir metottur. Birleştirilen Materyaller arasında sağlam bir bağ kuran yapıştırıcılar yıllar boyu çeşitli araştırmalara konu olmuştur. Yıllar boyunca yapıştırıcılar hakkında yapılan mühendislik çalışmaları sayesinde epey gelişim göstermiştir. Yapıştırıcıların gelişmesi sayesinde endüstride zaman ve ekonomik açıdan fayda sağlandığından ötürü sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır.

Yapıştırıcı ile birleşim yapılan materyallerin durumlarını daha iyi anlamak için fiziksel ve kimyasal yönden oluşan durumları anlamak gereklidir. Yapıştırıcının kendi içyapısında oluşan kohezyon ve birleştirilen materyal ile yapıştırıcı arasında oluşan adhezyon kuvvetlerini iyi anlamak gerekir. Şekil 1.2’de birleşimi yapılan materyallere etki eden kuvvetler gösterilmiştir.



Şekil 1.2 Birleşim yapılmış materyallere etkiyen kuvvetler [15]

#### 1.4.1.1. Adhezyon etkisi

Birleşimi sağlayan yapıştırıcı ve yapışma sağlanan materyaller arasındaki yüzey arasında oluşan çekim etkisi olarak anılabilir. Birleşimin sağlanmasındaki en önemli fiziksel etmen valans kuvvetidir. Birleşimin yapılacağı temas alanı ve yapıştırıcının birleştirme kabiliyeti en iyi birleşimin sağlanması açısından en önemli etmendir.

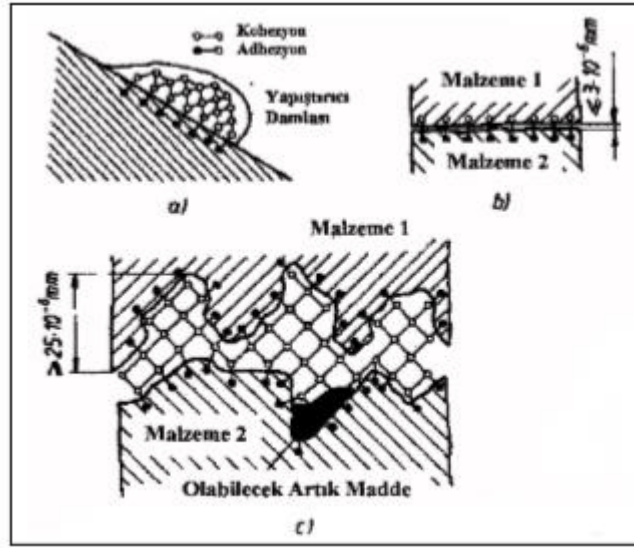
Birleşimi sağlayacak olan yapıştırıcının birleşim yüzeyi ile tam etkileşimi elde edilmez ise yeteri kadar bağlama kuvveti sağlanmayacağından ötürü zayıf bir yapışma olacaktır. Bu durumun önüne geçmek için yüzeyler arası bağlantıyı sağlayacak olan yapıştırıcı materyalin akışkanlığı(viskozitesi) ve yapıştırma yüzeyine etkileşimi önem arz edeceğinden en doğru yapıştırıcı ile birleşimin sağlanması gereklidir. Birleşimin en iyi şekilde sağlanması açısından yapılması gerekenler arasında en önemli hususlardan biride yapıştırma öncesi yapılması gereken işlemlerin uygulanmasıdır. Uygulanması

gereken ön işlemler arasında yüzeyin her türlü inert maddelerden arındırılıp en temiz hali elde edildikten sonra birleştirme işleminin yapılması gerekir.

#### 1.4.1.2. Kohezyon etkisi

Birleşimi sağlayan yapıştırıcı materyalinin kendi iç moleküler yapısında oluşan, kimyevi kuvvetler ve fiziki kuvvetler etkisinde materyalin bir arada ve bütün halinde bulunması sağlayan kuvvet olarak tanımlanabilir.

Yapıştırıcı materyalin bütün olarak durması çeşitli reaksiyonlar sonucu oluşmaktadır. Bu reaksiyonlardan yapıştırıcının muhteviyatında bulunan moleküllerin, birbiri arasında bulunan fiziki çekim gücü “Van der Waals kuvveti” ve birbirine sıkıca bağlanmasını sağlayan kimyevi kuvvetlerdir. Şekil 1.3’te adhezyon ve kohezyon etkileri şeması verilmiştir.



Şekil 1.3 Adhezyon etkisi ve kohezyon etkisi şeması [15]

Şekil 1.3’te verilen a-b ve c şıklarında yapıştırılacak yüzey üzerine damlatılmış yapıştırıcının yüzey üzerinde bulunan adhezyon etkileri ve kohezyon etkileri gösterilecek bir materyalin tutunma yüzeyinin nasıl olduğu resmedilmiştir. Bu etkiler doğrultusunda bir materyalin en iyi tutunma sağlaması açısından moleküler arasında oluşan çekim kuvveti ile yapışma yüzeyi arasında bulunan çekim kuvvetinin eşit olması gerekmektedir. [15]

### 1.4.2. Yapıştırıcı ile birleştirmenin teorileri

Günümüze gelene değin yapışmanın teorisini açıklamak için birçok çalışma yapılmış ve çeşitli fikirler öne sürülmüştür. Bu fikirler yapıştırıcının en küçük boyutlardan en büyük boyutlara kadar incelenmesini içeren kavramlar ele almıştır. Bizim bu başlık altında inceleyeceğimiz dört başlık bulunmaktadır. Yapılan çalışmalar içeriğin en iyi şekilde ele alındığı konular olup, tek başlarına yapışmanın durumunu tam olarak açıklayamadığından bir bütün olarak değerlendirmek daha makul bir yaklaşım olacaktır. [15]

#### 1.4.2.1. Mekanik açıdan yapıştırma

Birleştirme işlemi yapılacak yüzey üzerine yapıştırıcı damlatılıp yüzey üzerinde yeteri ıslaklığın sağlanacağı ve çok iyi mekanik yapışma sağlanacağı ifade edilen görüştür. Burada ifade edilen mekanik yapışmanın yüzey üzerinde bulunan mikro boyuttaki her alana nüfuz edip tam birleşmenin yapılacağını ifade etmektedir. Yapılan çeşitli araştırmalar incelendiği vakit yüzey üzerinde bulunan inert maddelerin ( Yağ, kir ve oksitlenme gibi) temizlenmesi ve yüzey üzerinde pürüz oluşturulması ile mekanik birleşmenin daha iyi sağlandığı kanaatine varılmıştır. Bu şekilde yapılan işlemler ile yapıştırılacak yüzeyin temizlenmesi ile ıslaklığın artacağından yapışmanın her noktaya nüfuz edeceği ve bu sayede yapışmanın alanı artacağından mekanik birleşme artmış olur. Fakat bu görüşten farklı olarak pürüzsüz yüzey elde edilmiş parçaların birleşiminde de istenilen bağlantı sağlanmıştır. Yani bu görüş başlı başına yeterli olmayabilir. [15]

#### 1.4.2.2. Adsorpsiyon etkisi ile yapıştırma

Birleşme sağlanacak olan ana materyal ve yapıştırıcı materyal arasında en iyi birleşme sağlanması açısından temas eden yüzeylerin atomlar ve moleküler düzeyde çekim kuvveti oluşup tam birleşmenin sağlandığının ifade edildiği görüştür. Bir diğer adı olan tutunma teorisi ekseriyetle kabul edilen bir görüştür.

Birleştirilecek olan asıl materyal ile yapıştırıcı materyal arasında bulunan yüzeyin üzerinde oluşacak çekim kuvvetleri iki farklı durumda incelenmiştir. İyonik



bağ, metalik bağ ve kovalent bağların olduğu kuvvetler birincil olarak ifade edilmiştir. Van der Waals bağları, hidrojen bağları, asit-baz ve dipol-dipol etkileşimi içeren bağlar ise ikincil kuvvetler olarak ifade edilmiştir. Çeşitli araştırmalar neticesinde birincil yapışma güçlerinin ikincil yapışma güçlerine oranla daha kuvvetli olduğudur. Birleştirilmiş yüzeyin 1 nanometre yakınında yapılmış çekim deneyi neticesinde takribi 100 MPa çekim kuvveti olduğu görülmüştür. Fakat bulunan değer yapışma mukavemetine oranla çok yüksek olduğu görülmüştür. Bu bağlantının görülen fark değerlerinin oluşumunda çeşitli kusurların (boşluk vs.) görülmesi sebebiyle olması muhtemeldir. Ayrıca yapılan hesaplamalar ile gerçek hayatta yapılan deneyler arasında oluşan büyük farkların asıl sebebinin ikincil kuvvetler olduğu kanaatine varılmıştır. [16]

#### **1.4.2.3. Difüzyon etkisi ile yapıştırma**

Polimer materyaller arasında birbirlerine nüfuz etmesiyle oluşan yapışma türünü ifade eden görüştür. Ekseriyetle benzer materyallerin birleşiminde meydana gelen durum olarak ifade edilebilir. Nadiren de olsa metallerin temas yüzeylerinin arasında da görülmektedir. [16]

#### **1.4.2.4. Elektrostatik etki ile yapıştırma**

Deryaguin adlı araştırmacının görüşüne göre yapıştırıcı ile ana malzemenin yüzeyler arasında oluşan elektron transferleri sayesinde çekim gücü oluştuğunun ileri sürüldüğü yapışma teorisidir. Kondansatörlerde olduğu gibi elektriğin etkisiyle şarj olup dolan ve üzerindeki gerilim kesildiği vakit bünyesindeki enerjiyi koruyan durumuna benzetmiştir. Her birleşme de farklı kuvvetler meydana geldiğinden bu görüş hakkında çeşitli söylentiler mevcuttur.

Skinler adlı araştırmacının yapmış olduğu deneysel veriler ile Van der Waals etkisi kıyaslanmış ve mekanik yapışmayı yapmış olduğu çalışmalarda ölçmüştür. Elde edinmiş olduğun bulgular ile elektrostatik çekim kuvveti kıyaslandığı vakit elektrostatik etkinin çok cüzi olduğu kanaatine varmıştır. [15]

### 1.4.3. Yapıştırıcı materyallerin çeşitleri

Yapıştırıcı türleri çok farklı başlıklar altında sıralanabilir. Örneğin asıl materyal türüne göre, yapıştırıcının muhteviyatına göre, yapıştırıcının donma süresine göre ve daha artırabilecek birçok şekilde türlere ayırabiliriz. Fakat biz iki temel başlık altında türleri anlatmaya çalışacağız. Bu başlıklar kimyasal, fiziksel türlerine göre ve doğada bulunduğu fazın durumuna göre sıralayacağız.

#### 1.4.3.1. Yapıştırıcıların kimyasal, fiziksel tepkimelere göre sınıflandırılması

Kimyasal türdeki yapıştırıcılar kendi aralarında iki türde incelemek mümkündür.

##### 1. Kimyasal tepkimeler neticesinde kürleşen yapıştırıcılar

En yaygın kullanılan kimyasal yapıştırıcı türleri aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz.

- ✓ Poliüretan türü yapıştırıcılar
- ✓ Fenolik türü yapıştırıcılar
- ✓ Akrilik türü yapıştırıcılar
- ✓ Anaerobik tür yapıştırıcılar
- ✓ Siyanoakrilik tür yapıştırıcılar.

##### 2. Fiziksel tepkimeler neticesinde kürleşen yapıştırıcılar

En yaygın kullanılan fiziksel yapıştırıcı türlerini aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz.

- ✓ Kauçuk tür yapıştırıcılar
- ✓ Ultraviyole gereken yapıştırıcılar
- ✓ Sıcak eriyik tür yapıştırıcılar
- ✓ Silikon türü yapıştırıcılar
- ✓ Polivinil asetat türü yapıştırıcılar

#### 1.4.3.2. Yapıştırıcıların doğadaki formlarına göre sınıflandırılması

Yapıştırıcı materyaller macun formunda, film tabakası şeklinde, sıvı formda, katı formda ve toz şeklinde tatbik edilmeye müsait olarak bulunabilir. Yapıştırıcıların formlarına göre altı başlık altında inceleyeceğiz. Bunlar;

- Macun formda yapıştırıcılar
- Akış özelliği(viskozite) düşük yapıştırıcılar

- Özgül ağırlığı(yoğunluğu) düşük yapıştırıcılar
- Köpük formda yapıştırıcılar
- Reçine türünde yapıştırıcılar
- Film türü yapıştırıcılar

#### 1.4.4. Yapışmaya etki eden faktörler

Yapışmanın sağlanması için çeşitli fiziksel ve kimyasal olayların gerçekleşmesi gerekmektedir. Dış ortamda bulunan değişkenler yapışmanın sağlanması açısından önemli bir etkiye sahiptir. Bu etkenler aşağıda sıralandığı gibidir.

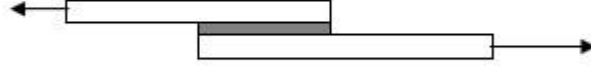
- ✓ Sıcaklık faktörü
- ✓ Zaman faktörü
- ✓ Basınç faktörü
- ✓ Katalizör faktörü
- ✓ Vulkanizasyon faktörü
- ✓ Çözücü faktörü
- ✓ Oksijen ve nem faktörü
- ✓ Ultraviyole ışın faktörü
- ✓ Yüzey faktörü

#### 1.4.5. Yapıştırmanın geometrik teknikleri

Birleştirme yapılmak istenilen parçalarda, optimum çözümler elde edilmesi için teorik hesaplamalar ve mühendislik tasarımlarının uygulanması gerekmektedir. Bu konuda mühendislerin üzerine düşen görev ise; en iyi tasarımı uygulamak ve en uygun materyal belirlerken maliyeti düşürmesi gerekmektedir. Bu görevlerin yerine getirebilmesi için uygulama yapılacak materyaller üzerine gelen yüklerin ölçülmesi ve bu ölçümler ile pratik hesaplamalar ışığında en doğru uygulamanın gelişen teknoloji ışığında yapılması ile mümkündür.

Yapıştırma yapılacak yüzeyler üzerine gelen başlıca dört çeşit gerilmelerden bahsedilebilir. Bunlar çekme gerilmeleri, kesme gerilmeleri, soyulma gerilmeleri ve çekme-makaslama gerilmeleridir.[18]

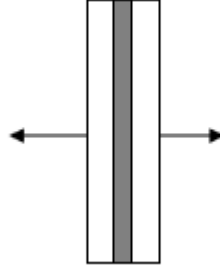
### Kesme gerilmesi



Şekil 1.4 Kesme gerilmesi [18]

Şekil 1.4'te gösterildiği üzere yapıştırılmış olan yüzeyin tamamına etki eden ve yüzeyin bir bıçak gibi kesilmesine neden olabilecek gerilme çeşididir. Kesme yükünün tüm yüzey üzerinde etkili olması tam yapışma sağlanmış yüzeylerin gerilmeyi bir bütün olarak absorbe etmesine sebep olmaktadır. Bu sayede kesme yüküne maruz kalmış materyallerde bulunan yapıştırıcılar bir bütün şekilde yapışma bağlantısını korur.

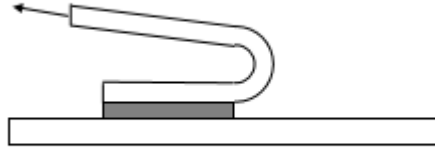
### Çekme gerilmesi



Şekil 1.5 Çekme gerilmesi [18]

Şekil 1.5'de görüldüğü üzere yapışma yüzeyine dik olarak etki eden çekme gerilmesi şeklinde tanımlanabilir. Normal şartlar altında gerilme, yüzey üzerine tam dik açıda etki ettiği vakit yapıştırıcının tüm yüzey üzerindeki gerilmesi eşittir. Fakat yüzey üzerine uygulananmış olan çekme gerilmesinin açısında oluşacak küçük saplamalar yapıştırıcı yüzeyindeki gerilmenin eşit olmayacak şekilde dağılmalara sebep olduğu görülür.

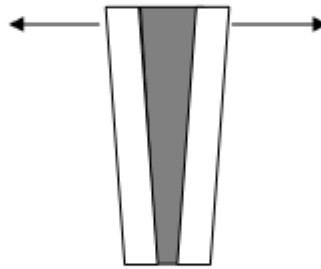
### Soyulma gerilmesi



Şekil 1.6 Soyulma gerilmesi [18]

Şekil 1.6’da gösterildiği gibi yapışma sağlanmış olan materyallerinin en az birinin elastik olduğu ve şekildeki gibi bir gerilmeye maruz kaldığı durumdur. Burada uygulanmakta yükün düşük olması veya yapışma yüzeyinin çok geniş olması gerekmektedir. Aksi takdirde uygulanmakta olan gerilme yapışmanın sınır yüzeyi üzerinde etkisi çok fazladır.

### Çekme-makaslama gerilmesi



Şekil 1.7 Çekme-makaslama gerilmesi [18]

Şekil 1.7’de gösterildiği gibi merkezde olmayan ve yapışma alanına uygulandığı vakit tüm yüzey üzerinde farklı kuvvetlerin etki edeceği şekilde gerilmez. Şekildeki gibi yapılan bağlantıların verimli olabilmesi için yeterli oranda yüzey üzerinde yapışma alanı olması gerekir.

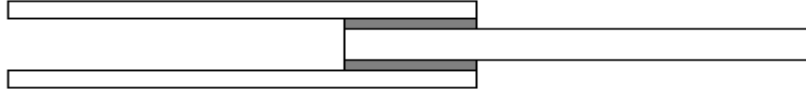
Yapıştırma yapılacak yüzeylerin üzerine etki eden gerilmeler ve çalışma koşulları göz önüne alınarak çeşitli geometrilere birleştirme yapılmaktadır. Geometrik birleşme teknikleri aşağıdaki gibi yapılabilir.

Şekil 1.8’de görüldüğü üzere birleştirilen materyallerden bir kısmının üst üste getirilmesi ve araya uygun yapıştırıcı materyal uygulanması ile elde edilen yapıştırma geometrisidir. Sıklıkla kullanılan bir yapıştırma tekniğidir. Uygulanan yapıştırıcı türlerinin test edilmesi aynı geometride farklı yapıştırıcı türleri denenerek en doğru materyal seçimi uygulanabilir.



Şekil 1.8 Tek etkili birleşim [18]

Şekil 1.9’da birleştirilecek iki materyalin arasına belli bir miktar girecek şekilde ve birleştirme yapılacak yüzeylere uygun miktarda yapıştırıcı uygulanması ile elde edilen yapıştırma geometrisidir.



Şekil 1.9 Çift etkili birleşim [18]

Şekil 1.10’da birleştirilen materyallerin birleşim kısımlarının üst noktaları açılı geometriye sahip olduğu birleştirme çeşididir.



Şekil 1.10 Zaviyeli birleşim [18]

Şekil 1.11’de birleştirilen materyallerin uç kısımlarına yapıştırıcı uygulanarak ve birbirleri ile yatay olarak aynı hizada yapılan birleşim geometrisidir.



Şekil 1.11 Uç uca birleşim [18]

Şekil 1.12’te birleştirilen materyallerin uç kısımlarında belli bir açı olup, yatayda birbirleriyle aynı hizada ve birbiri üzerinde tam birleşmenin sağlandığı birleşim geometrisidir.



Şekil 1.12 Açılı uç uca birleşim [18]

Şekil 1.13'te iki materyalin merdiven basamakları şeklinde birbiri üzerine oturduğu ve tam bağlantının sağlandığı türde geometrik birleşim tekniğidir.



Şekil 1.13 Merdiven basamakları şeklinde birleşim [18]

Şekil 1.14'te iki materyalin uç uca birleşimine ek olarak birleşim yerinin alt veya üst kısmına takviye bir parça ile birleşimin yapıldığı türde geometrik birleşim tekniğidir.



Şekil 1.14 Tek takviyeli birleşim [18]

Şekil 1.15'te iki materyalin uç uca birleşimine ek olarak birleşim yerinin hem alt hem de üst kısmına takviye bir parça ile birleşimin yapıldığı türde geometrik birleşim tekniğidir.



Şekil 1.15 Çift takviyeli birleşim [18]

#### 1.4.6. Yapıştırma yapılmak istenilen yüzeylerde ön hazırlıklar

Yapıştırılmak istenilen materyallerin birleşim yüzeyleri yapıştırıcı uygulanmadan önce bazı ön hazırlıklar ile yapışmaya uygun hale getirmek gerekir. Yüzey üzerinde bulunan çeşitli yabancı materyaller ve yüzeyin kendi pürüzlülüğü yapışmaya etki eden başlıca etmenlerdir. Yüzeyin en iyi şekilde yapışmaya zemin olacak şekilde hazırlanması, yapışmanın en iyi şekilde oluşmasından ve kullanıldığı zaman en iyi özellikleri göstermesi açısından çok büyük öneme sahiptir. Yapıştırılmak istenilen yüzey üzerinde bulunan yabancı materyaller yapıştırıcı ve yapışma yüzeyi arasına girip yapışmanın bağlantı kalitesini olumsuz etkiler. Yapışmanın en iyi şekilde

sağlanması için adhezyon kuvvetinin yüksek olması gerekir. Normal şartlar altında yapıştırıcının kendi mukavemet değerlerinden çok adhezyon kuvvetinin etkisi daha fazla görülmektedir. Şöyle basit bir örnekle açıklanacak olursa; iki plastik parçanın yapıştırılması işleminde yüzeyde bulunan yağ temizlenmeden en kuvvetli yapıştırıcı dahi uygulanması ile verimsiz bir sonuç elde edilmesi kaçınılmazdır.

Bazı yapıştırma işlemlerinde basit olarak kimyasal temizleyiciler (solventler) ile temizleyerek yapışma sağlanırken, bazı yapıştırma işlemlerinde ise basit yöntemler ile istenilen mukavemette yapışma sağlanmayabilir. Basit yöntemlerin sonuç veremediği ve karmaşık ön hazırlık işlemlerinin uygulanması gereken materyallerde en iyi sonucu elde etmek için daha zorlu ön hazırlık işlemleri ile istenilen birleşme sağlanır. Yapıştırmanın sağlanması için belli başlı ön hazırlıklar aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

- Yüzeyin bir kimyasal yardımıyla temizlenmesi
- Yüzeyin buhar yardımıyla temizlenmesi
- Yüzeyin aşındırma yöntemiyle temizlenmesi
- Yüzeyin ultrasonik yöntemlerle temizlenmesi
- Yüzeyin primerler yardımıyla korunması

#### **1.4.7. Yapıştırma bağlantılarının faydaları ve zararları**

Yapıştırma ile birleştirilmiş materyallerin faydalarını aşağıdaki maddeler halinde sıralamak mümkündür;

- ❖ Kaynak ile birleştirilmiş materyallerin sıcaklık etkisi ile içyapısında oluşabilecek çatlak, iç gerilme veya içyapıdaki değişimler gibi etkileri yoktur.
- ❖ Yapıştırılacak materyallerde herhangi bir değişim yaşanmaz.
- ❖ Farklı geometrilere sahip materyallerin yapıştırıcılar sayesinde birleştirilmesi kolaydır.
- ❖ Mekanik birleştirme uygulanmış materyallerde ekstradan eklenmiş parçaların dış görünüş üzerindeki farklılık oluşturması yapıştırıcı ile birleştirilmiş materyallerde görülmez.
- ❖ Öteki türde birleştirmelere kıyas ile yapıştırılmak istenilen materyallerin yüzeyinde tam yayılması sayesinde üzerine gelen yüklerin eşit olarak dağılımını sağlar.



- ❖ Birleşimi yapılmak istenilen materyallerden hassasiyeti yüksek olanların yapıştırmasında sıklıkla kullanılan bir yöntemdir.
- ❖ Yapıştırılmış materyallerin sökülmesi durumunda birleştirilmiş parçalara zarar vermeden sökme uygulaması yapılabilir.
- ❖ Birleştirilecek materyallerin cinsleri birbirinden farklı olduğu durumlarda da yapıştırıcılar kullanılabilir.
- ❖ Et kalınlığının fazla veya az olması fark etmeden yapıştırma işlemi yapılabilir.
- ❖ Yapıştırıcılar uygulandıkları yüzey üzerinde ısıya karşı ve elektrik akımlarına karşı direnç gösterdiğinden yalıtkan bir materyal görevi görür.
- ❖ Birleştirme işlemi uygulanmış yüzeyler üzerinde yoğun bir yapıya sahip olduklarından sızdırmazlık sağlarlar
- ❖ Öteki yöntemler ile kıyas edildiği vakit maddi açıdan daha ucuz ve uygulanması daha kolay yöntemlerdir.
- ❖ Yapıştırılmak istenilen parçalara ekstra olarak bir ağırlık bindirmez.
- ❖ Ağırlığına oranla mukavemeti yüksektir.
- ❖ Üzerine uygulanan darbeleri ve titreşimleri kendi üzerinde yayarak absorbe edebilme kabiliyeti mevcuttur.
- ❖ Sürekli uygulanan yükler karşısında yorulma mukavemeti yüksektir.

Yapıştırma ile birleştirilmiş materyallerin zararlarını aşağıdaki maddeler halinde sıralamak mümkündür;

- ❖ Uygulandığı yüzey üzerine yeteri miktarda sürülmez ise boşluklu bir yapı oluşacağından mukavemet değeri düşer.
- ❖ Rutubet içeren ortamlarda ve kimyasal materyallerin bulunduğu ortamlarda uygulama yapıldığı vakit bu tür etkilere karşı hassas olduğundan dolayı rijitliğini belirli bir süre sonra kaybedebilir.
- ❖ Çeşitli türde yapıştırıcılar üzerlerine sürekli olarak uygulanan yükler karşısında yorulma gösterebilir.
- ❖ Çeşitli türde yapıştırıcıların kürlenme süresinin uzun oluşu zaman açısından olumsuz bir etki gösterir.
- ❖ Yapıştırma yapılacak yüzeylerin bir kısmı için çeşitli ön hazırlıklar yapılması maddi açıdan ve zaman açısından olumsuzluğa sebep olur.
- ❖ Çalışma ortamının sıcaklığı yapışmanın mukavemetini etkiler.
- ❖ Yapıştırmayı uygulayacak kişinin çeşitli koruyucu materyaller kullanması ve sağlığını olumsuz etkilerden koruması gerekebilir.

### 1.5. Kompozit Materyal Yardımıyla Yapılan Yama Tamiratı

Hafifliğin ve dayanımın bir arada arandığı birçok sektörde kompozit materyallere ihtiyaç duyulmaktadır. Mukavemet değerinin çok yüksek olması ve hafif olması havacılık, uzay ve askeri birçok sektörde kullanım alanı bulmasına olanak sağlar.

Mekanik bağlantılar ile yapılan onarımlarda materyal üzerinde birçok olumsuz özelliklere sebep olmaktadır. Bunlardan bazıları; üzerine eklenen materyallerin ağırlık oluşturması, açılan delikler ile gerilmelerin artması, üzerine uygulanan yüklerin dengesiz olması sebebiyle moment etkisi oluşturarak materyalde kopmaların yaşanmasına sebep olmaktadır. Kompozit materyal uğradığı hasar sonucu yapısında bozulmaya uğrarsa yenisi ile değiştirmeli veya tamir edilmelidir.

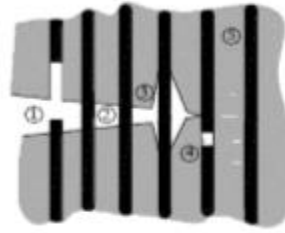
Fakat bazı hasarların tamiri mümkün olamayabilir. Böyle bir durum yaşandığı zaman parçanın değiştirilmesi gerekmektedir. Hasar durumunun boyutuna göre üç türlü onarım yapılabilir.

1. Sürekli bir yük altında bulunan materyalde hasar yaşandığı zaman ve materyalin bu yükü taşımada zorluk çektiği durumlarda tamiratın bir an evvel yapılması gerekmektedir.
2. Sürekli bir yük altında bulunan materyalde hasar yaşandığı vakit materyalin bu yükü hasarlı haliyle taşıyabildiği durumlarda planlı olarak onarım yapılması gerekmektedir.
3. Sürekli yük altındaki materyalde ehemmiyet arz etmeyecek şekilde yaşanan hasarlarda görüntü olarak tamirat yapılması gerekir.[19]

#### 1.5.1. Kompozit materyallerin hasar oluşumları

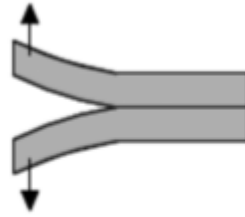
Bir mühendis yaklaşımı ile hasar oluşumu sonrasında bir ön değerlendirme yapılarak onarım için adımların belirlenmesi gerekmektedir. Kompozit materyallerde oluşan hasar türleri metal malzemelere göre farklı olup dört türlü hasar ile karşılaşmak mümkündür.

Şekil 1.16’da çekme gerilmesinin etkisiyle matris içerisinde çatlama, fiber kopması, fiberlerin sıyrılması, fiber köprüsü ve fiber ile matrisin ayrılması görülebilir. Çekme gerilmesiyle fiber-matris yapıda sözü edilmiş hasarlardan bir veya bir kaç meydana gelebilir.



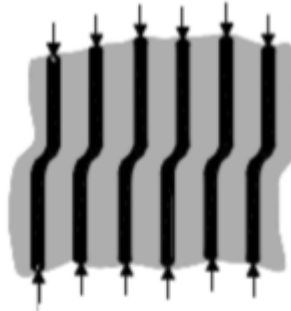
Şekil 1.16 Düzlem dâhili hasarları [19]

Şekil 1.17’de görüldüğü üzere düzlem üzerinde olmayan gerilmeler tabakalı fiberlerin birbirinden ayrılmasına sebep olur.



Şekil 1.17 Tabakalı fiber yapıların ayrılması [19]

Şekil 1.18’ de kuvvetlerin materyal üzerine baskı uygulayarak fiberler üzerinde mikroskobik oranda kayma oluşturduğu burkulma hasarıdır.



Şekil 1.18 Mikro yapıda oluşan burkulmalar [19]

Şekil 1.19’da baskı kuvvetleri etkisiyle fiberlerin arasında ayrılmaların olduğu hasar türüdür.



Şekil 1.19 Fiber tabakaların ayrılması ile oluşan burkulmalar [19]

Hasara uğramış bir ürünü yapıştırıcı yardımıyla ile onardıktan sonra yapıştırılan malzemeler arasında bir ayrılma meydana gelebilir. Kompozit materyallerde de benzer bir durum olarak, fiber ile matris yapılarından oluştuğundan dolayı bu iki yapı arasında da ayrılma meydana gelebilir. Bu tür hasarların oluşum sebeplerini şu şekilde sıralamak mümkündür.

- Üretim sırasında oluşan sorunlar
- Dışardan almış olduğu darbelerden dolayı oluşan sorunlar
- Materyaller arası inert bir ürün girmesiyle oluşan sorunlar.

Yama yapılarak onarılmış materyallerde sıcaklığın ve çevre koşullarının etkileri sebebiyle çeşitli hasarlar görülebilmektedir. Ortamda bulunan nemden dolayı veya değişen sıcaklıklardan dolayı ürün üzerindeki bir çatlakın ilerlemesine etki etmektedir. Bir uçak üzerinden misal verecek olursak; kalkıştan önce bulunduğu ortamın çevre şartlarına göre sıcaklık ve nem etkisi altında bulunmakta iken uçuş sırasında çıkmış olduğu yükseklikten dolayı daha düşük sıcaklıklar etkisi altında kalacağını düşünerek yapılmak istenilen yamanın bu şartlar altında mukavemetli olmasını sağlamak gerekir.[19]

### 1.5.2. Kompozit materyallerde oluşan hasarın onarımı

Öncelikle hasar oluşmuş bir materyal üzerinde ön çalışma yapılmalıdır. Bu ön çalışmada ilk olarak hasarın nasıl oluştuğu göz önüne alınarak tamirat metodu belirlenmeli ve belirlenen yöntemde en iyi şekilde uygulanmalıdır. Kılcal çatlaklar

karşısında veya ürün üzerinde görsel olarak oluşan zararların önlenmesi açısından reçine uygulanarak tamirat yapılabilir iken, parçanın bütününde bir kırılma oluşmuş veya daha farklı bir zarara uğramış ise; parçaya uygun bir yama yapılarak tamirat gerçekleştirilebilir. Hasarın fazla olduğu ürünlerin tamirat işleminde yama yapılmaya karar verilmesi oluşacak yeni yapıda daha iyi mekanik özelliklerin görülmesini sağlamaya yönelik bir çalışmadır.

Yama uygulanacak ürün için seçilmek istenilen materyalin cinsi ve bağlantının nasıl yapılması gerektiği konusunda etki eden etmenleri aşağıdaki şekilde sıralamak mümkündür.

- Statik(durağan) mukavemet
- Ürünün kullanım ömrü
- Parçanın rijitlik durumu
- Aerodinamik açıdan yapısı
- Ürünün ağırlığı ve denge durumu
- Uygulama ısısı
- Ortam etkisi
- Maddi etkisi ve uygulama süresi
- Hasarın birden fazla türde oluşu
- Gizlilik

Çeşitli etkiler karşısında hasar görmüş ürünlerde küçük çaplı sorunlarda yapıştırıcı uygulanarak sorun halledilebilir iken, büyük hasar görmüş ürünlerde (fiber tabakaların ayrılması gibi) yama yapılması ile çözüm elde edilebilir. [19]

## 1.6. Materyallerde Yorulma

Makine elemanları değişken veya düzenli yükler etkisi altında çalışmalarına devam ederler. Çalışma esnasında çeşitli hasarlar görülebilmektedir. Bu konuda bilim insanları oluşan hasarların oluşum biçimlerine odaklanarak sebeplerini araştırıp çözüm bulmaya yönelirler. Değişken veya düzenli yükler altında çalışan materyallerde oluşan gerilmeler etkisiyle zamanla hasara uğrayıp kırılma görülür.

Makine parçalarından beklenen üstün özelliklerin hepsinin bir arada bulunması çok zordur. İstenen özelliklerin fazlalığı materyallerde oluşan gerilmelerin artması ve materyalin kısa sürede yorulma gösterip kırılmasına neden olmaktadır. Bilim insanları, yorulmanın gerçekleşme süresini ve nasıl gerçekleştiği konularında çeşitli sorunlarla karşılaşmaktadırlar. Bunları şu şekilde sıralayabiliriz.

- Yorulma süresi hesabı, mekanik dayanım hesabına göre belirsizliği yüksektir.
- Yorulmanın gerçekleşme nedenleri mekanik özellikler yardımıyla belirlenemez. Bunların doğruluğu ölçümler sayesinde mümkündür.
- Yorulma için ömür hesabı yapılacaksa, aynı boyutlardaki materyaller ile ölçümler yapılmalıdır.
- Testler hassas ortamlarda yapıldığından gerçek koşullara göre çeşitlilik arz edebilir.

Bilim insanlarının yaşadığı bu problemlerin aşılması için yapılan tüm deneylerin sonuçlarına göre çeşitli formüller geliştirilerek bilgisayar ortamında çözümlenmeler yapılarak yaklaşık sonuçlara ulaşmayı hedeflemektedirler.

Malzemelerin tekrar eden yükler karşısında ve uzamalar karşısında kendi içyapısında bulunan süreksizliklerden veya çatlaklardan dolayı üzerine gelen yükü taşıyamayarak kopma gerilmesinin altındaki bir yüke dayanmadan kırılması olarak tanımlanabilir. Yapıştırıcılarla yapılan birleştirmeler göz önüne alındığı vakit yorulma olayı çeşitli kusurlardan kaynaklanmaktadır. Yapıştırıcı ile birleştirilen yüzey arasında bulunan kusurlardan, yapıştırıcının kendi içyapısında bulunan kusurlardan ötürü değişken yükler etkisiyle yorulma gerçekleşebilir. Bu bağlamda yapıştırıcılar ile birleştirme yapılan yerlerde güvenli ve verimli bir çalışma elde edilmesi açısından yorulma olayının dikkate alınması gerekmektedir.

Yorulma durumu iki etmene bağlı olarak anlaşılabilir. Bunlardan ilki; değişen yükler karşısında uğramış olduğu hasar ve ikinci olarak; yükler etkisiyle oluşan çatlakların devam etme süresidir. Materyallerin taşıyabileceği maksimum yük miktarı yorulma yükünden daha fazladır. Yani materyal yorulma karşısında düşük bir yük etkisiyle kırılabilir. Materyalde yorulma hasarı incelendiği vakit çok düşük plastik deformasyon görüldüğü zaman mikro seviyede inceleme yapılırsa uzun bir süre öncesinde plastik deformasyon olduğu görülür. Yorulma ömrünün bağlı olduğu etkenler

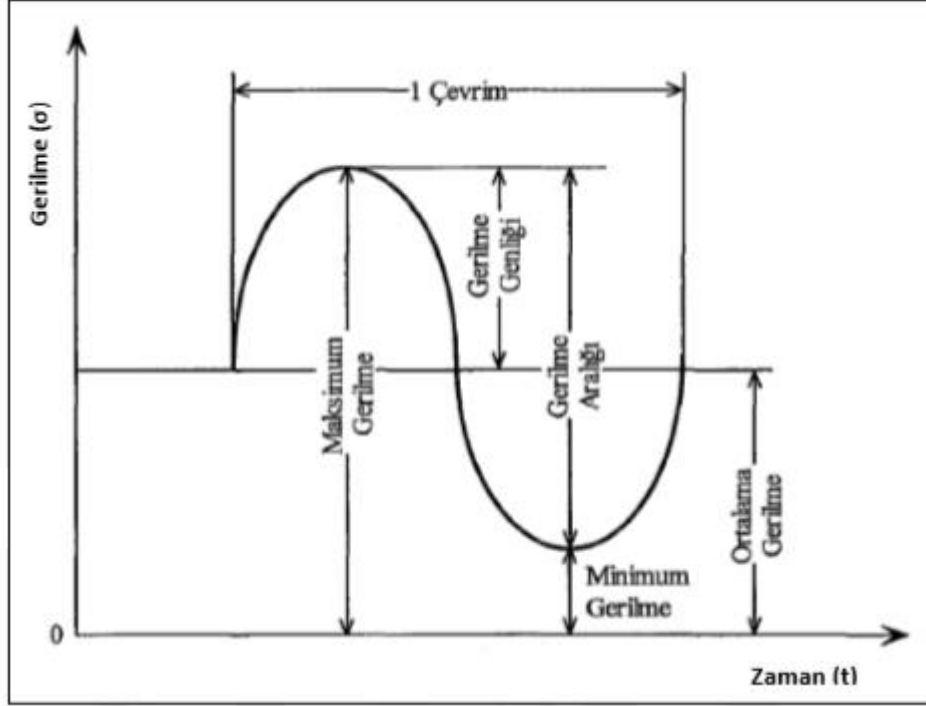
materyal üzerine uygulanan yük miktarı, yükün çeşidi, çevirim sayısı ve ortam koşullarına bağlıdır.

### 1.6.1. Yorulmanın teknik açıdan incelenmesi

Yorulma türleri hasarların oluşum türlerine farklı türlerde isimlendirilirler.

- Değişken yükler karşısında oluşan yorulmalar mekanik yorulma olarak adlandırılır.
- Tekrar eden yükler karşısında oluşan yorulmalara sürünme yorulması denir.
- Sıcaklığında etki ettiği yükler altında oluşan yorulmalara ısıl-mekanik yorulma denir.
- Kimyasal etmenler karşısında oluşan yorulmalara korozyon yorulması denir.
- Birleştirilmiş materyaller arasında gerilmeler neticesinde karşılaşılan yorulmalara temas yorulması denir.
- Birleştirilmiş materyaller arasında yükler etkisiyle sürtüşen yüzeylerde oluşan yorulmalara aşınma yorulması denir.

Yorulma testi, laboratuvar ortamlarında özel makineler yardımıyla yapılmaktadır. Zaman ile değişken yükler uygulanarak testler gerçekleştirilir. Testin uygulanacağı materyalin mekanik özelliklerine uygun olacak şekilde maksimum yük değerine ulaşana kadar artan. ve minimum yük değerine düşene kadar azalan gerilmeler uygulanır. Değişken yükler karşısında materyalin kopmasına geçen süreye yorulma ömrü denir. Değişken kuvvet ve moment etkisiyle oluşan yorulma duruma yorulma zorlaması denir.



Şekil 1.20 Yorulmada gerilme-zaman grafiği [15]

Şekil 1.20' de Yorulma grafiği verilmiş olup; gerilme aralığı ( $\sigma$ ), gerilme genliği ( $\sigma$ ), ortalama gerilme ( $\sigma_m$ ) ve yük oranı (R) kullanılarak çeşitli veriler elde edilebilir.

Materyallerde yorulma ile ilgili terimler ve açıklamaları aşağıdaki gibi yapılabilir.

**Çevrim (N):** Gerilme – zaman grafiğinde uygulanmakta olan tekrarlı yüklerin en küçük parçasıdır.

**Maksimum Gerilme ( $\sigma_{maks}$ ):** Matematiksel olarak uygulanan yüklerden en büyüğüdür. Değeri sıfır altında, üstünde veya sıfır olabilir.

**Minimum Gerilme ( $\sigma_{min}$ ):** Matematiksel olarak uygulanan yüklerden en küçüğüdür. Değeri sıfırın altında, üstünde veya sıfır olabilir.

**Ortalama gerilme ( $\sigma_m$ ):** Maksimum gerilme ve minimum gerilmenin aritmetik olarak ortalamasıdır.

$$\sigma_m = (\sigma_{maks} + \sigma_{min}) / 2$$

**Gerilme aralığı ( $\Delta\sigma$ ):** Maksimum gerilmelerin minimum gerilmelerinden farkına eşittir.

$$\Delta\sigma = \sigma_{maks} - \sigma_{min}.$$



**Gerilme genliği ( $\sigma_a$ ):** metamatiksel olarak gerilme aralığının yarısıdır.

$$\sigma_a = (\Delta\sigma) / 2$$

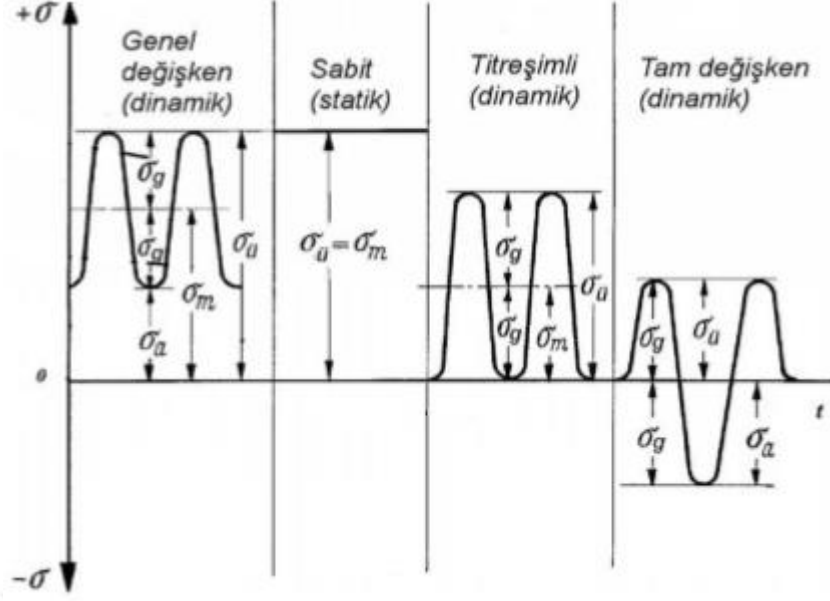
**Gerilme oranı (R):** minimum gerilmenin maksimum gerilmeye bölümünden elde edilir. R değerlerine göre Şekil 1.21' de yorulmanın yük çeşitleri verilmiştir. [15]

$$R = (\sigma_{min}) / (\sigma_{maks})$$

Yorulma Yük Oranı	Yorulma Yük Biçimi
R=0	Çekme-Yükünü Bořaltma
0<R<1	Çekme-Çekme
R=-1	Çekme-Basma
-1<R<0	Çekme-Basma
1<R<∞	Basma-Basma

Şekil 1.21 R değerlerine göre yük çeşitleri [15]

Yorulma testi yapılan numuneler normal Şartlar altında üzerine uygulanan yükler altında test edilirler. Belirli yükler altında bulunan numuneler sürekli çekme etkisinde, çekme ve yükten kurtulma etkisinde ve çeki-bası yükleri altında Şekil 1.22' de gösterildiği üzere bulunabilir. Yük türüne göre yorulma deneyleri; eksenel yükte, eğme yükünde, burma yüklerinde ve birleşik yüklerde bulunan yorulma deneyleri uygulanabilir. Eksenel gerilmeye maruz kalan numunelerde uzunlamasına çeki-bası gerilmeler uygulanarak test yapılır. Eğme gerilmesine maruz numunelerde bir düzlem boyunca veya dönen numuneye eğme kuvvetleri uygulanarak test yapılır. Burulma gerilmelerinde parçanın üzerine burma kuvveti uygulayarak test yapılır. Bahsi geçen gerilmelerden minimum ikisine maruz bırakılan numunelerde ise birleşik kuvvetler etkisinde bulunan yorulma deneyleri uygulandığı anlaşılır. [15]



Şekil 1.22 Yüklemlere göre yorulma türleri [15]

### 1.6.2. Yorulma oluşumu

Yorulma olayı en basit ifade ile üç olay şeklinde gelişim gösterir. Bunlar;

1. Çatlak başlangıcı
2. Çatlağın devam etmesi
3. Materyalde kırılma gerçekleşmesi şeklinde ifade edilebilir.

Yorulma oluşumu için materyal üzerine bir yük etki etmeli ve yükler dalgali biçimde sürekli uygulanmalıdır. Uygulanan yükler etkisiyle belirli bir müddet sonra materyal üzerinde bir miktar plastik şekil değişimi oluşmalıdır. Uygulanan dalgali yükler etkisiyle materyalde belirli bir müddet sonra çatlak başlar ve devam eden yükler etkisiyle çatlak ilerler ardından belirli bir müddet sonra materyalde yorulma olayı materyalin kırılması ile gerçekleşir.

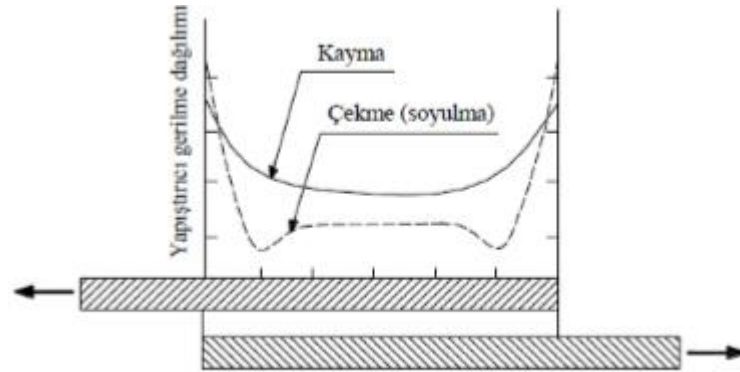
$$da / dN = A (\Delta K)^n$$

Denklemden  $da / dN$  çatlağın ilerleme hızını ifade eder.  $\Delta K$  ise gerilmenin değişim faktörünü ifade eder.  $A$  ve  $n$  ise materyalin sabitleridir. [15]

### 1.6.3. Yapıştırıcı ile birleştirmelerde yorulma olayı

Yapıştırıcı ile birleştirmelerde materyallerin üzerlerine uygulanan yüklere karşı farklı elastik özellikler göstererek değişik iç gerilmeler etkisiyle asimetrik olmayan

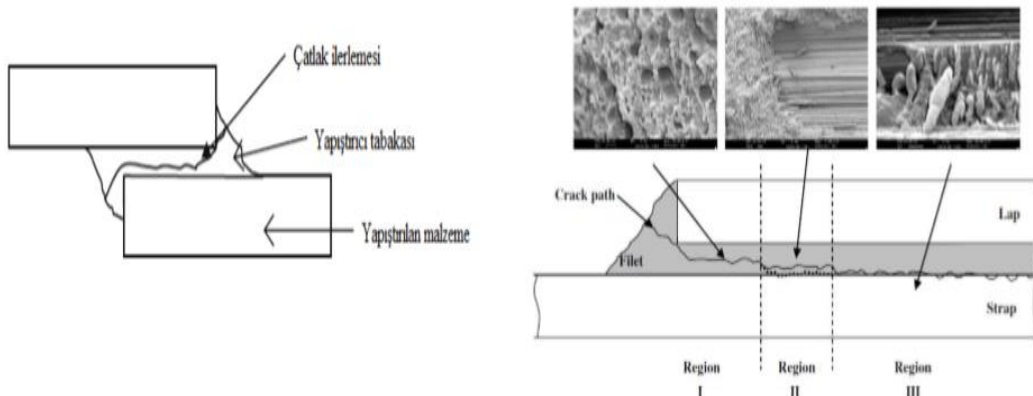
davranışlar sergilemesi ile yorulma olayı meydana gelebilir. Şekil 1.23' te tek etkili birleştirmelerde oluşan gerilmelerin etkileri verilmiştir.



Şekil 1.23 Tek etkili birleştirmelerdeki gerilmeler [15]

Yorulma etkisiyle oluşan hasarlarda yapıştırıcının film tabakası üzerinde veya yapıştırılmış materyallerin ara yüzeylerinde meydana gelir. Çift etkili birleşimler her iki yüzeyde de yorulma olayı gerçekleşebilir. Çift etkili birleşimlerde bir yüzeydeki çatlak oluşumu ile diğer yüzeyde de hasarın başlamasına neden olabilir.

Çeşitli yükler etkisiyle materyalde oluşabilecek çatlaklar genel itibarıyla gerilmenin fazla olduğu birleşim yerlerinde ve kenarlarda meydana gelir. Birbiri üzerine bindirilerek yapılan yapıştırma işlemlerinde genel olarak bindirmenin başladığı bölgelerde şekil değişimi başlar. Aşağıda yorulmanın başlamış olduğu bir çatlak içeren materyalin incelenmesi için şekil 1.24' te verilmiştir.



Şekil 1.24 Yorulma başlangıcı çatlak ilerlemesi [15]

Yapıştırıcı ile yapılan birleşimlerde hasar iki türde ele alınabilir. Bunlardan ilki yapıştırıcı materyal ile yapışma sağlanan materyal arasında oluşan ayrılmalardan ötürü adhezyon hasarıdır. Adhezyon hasarı yapışmanın yeterince iyi oluşmadığı anlamına gelen hasar türüdür. Adhezyon hasarının önüne geçmek için en iyi şekilde ön

hazırlıkların yapılması gerekmektedir. İkinci hasar türü ise yapıştırıcı tabakada oluşan hasar olup kohezyon hasarı olarak isimlendirilebilir. Kohezyon hasarlarının önüne geçmek için kürleşmenin ortam sıcaklığı, yapıştırıcı türü ve basınç gibi etmenler dikkate alınarak yapıştırıcı materyali tercih edilerek önlenabilir. Her ne kadar yapılacak seçimlerin en iyi şekilde olması halinde materyallerin taşıyabileceği maksimum bir yük değeri vardır ve aşılması gerekmektedir. Bu yönden irdelendiği vakit materyallerin en güvenli şekilde taşıyabileceği yükler çok çeşitli olarak denenmeli ve bilgisayar ortamında sayısal verilerin değerlendirilerek uygulamaya geçilmesi yorulma hasarlarını en aza indirmek için yapılan önemli çalışmalar olabilir. [15]

### 1.7. Sayısal Yöntemler

Sonlu elemanlar yöntemiyle karmaşa halinde olan ve içinden çıkılması zor olan sorunları daha kolay parçalara ayırarak çözüme ulaşmaya çalışmaktır. Asıl yapılmak istenilen karmaşık problemleri daha kolay şekle çevirerek yaklaşık bir sonuca ulaşmaya çalışmaktır. Fakat sorun üzerinde daha fazla yoğunlaşarak çözüme en yakın veya yapılması zor olsa dahi gerçek sonuca varmak mümkündür.

Karmaşık bir sorunu çok miktarda parçaya bölüp asıl sorun ile bağlantılı “sonlu eleman” olarak adlandırılan alt bölgelere ayırıp çözüme ulaşmaya çalışılır. Birden fazla düğüm ile birbirine bağlı bir ağ olarak düşünürsek her düğüm çözülmeye çalışılarak tüm ağ sisteminin çözümüne ulaşmaya çalışılır. Düğümler ekseriyetle sınırlarda yer alır. Problem içerisinde bulunan ortam şartlarından sıcaklık faktörü, uygulanan yükler, basınç ve hız gibi değişim gösteren şartlar farklı durumlarda bulunacağından yaklaşık bir değer belirlenir. Yaklaşık olarak belirlenmiş değerler düğüm noktalarındaki şartlara göre belirlenir.

Genel manada bir problemin sayısal yöntemlerle çözümünde aşağıdaki tarzda adımlar izlenmesi doğru olur.

- Çözülme istenilen problemleri düğümlere ayırma işlemi
- Her düğüm noktası için bir formülasyon oluşturulması
- Çözüme ulaşmak için her düğüm noktasının birleştirilerek bir sonlu eleman metodu oluşturulması
- Gerilmelerin tatbik edilmesi

- Problemin destek noktalarının belirlenmesi
- Çözümeyen düğümlerin sınırlarının belirlenmesi
- Problemden bulunan materyallerin mekanik özelliklerinin hesaplanması



## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Tez içeriğine göre yapılan incelemeler neticesinde alüminyum materyalinin kendine has özelliklerinden bahsedilmiş, kompozit materyalinin öne çıkan özelliklerinden bahsedilmiş ve yapıştırıcıların tercih sebeplerinden bahsedilmiştir. Her konuda günlük yaşamda faydasını gördüğümüz bahsedilen materyallerin mühendislik uygulamalarında kullanıldığından bahsedilmiştir. Kullanılan materyallerin çeşitli tezlerde yaşanan problemlere mühendislik uygulamalarıyla çeşitli çözüm yolları bulunmuş ve bu konuda daha verimli çalışmalar sağlanmıştır. Kendi tezimizde yaşanabilecek problemler karşısında farklı bir bakış açısıyla yaklaşım gösterdik. Diğer tezlerdeki farklılıklar konusunda ilerleyen bölümlerde ele alanın konular verilecektir. Aşağıda tez konumuzla alakalı diğer çalışmalar hakkında bilgiler verilmiştir.

Canbolat (2018) yapmış olduğu çalışmada Al 2024 T3 Alüminyum materyaline eliptik geometrilerde hasarlar uygulanmış olup, cam-epoxy kompozit materyali kullanılarak, 3M marka yapıştırıcının Dp460 modeli ile tek etkili ve çift etkili birleşim uygulanarak onarımı incelenmiştir. Eğilme yükü uygulanarak oluşan hasarlar tüm numuneler için incelenmiştir. Gerilme etkisiyle materyallerin göstermiş oldukları davranışlar Ansys 19.0 paket parogramı ile numerik olarak incelenmiştir. Bu program sayesinde hasar yükleri tespit edilmiş, kritik bölgeler belirlenmiş, kritik bölgelerde test numunelerinde oluşan  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\tau_{xy}$  ve  $\sigma_{vm}$  gerilmeleri incelenerek deneyler yapılmış ve deney sonuçları ile numerik analizlerin yakınlık oranı incelenmiştir.

Eskizeybek (2018) yaptığı çalışmada Al 2024 alüminyum levhalar ile paslanmaz çelik türü olan AISI 302 türü tellerin tek yönlü olarak desteklenmesi ile sıcak pres kompozit uygulanarak elde edilen materyallere çeşitli açılarda çatlak uygulanarak yorulma ömrü ve çatlak ilerlemesi incelenmiştir.

Saylık (2018) yaptığı çalışmada Al 5754 alüminyum levha kullanılarak belirli boyuttaki materyal üzerine boyu ve genişliği farklı olan çentikler ile beş farklı numune hazırlanmış, çentik açılan numunelere tek etkili ve çift etkili birleşim uygulanarak kompozit yama Hysol EA 9396 türü yapıştırıcı ile birleştirilmiş ve çekme yükü altındaki davranışları incelenmiştir. Sayısal olarak sonlu elemanlar metodu ile

hesaplamalar yapılmıştır. Sonuçlar kendi aralarında çentik boyutlarındaki farklılıklara göre kıyas edilmiştir.

Soy (2005) AL 2024 T3 alüminyum plaka ile grafit/epoxy yama ile tek etkili birleşim yapılarak zorlama davranışı üzerinde çalışma yapılmıştır. Çekme ve eğme gerilmeleri altında sergiledikleri davranış incelenmiştir. Önceden yapılan analizler ışığında Ansys paket programı kullanılarak sonuçlar kıyas edilmiştir.

Saraç (2018) yapmış olduğu çalışmada Dp460 epoksi yapıştırıcı içerisine  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$  ve  $SiO_2$  nanopartikül ilave ederek 20, 25 ve 30 mm bindirme boylarında numuneler üretmiştir. Üretilen numunelerde yapıştırılan malzeme olarak AISI 304 paslanmaz çelik kullanılmıştır. Yapılan çalışmada bağlantıların statik ve yorulma dayanımları incelenmiştir.

Ahlatlı (2018) yapmış olduğu çalışmada takviye materyali cam elyaf reçine olarak epoxy kullanılan kompozit levhalarda eliptik geometriler açılmış ve yapıştırıcı olarak Dp460 kullanılmıştır. Tek etkili birleşim yapılarak yamanın boyut ve tabakaların miktarı değiştirilerek eğilme yükleri karşısında sergilediği davranışlar analizle ve numerik yöntemlerle incelenmiştir. Numerik incelemelerde Ansys versiyon 19.0 Workbench paket programı kullanılmıştır.

Ramazanoğlu (2018) yapmış olduğu çalışmada takviye materyali cam elyaf olan kompozit levhalar eliptik geometrilerde açılmış ve yapıştırıcı materyali Dp460 kullanılmıştır. Tek etkili birleşim yapılarak yamanın boyut ve tabaka miktarı değiştirilerek çekme yükleri karşısında sergilediği davranışlar deneyle ve numerik yöntemlerle incelenmiştir. Numerik incelemelerde Ansys versiyon 19.0 paket programı kullanılmıştır.

Adin (2007) yapmış olduğu çalışmada Z harfinin tersi şekilde yapıştırıcı ile birleşim yapılmış kompozit materyallerden imal edilmiş materyallerin deneysel ve sayısal yöntemlerle analizi yapılmıştır. Yapılan çalışmada Ansys versiyon 10.0 paket programı kullanılmıştır. Yapılan analizde birleşim yerlerindeki mukavemete etki eden etmenlerden birleşim mesafesi, test parçalarının genişliği, kalınlığı, birleşim açısı

incelenmiştir. Gerilmelerin parçanın boyutlarına göre değişimi deney ve paket program aracılığıyla karşılaştırılıp irdelenmiştir.

Parlamış (2016) yapmış olduğu çalışmada takviye elemanı karbon fiber olan pim tipi deliğe sahip kompozit materyallere epoxy türü yapıştırıcı uygulanarak yama işlemi yapılmış dört tabakadan oluşan test numuneleri kullanılmıştır. Fiber tabakaların dizilimleri hem simetrik hem de asimetrik olarak yerleştirilmiştir. Fiberlerin dizilim açıları 0 derece ile 90 derece arasında 15 derecelerdeki artışlarla belirlenmiştir. Çekme testi laboratuvar ortamında yapılmış ve sonlu elemanlar yöntemiyle hasar analizleri yapılmıştır.

Ergün (2014) yapmış olduğu araştırmada AA-5083 türde alüminyum levhalar üzerinde eliptik geometriler açılmış ve takviye elemanı cam elyaf kompozit yamalar çift etkili birleşim yapılarak ve yapıştırıcı materyali Dp460 kullanılarak numuneler oluşturulmuştur. Çekme gerilmeleri uygulanan numunelerin sergilediği mekanik davranışlar laboratuvar ortamında incelenmiş ve Ansys versiyon 12.0 paket programı ile yapılan çalışmalar kıyaslanmıştır.

Karaman (2017) yapmış olduğu araştırmada AA-5083 türdeki alüminyum levhalar üzerinde eliptik geometriler açılmış ve takviye elemanı cam elyaf kompozit yamalar çift etkili birleşim yapılarak ve yapıştırıcı materyali Dp460 kullanılarak bilgisayar ortamında eğme yükü altında numerik olarak analizleri yapılmıştır. Ansys versiyon 14,5 paket programı kullanılmıştır.



### 3. MATERYAL VE METOT

Yapılan çalışmada Ansys versiyon 15.0 Workbench bilgisayar programı kullanılarak sayısal analizler yapılmıştır. Materyal olarak Al 5083 türünde alüminyum levha ve  $[0]_8$  takviye elemanı cam elyaf reçine türü epoxy olan kompozit materyal kullanılmıştır. Markası 3M ve cinsi Dp460 olan yapıştırıcı kullanılmıştır. Yapılan çalışmada üç adet materyal tanımlanmış ve materyallerin yorulma analizleri değişkenler tanımlanarak incelenmiştir.

#### 3.1. Malzemelerin Mekanik Özellikleri

Nümerik analizler için ansys programına Al 5083 alüminyum plakaların mekanik özellikleri, kompozit materyallerin cam elyaf-epoxy  $[0]_8$  türü mekanik özellikleri ve 3M marka Dp460 yapıştırıcının mekanik özellikleri Ansys programında tanımlanmış olup, belirtilen materyallerin mekanik özellikleri tablolar halinde aşağıda sunulmuştur.

**Tablo 3.1** Al 5083 Alüminyum Plakaya Ait Mekanik Özellikler [22]

Elastisite Modülü	70000 N/mm <sup>2</sup>
Poisson Oranı	0,3897
Kütlece Yoğunluk	2660 kg/m <sup>3</sup>
Gerilme Dayanımı	345 N/mm <sup>2</sup>
Akma Dayanımı	270 N/mm <sup>2</sup>
Termal Genleşme Katsayısı	2,4e-005 1/K
Termal iletkenlik	204 W/(m.K)
Özgül Isı	940 J/(kg.K)

**Tablo 3.2**  $[0]_8$  Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Materyalin Mekanik Özellikleri [5]

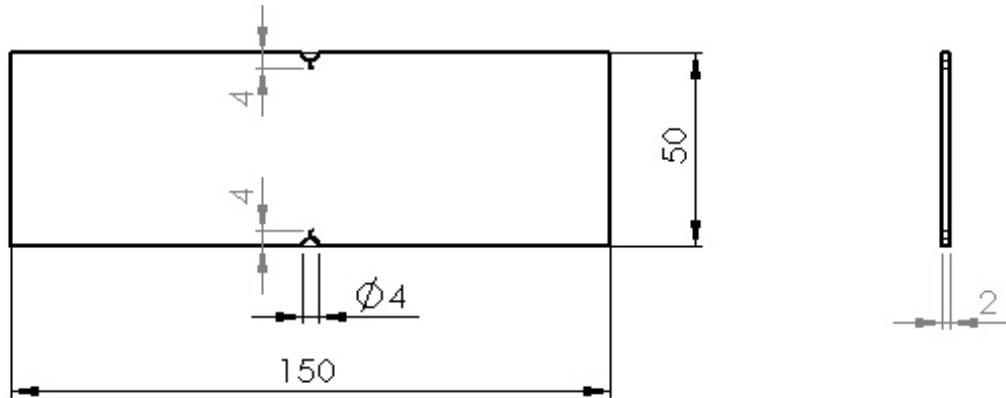
$E_1$	$E_2 = E_3$	$G_{12}$	$G_{23} = G_{13}$	$\nu_{12}$	$\nu_{23} = \nu_{13}$
40510 N/ mm <sup>2</sup>	19960 N/ mm <sup>2</sup>	3100 N/ mm <sup>2</sup>	1100 N/ mm <sup>2</sup>	0.22	0.15

**Tablo 3.3** 3M DP460 Yapıştırıcının Mekanik Özellikleri [23]

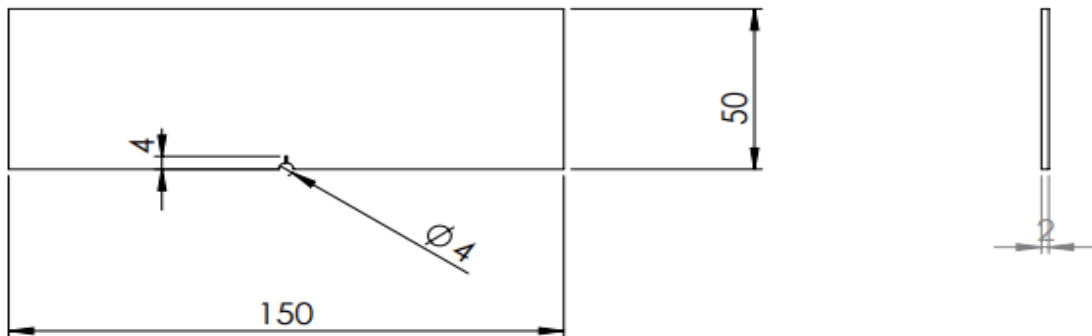
Yapıştırıcı Kalınlığı	0,25 mm
Lineer Limitlerde Kayma Gerilmeleri	23,99 MPa
Lineer Limitlerde Kayma Gerinmeleri	0,04258
Kayma Mukavemeti	33,35 MPa
Kayma Modülü	560 MPa
Elastisite Modülü	2077.1 MPa
Poisson Oranı	0.38
Çekme mukavemeti	44.616 MPa

### 3.2. Materyallerin Teknik Resim ve Detayları

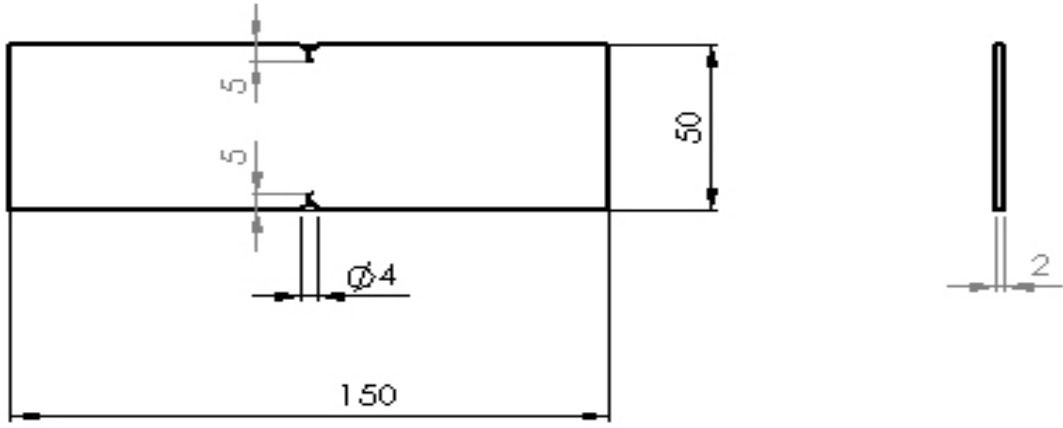
Materyaller Solidworks 2013 paket programı yardımıyla çizilmiş olup, 3 boyutlu modellemesi yapılmıştır. Ayrıca modellenen tüm materyallerin teknik resimleri alınmış ve aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



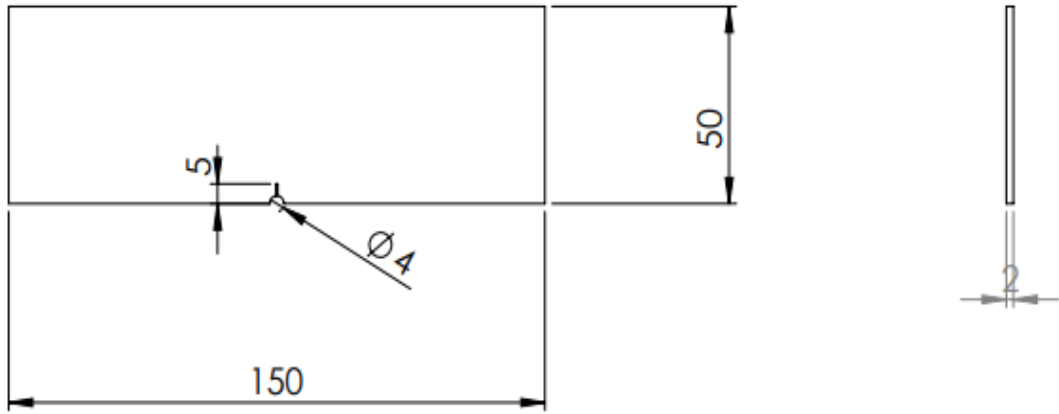
Şekil 3.1 Çift taraflı 2 mm çatlaklı Al 5083 alüminyum plaka



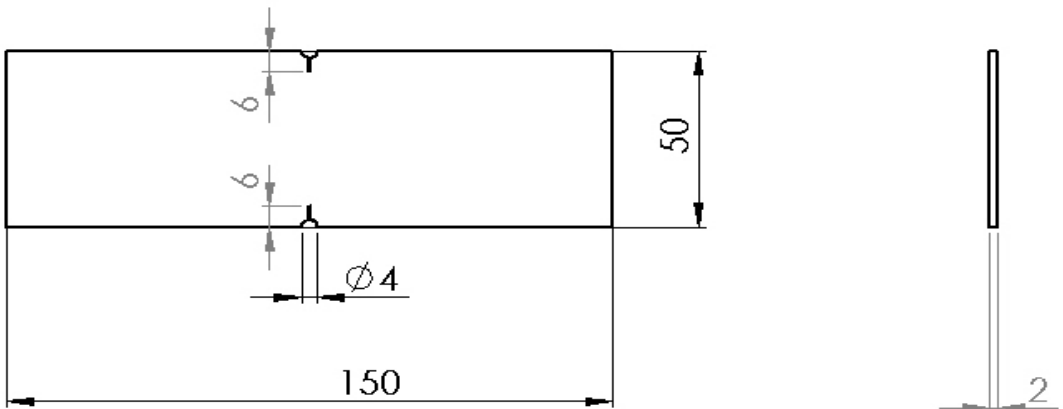
Şekil 3.2 Tek taraflı 2 mm çatlaklı Al 5083 alüminyum plaka



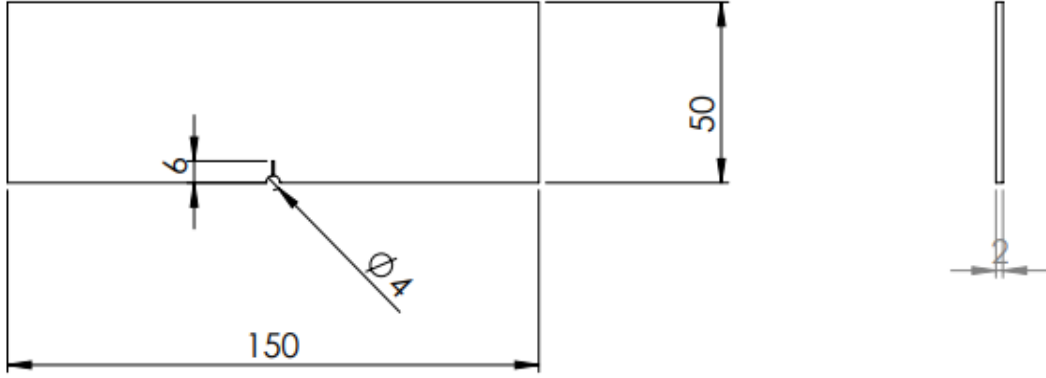
Şekil 3.3 Çift taraflı 3 mm çatlaklı Al 5083 alüminyum plaka



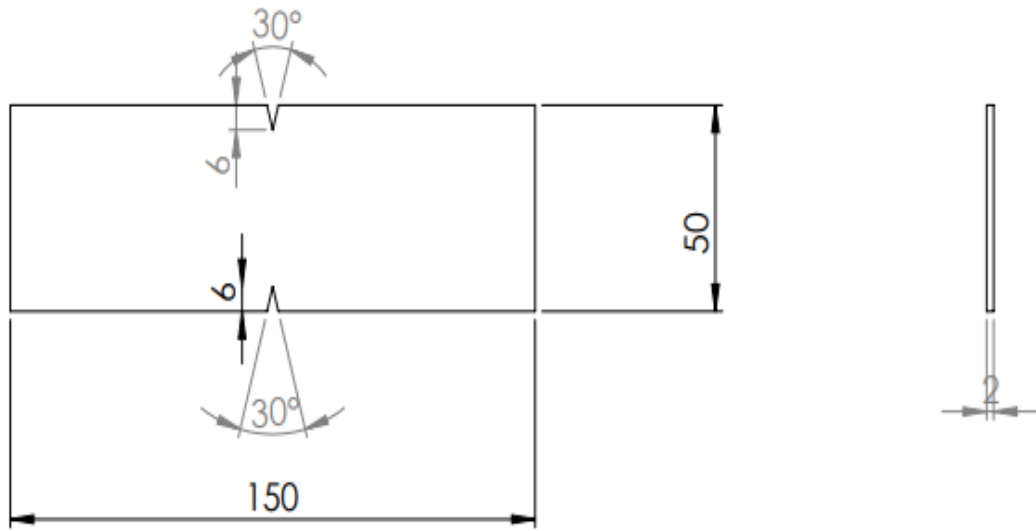
Şekil 3.4 Tek taraflı 3 mm çatlaklı Al 5083 alüminyum plaka



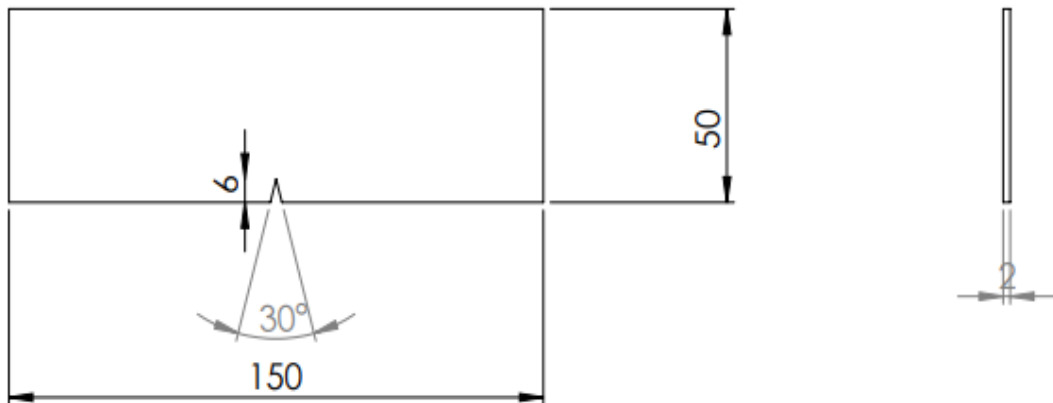
Şekil 3.5 Çift taraflı 4 mm çatlaklı Al 5083 alüminyum plaka



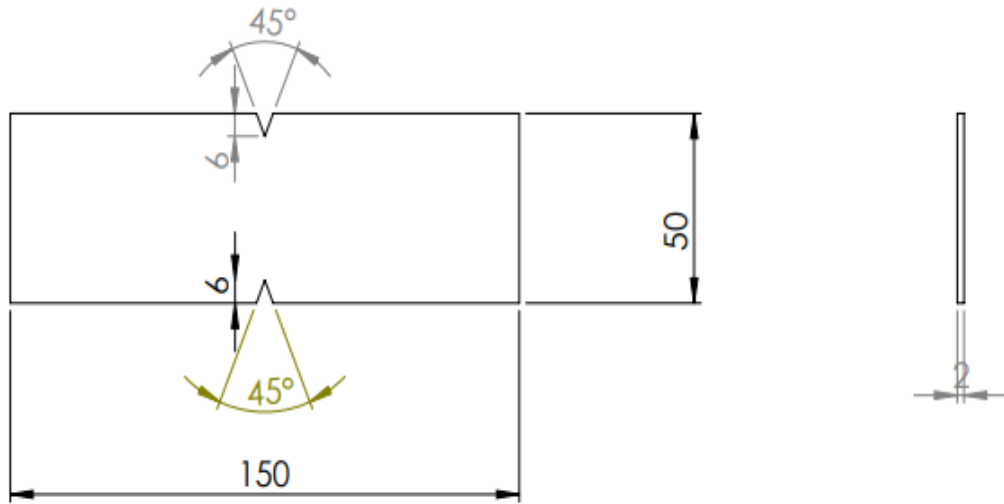
Şekil 3.6 Tek taraflı 4 mm çatlaklı Al 5083 alüminyum plaka



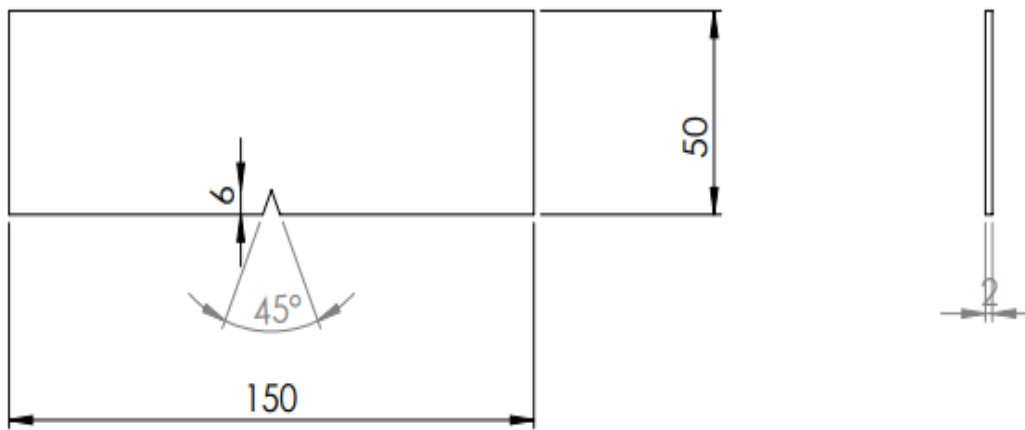
Şekil 3.7 Çift taraflı 30 derece v çentikli Al 5083 alüminyum plaka



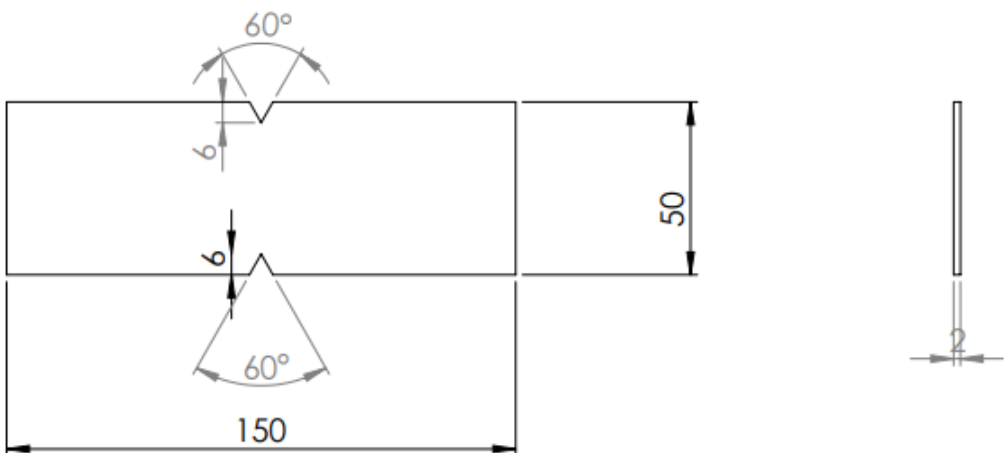
Şekil 3.8 Tek taraflı 30 derece v çentikli Al 5083 alüminyum plaka



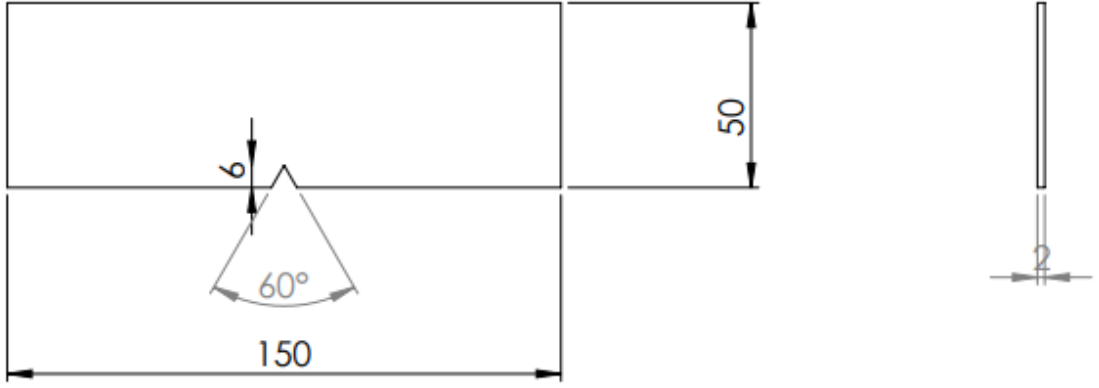
Şekil 3.9 Çift taraflı 45 derece v çentikli Al 5083 alüminyum plaka



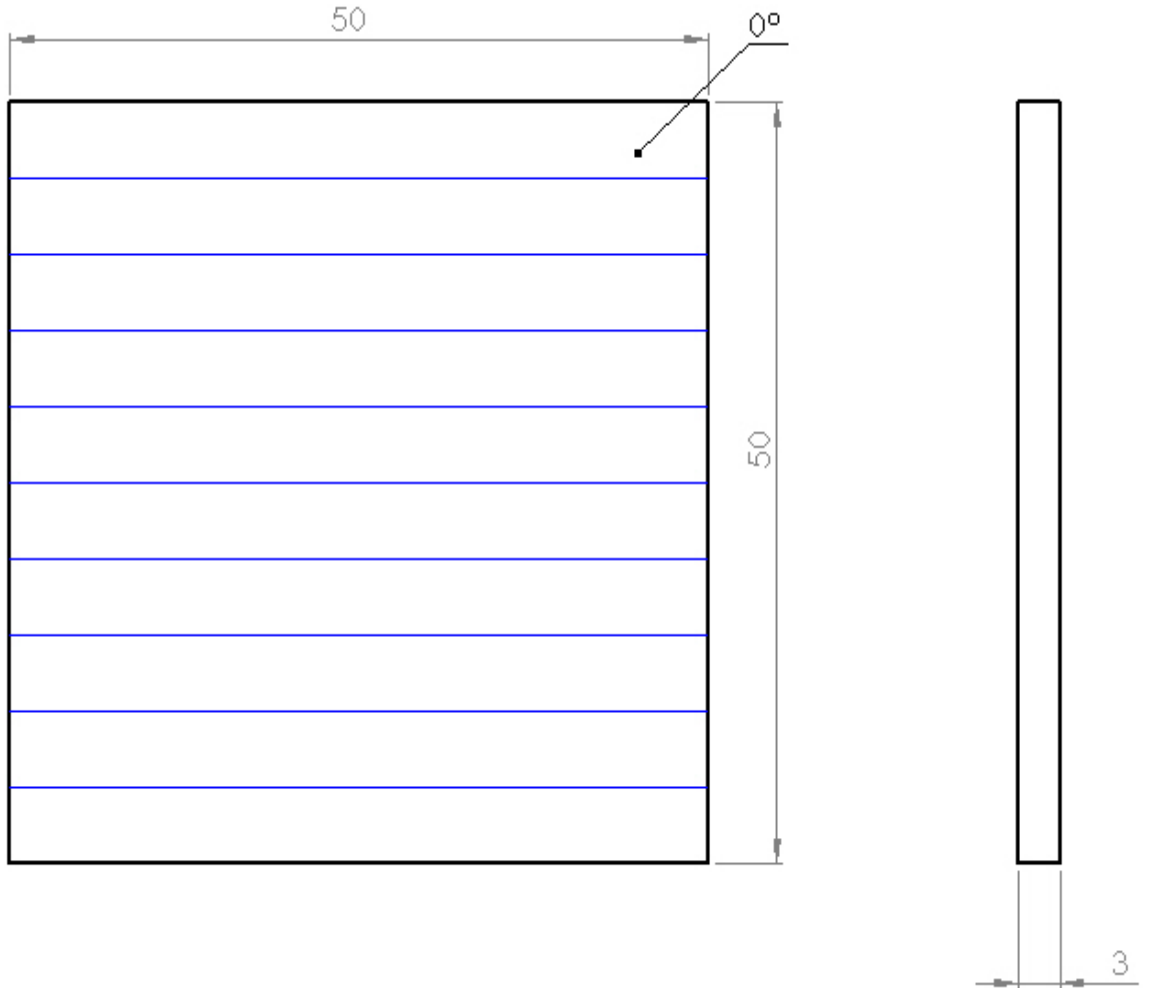
Şekil 3.10 Tek taraflı 45 derece v çentikli Al 5083 alüminyum plaka



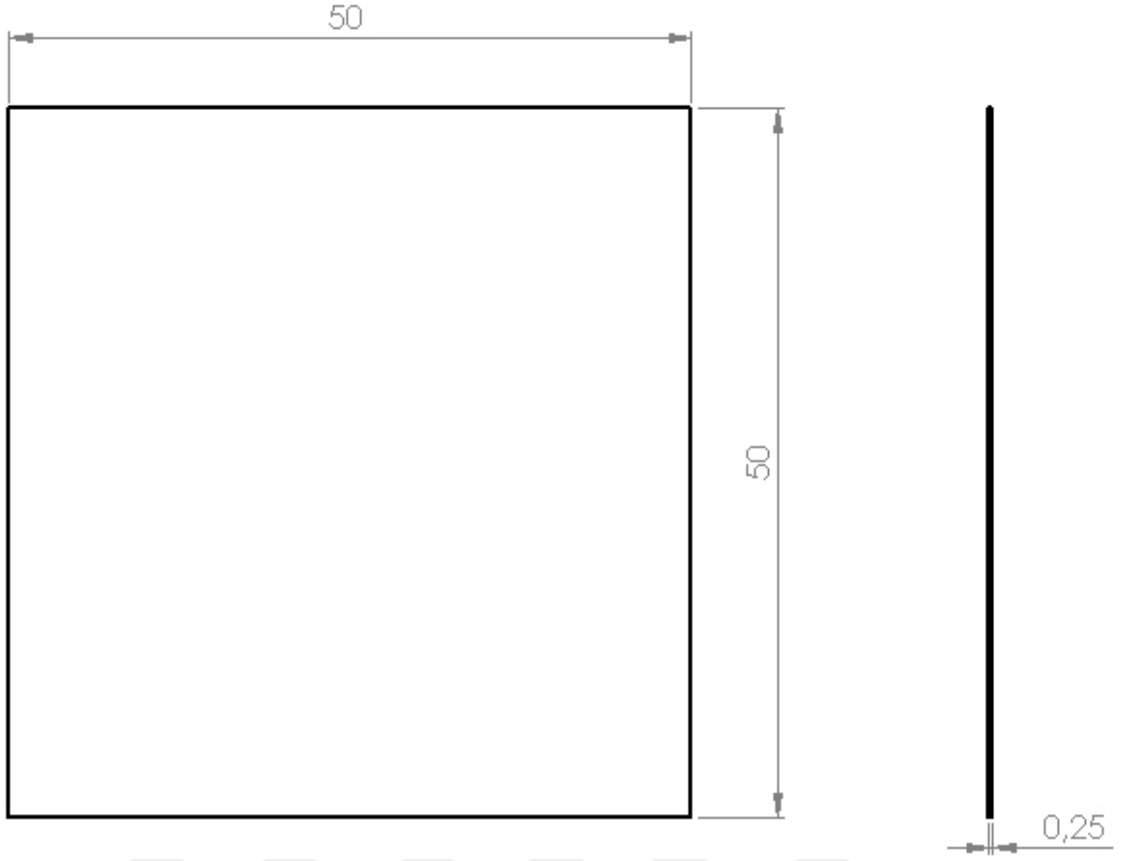
Şekil 3.11 Çift taraflı 60 derece v çentikli Al 5083 alüminyum plaka



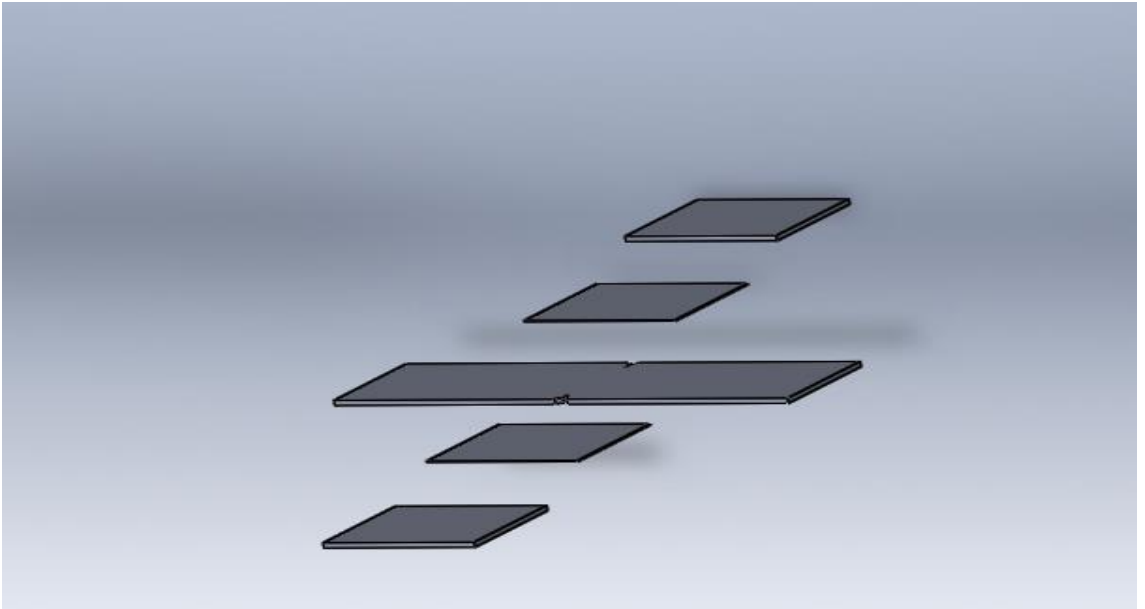
Şekil 3.12 Tek taraflı 60 derece v çentikli Al 5083 alüminyum plaka



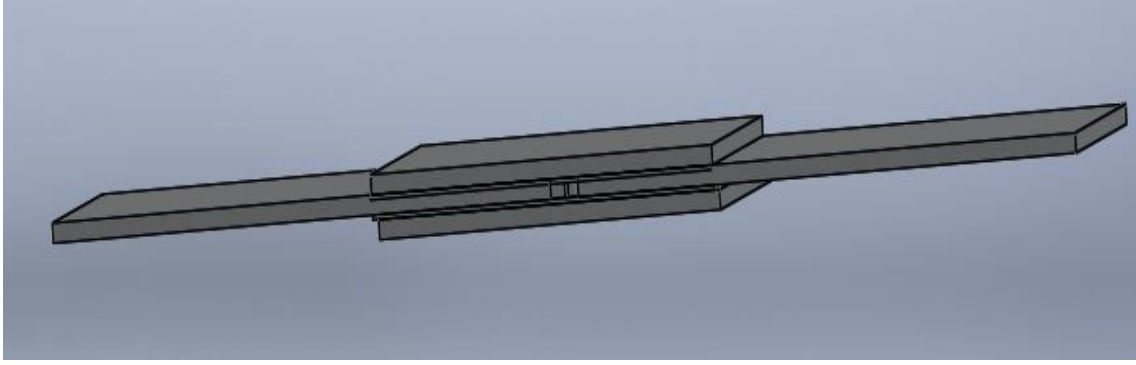
Şekil 3.13  $[0]_8$  Cam elyaf takviyeli kompozit materyal



Şekil 3.14 3M DP460 türü yapıştırıcı



Şekil 3.15 En dışta kompozit materyaller orta iç kısımlarda yapıştırıcı ve en ortadaki alüminyum materyalinin demontaj hali



**Şekil 3.16** En dışta kompozit materyaller orta iç kısımlarda yapıştırıcı ve en ortadaki alüminyum materyalinin montaj edilmiş hali

Teknik detayları verilen materyallerin ölçüleri yapılan araştırmalar sonucu belirlenmiştir. Literatür taraması sonucu çatlağın genişliği ve yapıştırıcı kalınlığı 0,25mm olarak seçilmiştir.

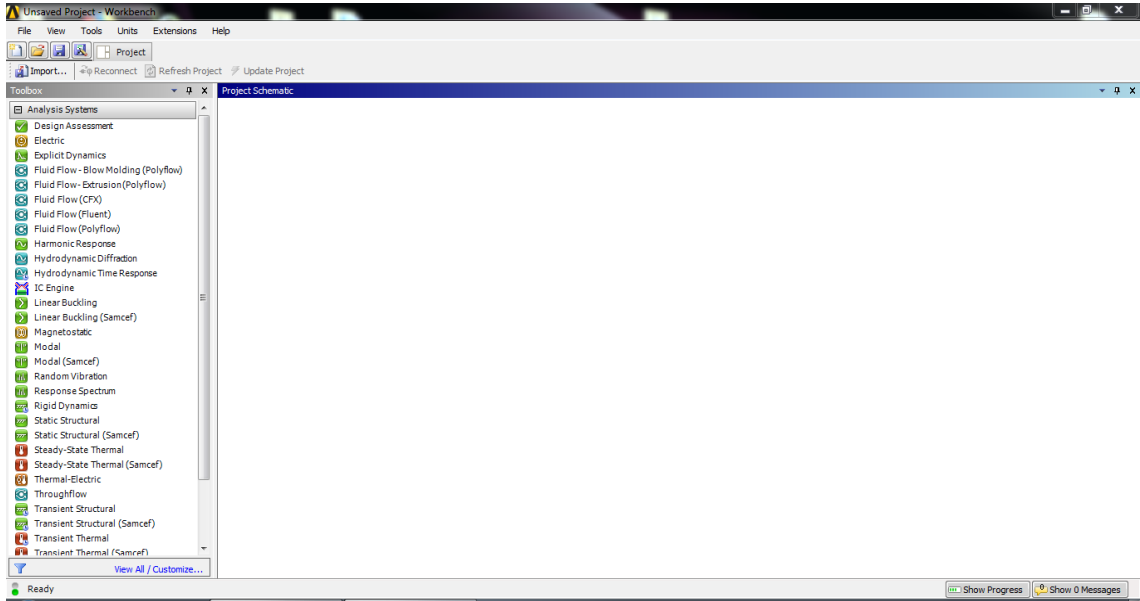
### 3.3. Sayısal Analiz Çalışmaları

İlk olarak teknik resimleri çizilmiş olan materyaller Solidworks 2013 bilgisayar programı vasıtası ile çizilmesi gerçekleştirilmiştir. Bu modellerin 3 boyutlu hali ve teknik çizimleri yine aynı program vasıtası ile bilgisayarda saklanmıştır. Sonrasında ise çeşitli geometrilere çatlak açılmış olan ve çeşitli çentiklere sahip materyaller 3M DP460 yapıştırıcı vasıtası ile birleşimi düşünülerek montajlama işlemi yapılmıştır. Yapılan çalışmada yamalı ve yamasız alüminyum bir parçanın yorulma ömrüne etkisi incelenmiştir.

Analizler Ansys 15 Workbench programı vasıtası ile yapılmıştır. Çalışmada; çeki – bası ( $R = -1$ ) yükleri uygulanarak materyallerin yorulma ömrü, gerilme dağılımları ve deformasyon durumları incelenmiştir. Numunenin bir ucu sabit mesnet durumunda modellenmiş olup, diğer ucu ise al 5083 alüminyum numunesinin akma gerilme değerinin %45'i literatür çalışmalarından esas alınarak basınç uygulanmıştır. Analiz numunesi olan Al 5083 materyalin akma değeri 270 MPa iken bu değer %45'i olan 121,5 MPa değeri ile çeki – bası yükleri uygulanmıştır. Sabit tutulan ucun tam karşısında bulunan uç kısmına basınç uygulanmıştır.

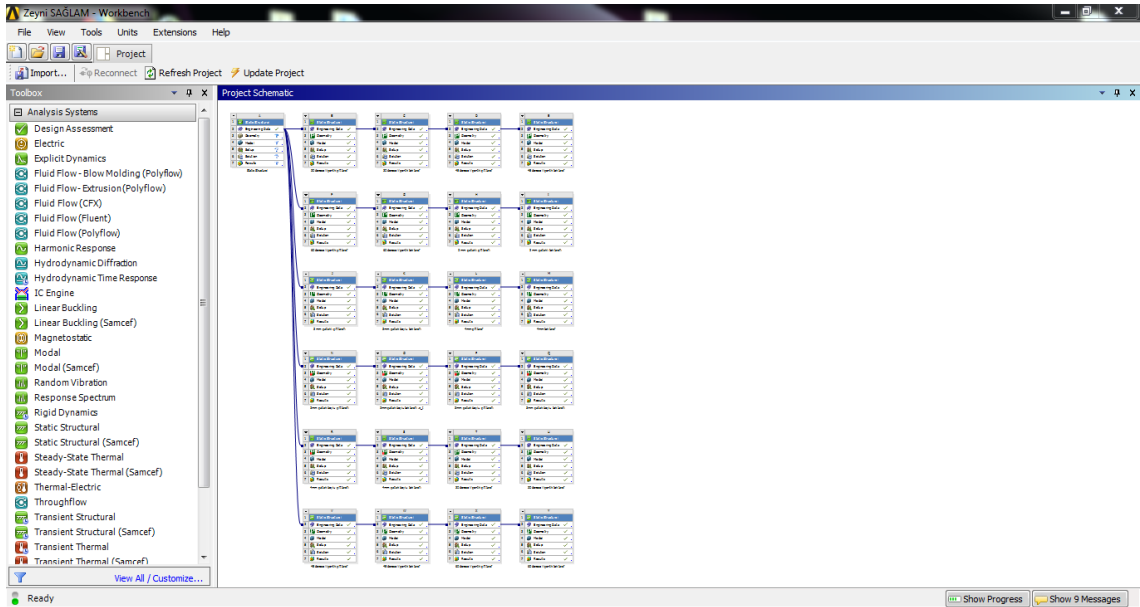


### 3.3.1. Ansys yorulma çalışmaları



Şekil 3.17 Ansys Workbench 15 açılış ekranı

Ansys workbench programına çift tıkladığımız zaman karşımıza şekil 3.17’de bulunan ekran gelmektedir. Sol tarafta bulunan sekmeler sayesinde gerek görülen analizler yapılabilmektedir. Üst tarafta bulunan butonlar ve sekmeler yardımıyla çeşitli ayarlar ve yapılan çalışmaların kaydedilmesi gibi işlemler yapılabilmektedir.



Şekil 3.18 Ansys Workbench 15 Static Structural sekmeleri

Ana ekranın sol tarafında bulunan tablolardan Static Structural seçilerek şekil 3.18’de bulunan sekmelerden bir tane ekrana gelir. Sekme üzerinde bulunan Engineering Data sekmesine basılır. Gelen menüden çalışmamıza konu olan materyallerin mekanik özellikleri bu kısımda eklenir. Şekil 3.18’de dallar şeklinde verilen sekmelerin hepsinin data kısımları birbirleri ile bağlantılı olup çalışmada kolaylık sağlaması açısından bu yol izlenmiştir. Solidworks ile tasarlanmış olan model Geometry butonu ile programa alınır.

The screenshot shows the 'Engineering Data Sources' dialog in SolidWorks. The 'Outline of Schematic' table lists materials, and the 'Table of Properties' table shows the density of Structural Steel. The 'Chart of Properties' shows Density vs. Temperature.

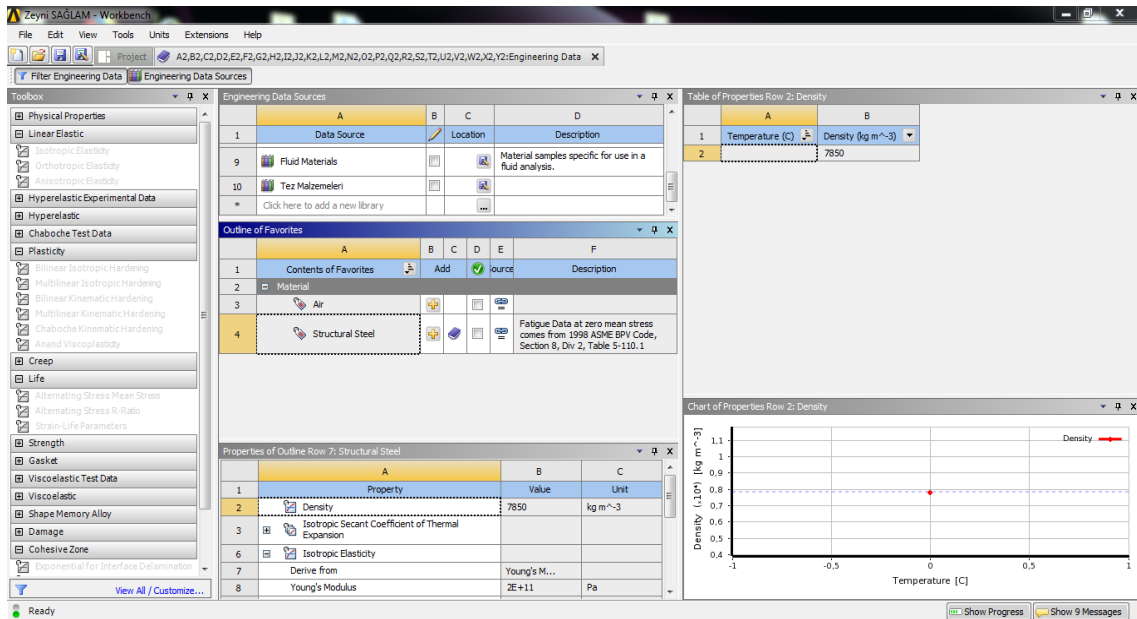
Outline of Schematic	A	B	C	D
1	Contents of Engineering Data			Description
2	Material			
3	[0] Dereceli Kompozit			
4	AL 5083			
5	CHZ DP460			
6	DP460 Yapıştırıcı			
7	Structural Steel			Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1
*	Click here to add a new material			

Table of Properties Row 2: Density	A	B
1	Temperature (C)	Density (kg m^-3)
2		7850
*		

Properties of Outline Row 7: Structural Steel	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Density	7850	kg m^-3		
3	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion				
6	Isotropic Elasticity				
7	Derive from	Young's ...			
8	Young's Modulus	2E+11	Pa		
9	Poisson's Ratio	0,3			
10	Bulk Modulus	1,6667E+11	Pa		
11	Shear Modulus	7,6923E+10	Pa		

Şekil 3.19 Engineering Data sekmesi

Çalışmamızda belirttiğimiz materyalleri bu alanda oluşturmak için Şekil 3.19’da bulunan Engineering Data Sources’e butonuna basılır ve Şekil 3.20’de gösterilmiş sekme ile karşılaşırız.



Şekil 3.20 Engineering Data Sources sekmesi

Şekil 3.20’de bulunan Data sources kısmında istenilen malzemeleri atamak için malzeme sekmesi eklenir.

	A	B	C	D
1	Data Source		Location	Description
9	Fluid Materials			Material samples specific for use in a fluid analysis.
10	Tez Malzemeleri			
*	Click here to add a new library			

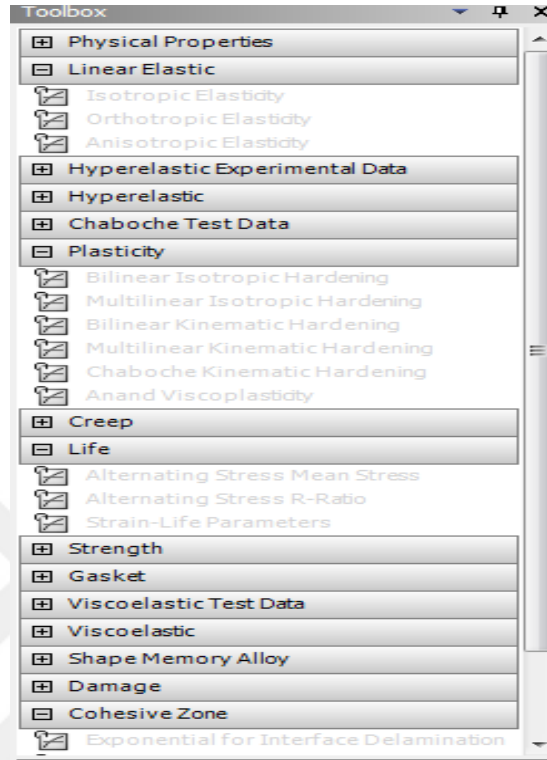
Şekil 3.21 Engineering Data Sources sekmesi

Şekil 3.21’de add a new library ile biten kısımda yeni dosya oluşturarak istenilen materyallerin mekanik özellikleri eklenip o değerler ışığında analizler yapılır.

	A	B	C	D	E
1	Contents of Tez Malzemeleri	Add	source		Description
2	Material				
3	[0] Dereceli Kompozit				
4	AL 5083				
5	CHZ DP460				
6	DP460 Yapıştırıcı				

Şekil 3.22 Tez Malzemeleri

Şekil 3.22’de çalışmamızda kullandığımız materyallerin mekanik özelliklerinin bulunduğu sekme görülmektedir. Ve çalışma boyunca bu materyallerin özelliklerinden faydalanarak analizler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.23 Tez Malzemelerinin mekanik değerlerinin eklenmesi

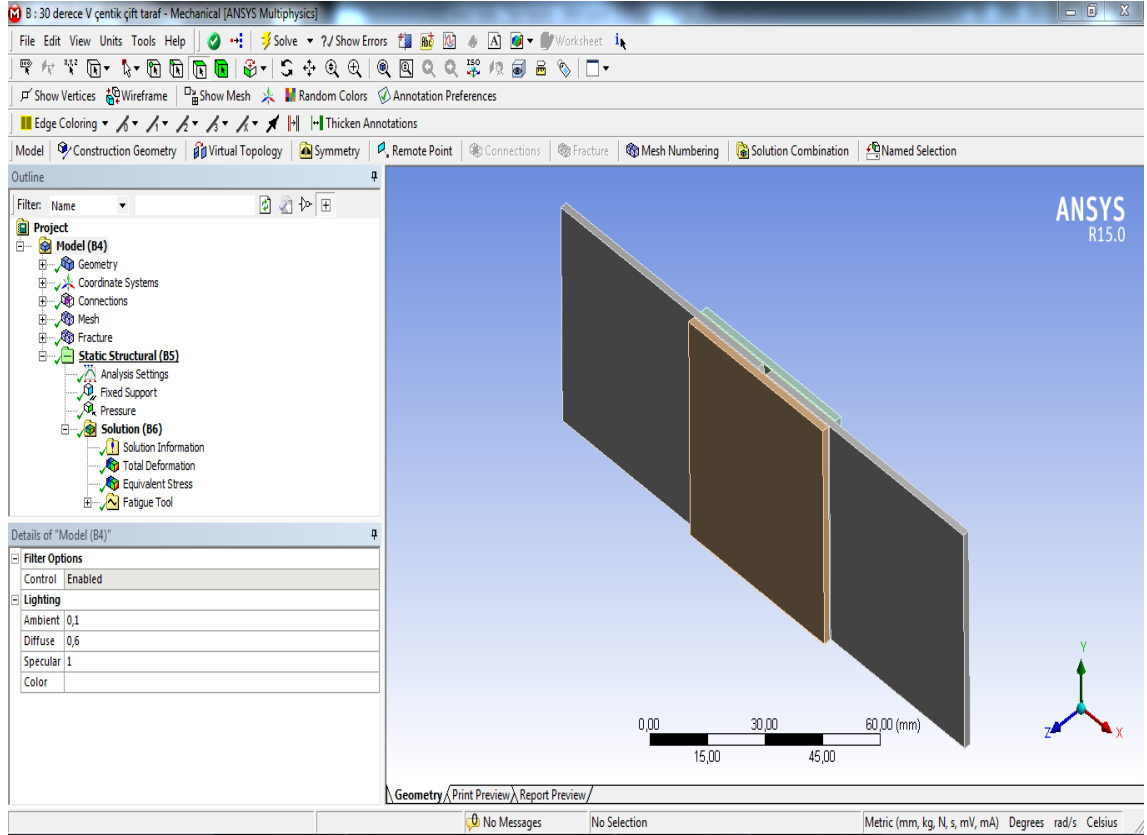
Şekil 3.23’te materyallerin program içerisine uygulanması için bu sekmelerden faydalanılır. Literatür taraması sonucu elde edilen mekanik özellikleri programa aktarılır.

Properties of Outline Row 4: AL 5083			
	A	B	C
1	Property	Value	Unit
2	Isotropic Elasticity		
3	Derive from	Young's M...	
4	Young's Modulus	7,03E+10	Pa
5	Poisson's Ratio	0,33	
6	Bulk Modulus	6,8922E+10	Pa
7	Shear Modulus	2,6429E+10	Pa

Şekil 3.24 Verilerin programa aktarımı

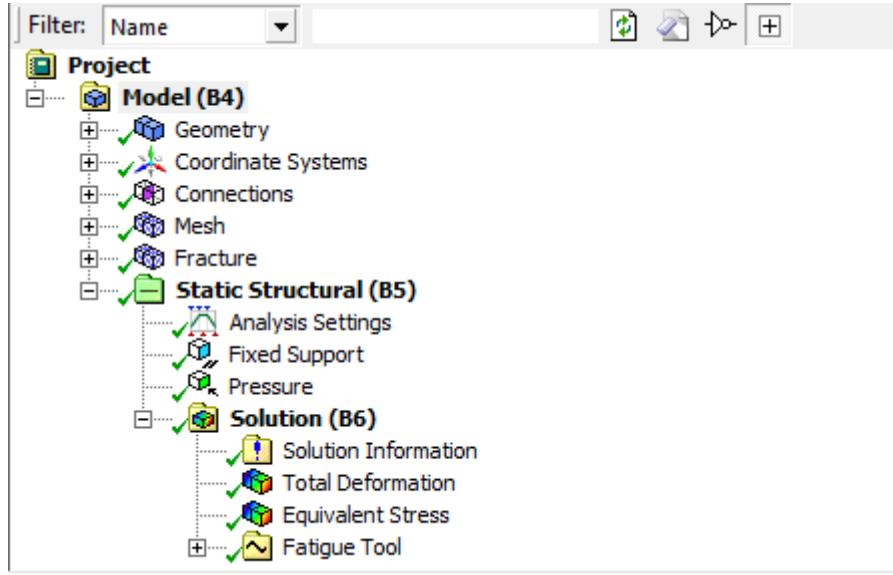
[0]<sub>8</sub> Kompozit materyal için sisteme tanımlanan S/N diyagramı için 28 numaralı kaynakça referans alınmıştır. Al 5083 materyali için ise 22 numaralı kaynakça referans alınmış olup DP 460 materyali için ise sonsuz ömür kabul edilmiştir.

Şekil 3.24'te materyale ait mekanik değerler girilerek o materyalin gerçekte gösterebileceği davranışları sergilemesi için değerler doğru bir şekilde eklenir. Bu çalışma neticesinde materyalin programda çalışır hale gelmesi sağlanır.



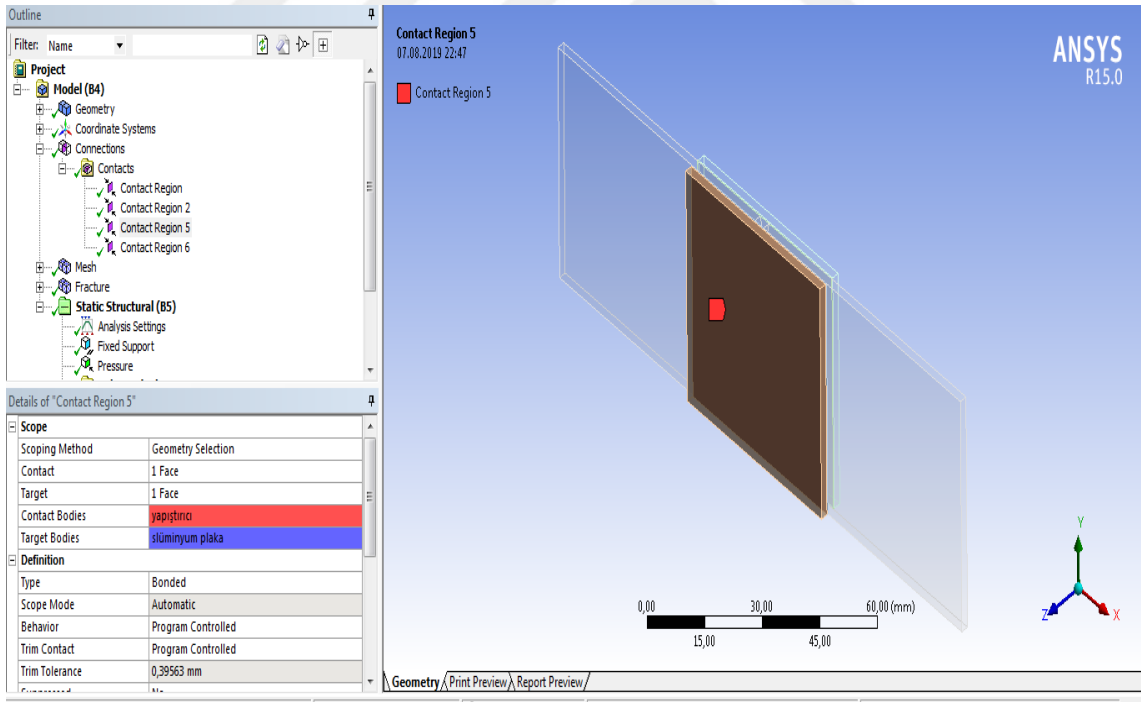
Şekil 3.25 Model ile erişilen ekran

Şekil 3.25'e girmek için şekil 3.18'de Solidwork programı ile çizimi yapılan Geometry butonu ile eklenir ve Model butonuna basılarak bu ekrana erişim sağlanır. Analizler için bu ekran kullanılır.



Şekil 3.26 Materyal özelliklerini belirleme ekranı

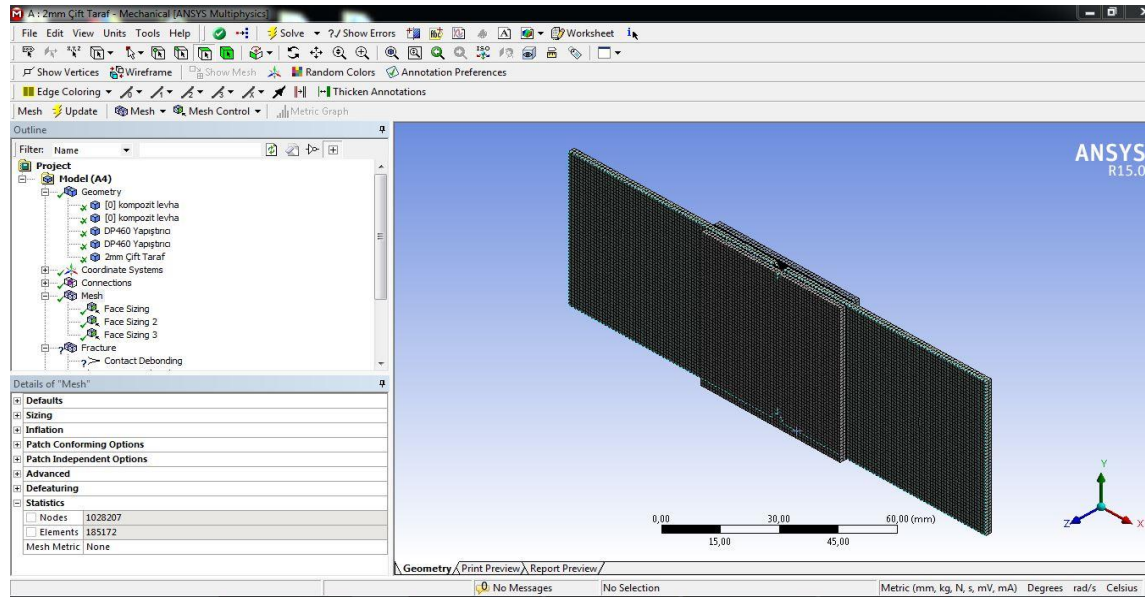
Şekil 3.26’da materyal veya materyallerin her birinin ataması için Geometry sekmesi kullanılır. Bu sayede her materyal kendi mekanik davranışını sergiler.



Şekil 3.27 Kontakt bölgeleri

Şekil 3.27’de birbirleri ile kontak kuran bölgeler *Connections* sekmesinin içerisinde bulunan kontak butonuna tıklanarak *Contacts Region* ile görülebilir. Kendi aralarında kontak bulunan materyallerin seçimi gerekmektedir. Kontak tipi *Bonded*

olarak seçildi. *Formulation* kısmında *Pure Penalty* seçildi. Çalışma için önem arz eden bir aşama olup sadece kontak bölgeleri seçilmelidir.



Şekil 3.28 Ağ yapısı uygulaması

Şekil 3.28’de bir bütün olarak incelenen materyallerin tamamına ağ yapısı uygulanır. Her materyal çeşidi için ayrı ağ yapısı uygulanır. Aynı materyal türü için ortak ağ yapısı işlemi yapılır. Literatür çalışmalarına göre Al 5083 materyal için 1 mm ve kompozit materyal içinde aynı şekilde 1 mm uygulanmıştır. Yapıştırıcı materyal için ise 0,25 mm ağ yapısı işlemi uygulanmıştır.

**Tablo 3.4** Ağ yapısı işlemi sonrası tek ve çift taraflı dairesel çentikli ve çeşitli çatlaklara sahip numunelerin eleman sayıları ve düğüm noktaları (node)

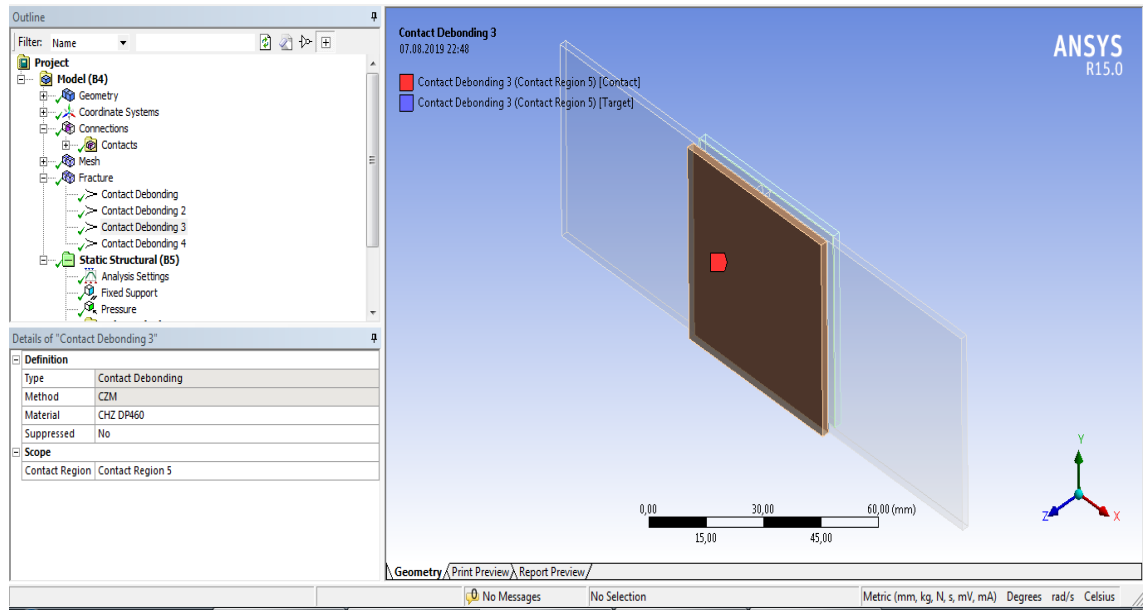
Ağ yapısı	Eleman	Çatlaklı Daire			
		Tek Taraflı		Çift Taraflı	
		Yamasız	Yamalı	Yamasız	Yamalı
2mm	Eleman	7548	102548	15172	110172
	Düğüm	53879	695099	85187	726407
3mm	Eleman	7560	102560	15276	110276
	Düğüm	53953	695173	85727	726947
4mm	Eleman	7584	102584	15194	110194
	Düğüm	54126	695346	85332	726552

Yamalı ve yamasız materyallerin ağ yapısı işlemi sonrası yamasız olanların düğüm ve eleman sayısı az iken yamalı olanların düğüm sayıları bir hayli yüksek çıkmaktadır.

**Tablo 3.5** Ağ yapısı işlemi sonrası tek ve çift taraflı V çentikli numunelerin eleman sayıları ve düğüm noktaları (node)

Ağ yapısı		V Çentik			
		Tek Taraflı		Çift Taraflı	
		Yamasız	Yamalı	Yamasız	Yamalı
<b>30 Derece</b>	Eleman	71215	166215	15354	110354
	Düğüm	128928	770148	86148	727368
<b>45 Derece</b>	Eleman	70672	165672	15186	110186
	Düğüm	128031	769251	85176	726396
<b>60 Derece</b>	Eleman	15028	110028	15126	110126
	Düğüm	84283	725503	84846	726066

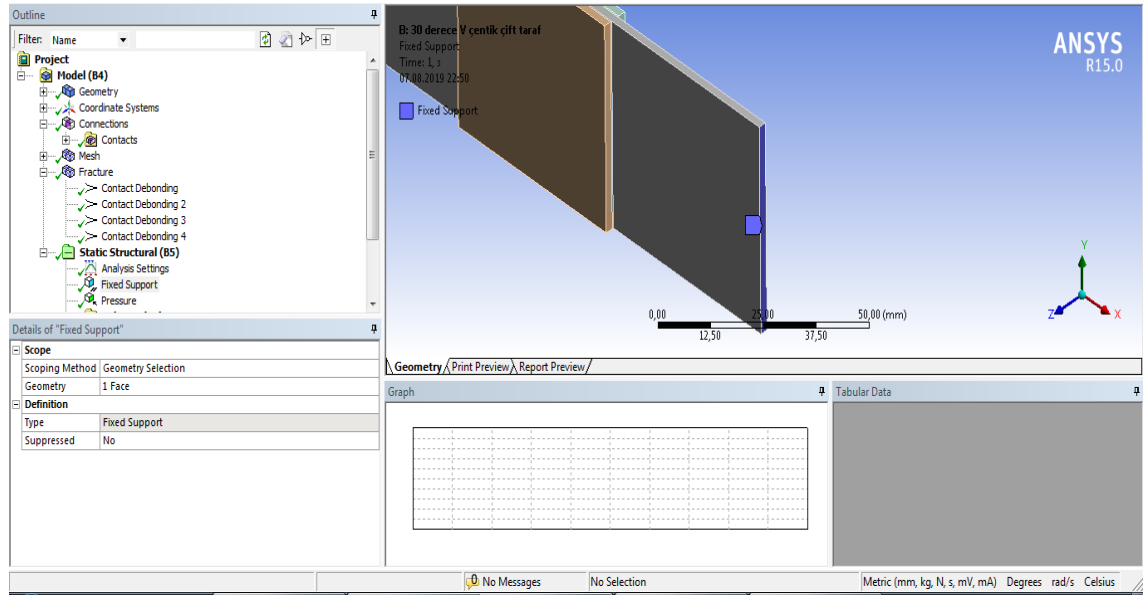
Yamalı ve yamasız v çentikli numunelerin ağ yapısı işlemi ile elde edilen, eleman ve düğüm sayıları tablo 3.5'teki gibidir. Eleman sayıları ve düğüm noktaları, yamalı numunelerin yamasız numunelere göre daha yüksek değerlere sahiptirler. Çentiğin açısı arttıkça tüm numunelerin eleman ve düğüm sayıları azalmaktadır.



**Şekil 3.29** Kontak kısımlarına materyal eklenmesi

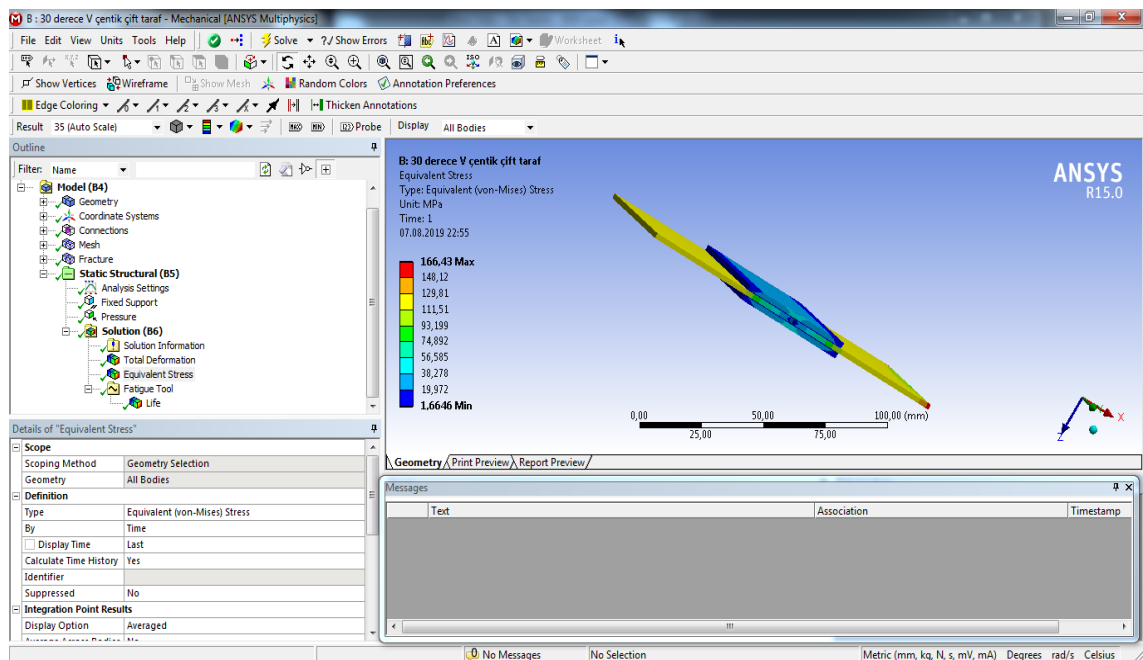


Model sekmesi altında bulunan *Fracture* sekmesi ile *Contac Region* sekmesi ile materyal belirlenir. Çalışmamızda DP460 kontak aralarına atama yapılmıştır.



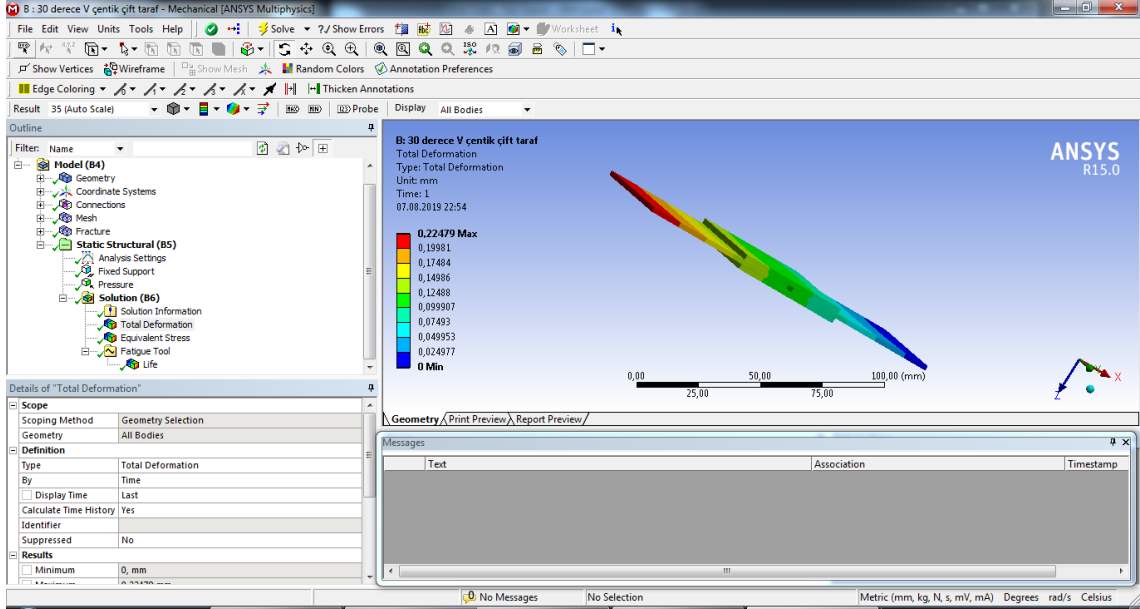
Şekil 3.30 Destek ve basınç noktalarının belirlenmesi

Şekil 3.30’da materyal için destek noktası belirlenmiştir. Aynı zamanda tam karşı kısmına akma mukavemetinin %45’i oranında olan 121,5 MPa basınç uygulanmak üzere eklenmiştir. Ardından malzemeye gerilme analizi, deformasyon analizi ve yorulma ömrü çözümü yapılarak şekil 3.31, şekil 3.32, şekil 3.33’te görüldüğü gibi veriler elde edilir.



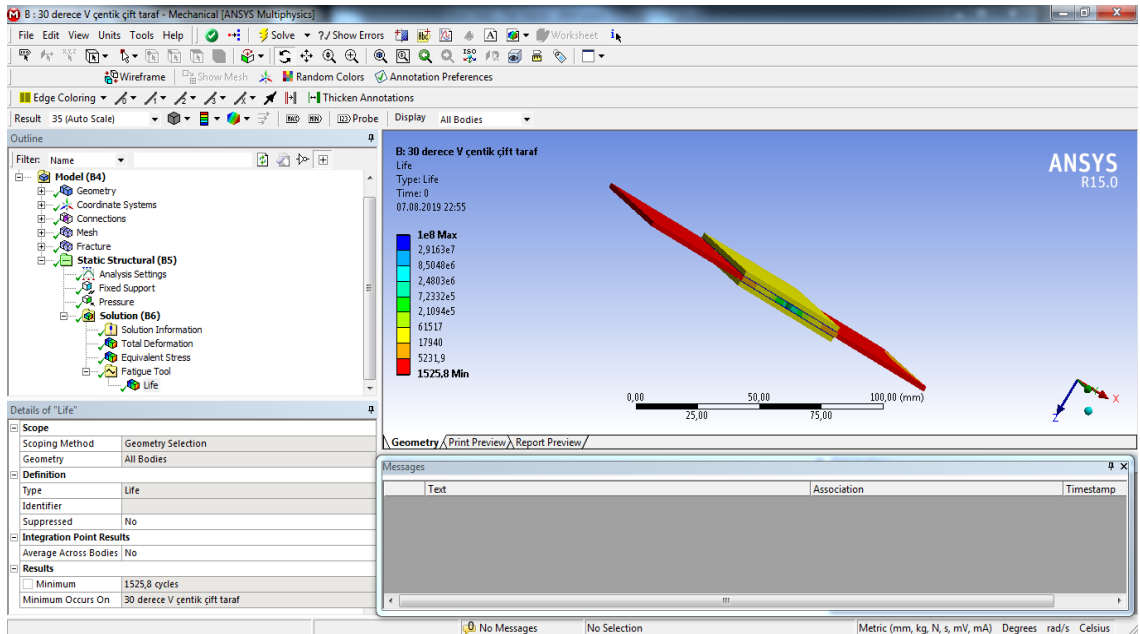
Şekil 3.31 Gerilme Analizi

Şekil 3.31 sol tarafta bulunan solution sekmesi ile analizlerin başlatılması için Equivalent Stress seçilerek yorulmanın tespiti için gerilme analizi yapılmıştır.



Şekil 3.32 Deformasyon Analizi

Şekil 3.32 solution sekmesi kullanılarak Total Deformation analizi ile materyal üzerinde oluşan deformasyonun görsel olarak ve milimetre cinsinden değişimi görülebilir.



Şekil 3.33 Yorulma Analizi

Şekil 3.33 'te yorulma analizi görülmektedir. Gerilme ve deformasyon analizleri yardımıyla yorulma analizleri elde edilmiştir. Solution sekmesinden Fatigue Tool kısmından Life sekmesine gidilerek ömür hesabı yapılır. Tüm analizler seçildikten sonra solution sekmesinde solve yani çözümlene butonuna tıklanarak tüm analizlerin çözümlenmesi yapılır ve veriler elde edilir. Oluşturulan sistemde yorulma analizleri için *mean stress theory* yöntemi tercih edilmiştir.

### 3.3.2. Sayısal Çalışma Sonuçları

Yapmış olduğumuz çalışma neticesinde elde ettiğimiz veriler detaylı olarak verilecektir. Yaptığımız çalışma ile materyallerin yorulma ömür değerleri, Deformasyona uğrama miktarları ve gerilme değerlerinin Ansys Workbench 15 program ile çözüm değerleri sonuçları verilmiştir. Yapılan çalışma neticesinden elde edilen veriler hem tablo hem de grafik olarak verilecek ve değerlendirmeleri yapılacaktır. Bu çalışma neticesinde elde ettiğimiz veriler gerçek hayatta uygulama açısından bir örnek teşkil edip yapılacak çalışmalarda ışık tutmak adına bize yol gösterecektir. Bilgisayar ortamında yapılan değerlendirmeler gerçek hayatta zaman ve maddi olarak kayıpların yaşanmaması adına çeşitli analizler sonucu problemin çözümüne yönelik fikir sunmaktadır.

#### 3.3.2.1. Yorulma (Çeki-Bası) Açısından Değerlendirme Sonuçları

**Tablo 3.6** Tek ve çift taraflı dairesel çentik ve çeşitli boyutlarda çatlak açılmış analiz numunelerinin yorulma ömürleri

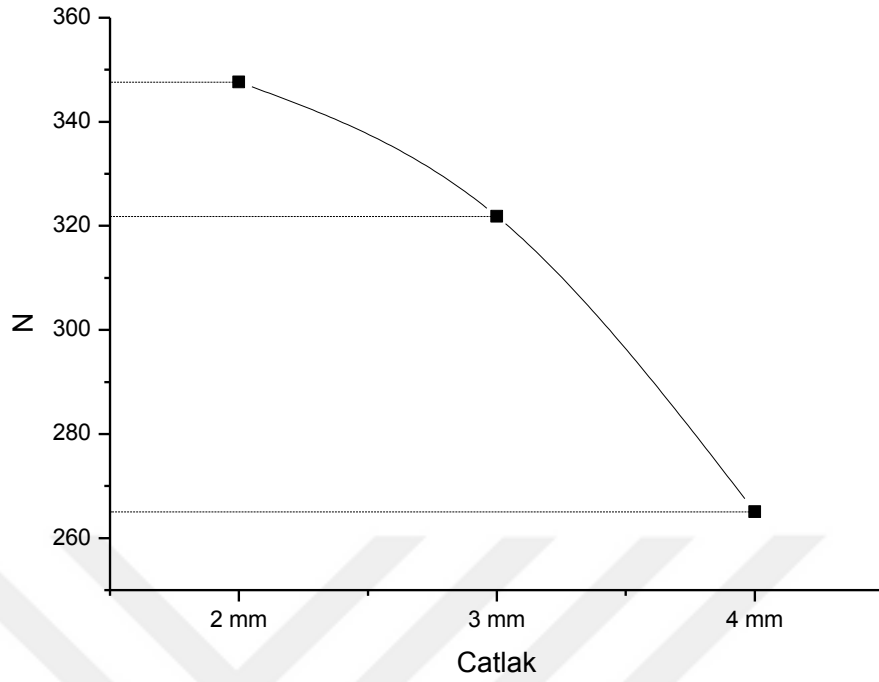
Çatlaklı Daire	N (Çevirim Sayısı)			
	Tek Taraflı		Çift Taraflı	
	Yamasız	Yamalı	Yamasız	Yamalı
2 mm	347,67	1267	428,68	1266,7
3 mm	321,8	1266,9	373,86	1266,4
4 mm	265,04	1266,8	323,2	1266,3

Tablo 3.6’da elde edilmiş veriler 2 mm yarıçapında dairesel çentiğin tek ve çift tarafında bulunan ayrıca sadece alüminyum materyalinin kendisine ve yama uygulanmış numunesine yapılan analizler neticesinde elde edilmiştir. Yorulma ömrünün yamalı olan numunelerde bir hayli yüksek olduğu görülmektedir. 2, 3 ve 4 mm’ lik çatlakların artması neticesinde yorulma ömründe azalma görülmektedir. Tek taraflı çentik ve çatlağa sahip numunelerin ömrü çift tarafta bulunanlara göre daha düşük olduğu görülmüştür.

**Tablo 3.7** Tek ve çift taraflı v çentikli analiz numunelerinin yorulma ömürleri

V Çentik	N (Çevirim Sayısı)			
	Tek Taraflı		Çift Taraflı	
	Yamasız	Yamalı	Yamasız	Yamalı
<b>30 Derece</b>	277,69	1593,2	298,45	1266,9
<b>45 Derece</b>	387,11	1265,5	448,04	1264,9
<b>60 Derece</b>	251,66	1262,3	298,7	1261,7

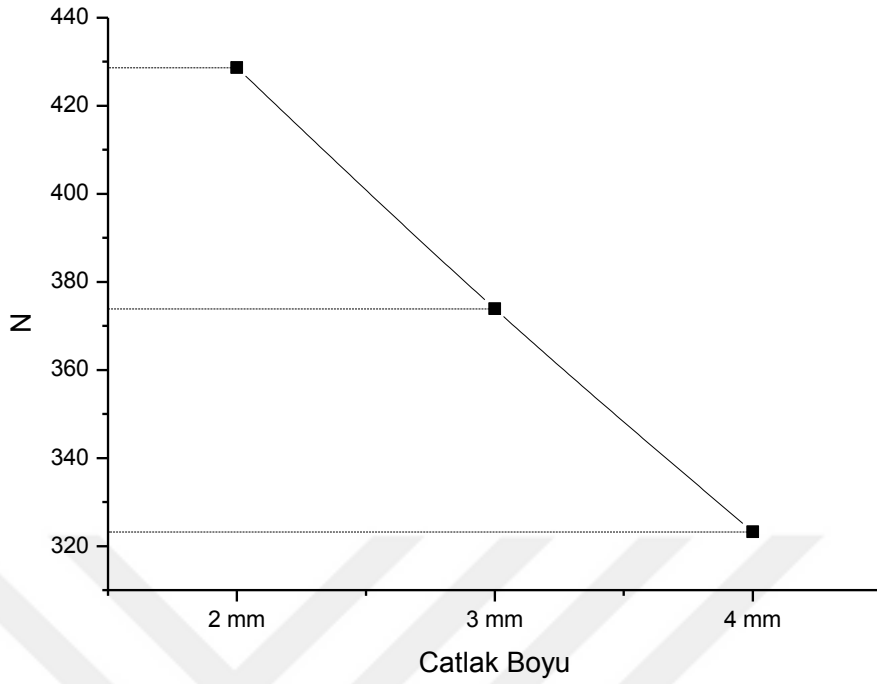
Tablo 3.7’de analizler sonucu elde edilen yorulma ömürleri tek ve çift tarafta v çentik bulunan analiz numunelerinin yamalı ve yamasız olarak her bir numune üzerinde analiz edilmesi sonucu elde edilmiştir. Yamasız numunelerin yamalı numunelere göre daha düşük yorulma ömrüne sahip olduğu görülmüştür. V çentik açısı 30 derece ve tek taraflı olan numunede yorulma ömrü diğer tüm numunelere göre yüksek çıkmıştır. Yamalı ve en az çentik boyutlarına sahip olması neticesiyle kompozit materyal ile yamalanmış olması neticesinde kompozit materyalin ömürde etkisi bir hayli yüksek olduğu görülmüştür.



**Şekil 3.34** Tek tarafta dairesel çentiği olan çeşitli çatlak boyutlarına sahip yamasız numunelerin yorulma ömürlerine ait grafik

Şekil 3.34’te tek tarafta dairesel çentiğe sahip ve 2, 3, 4 mm çatlak boyutları olan alüminyum plakanın yorulma ömrü görüldüğü üzere çatlak boyunun artması yorulma ömründe azalmaya sebep olmaktadır.

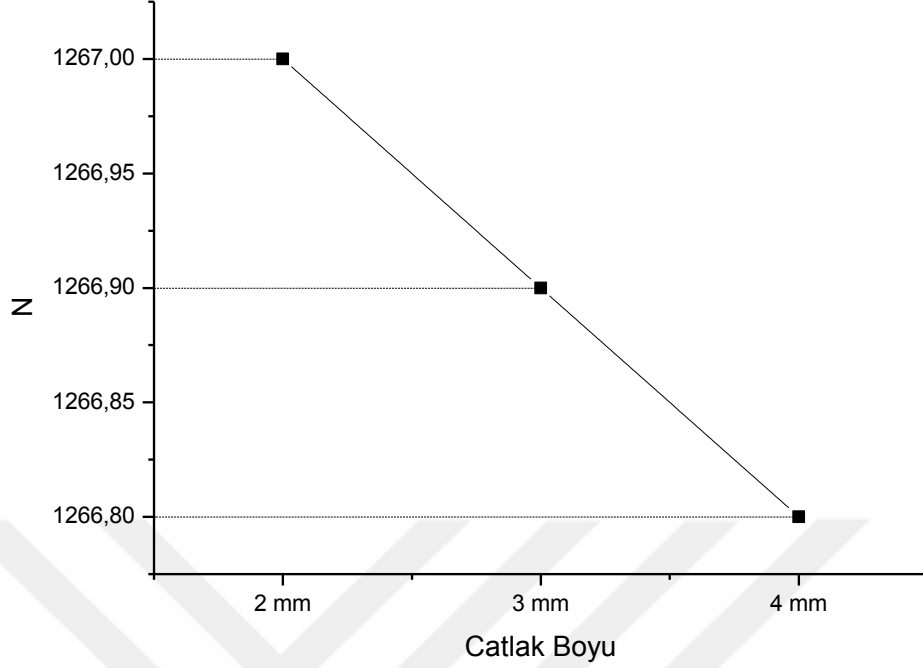
Çatlağın boyutu arttıkça parçanın çevirim sayısındaki düşmenin sebebi kırılma hızının artmasına sebep olmaktadır.



Şekil 3.35 Çift tarafta dairesel çentiği olan çeşitli çatlak boyutlarına sahip yamasız numunelerin yorulma ömürlerine ait grafik

Şekil 3.35'te her iki tarafında dairesel çentiği olan alüminyum plakanın çeşitli çatlak boyutlarındaki ömrüne ait değerler görülmektedir. Çatlak boyutunun artması oranında yorulma ömründe azalma görülmektedir.

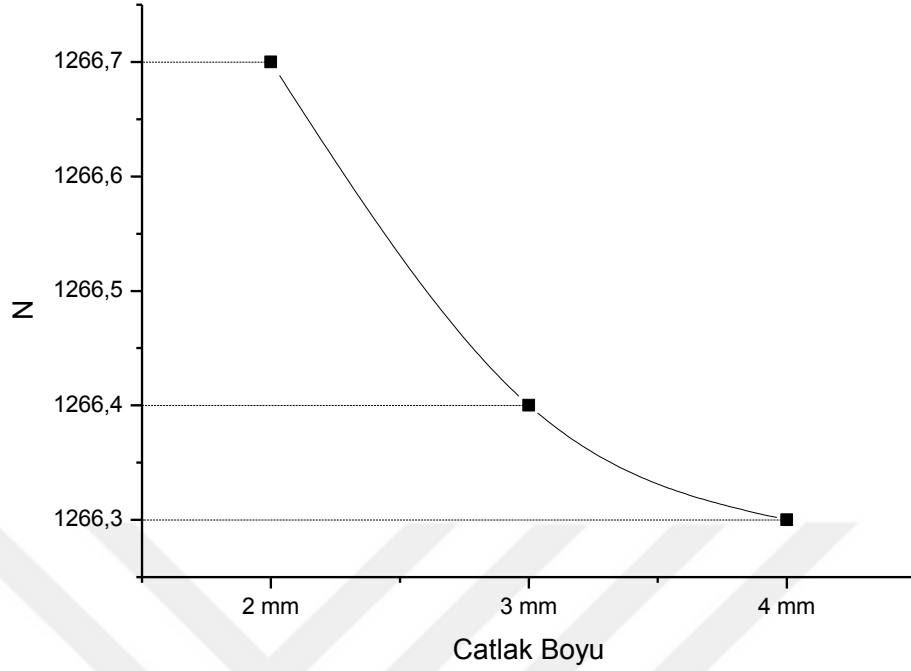
Şekil 3.34 ve 3.35'te görüldüğü gibi tek tarafta açılmış çentik ile malzemenin iki yüzeyinde açılmış çentiklerin yorulma ömürleri kıyaslandığı zaman iki tarafta da çentik ve çatlak bulunan malzemenin yorulma ömrü daha uzundur.



**Şekil 3.36** Tek tarafta dairesel çentiği olan çeşitli çatlak boyutlarına sahip yamalı numunelerin yorulma ömürlerine ait grafik

Şekil 3.36’da tek tarafında da dairesel çentiği olan ve çeşitli çatlak boyutlarına sahip alüminyum plakanın çift etkili birleşim uygulanarak materyalin her iki tarafına kompozit materyal ile yama uygulanıp daha sonra yorulma ömrünün incelenmesine ait grafik verilmiştir. Grafik üzerinde de görüldüğü gibi çatlak boyutunun artması ile yorulma ömründe azalma görülmüştür. Fakat genel olarak ömür her çatlak boyutunda birbirine çok yakındır.

Şekil 3.36 ve 3.34’e göre kıyaslama yapılacak olursak; yama uygulanmış numunelerde ömür artışı bir hayli yüksektir. Dairesel çatlığa sahip alüminyum numunelerde kompozit yamanın gayet başarılı olduğu görülmüştür. Yama uygulanmış numunelerde yamanın çatlığı her iki taraftan örtmesi sebebiyle uygulanan yükün kompozit tarafından absorbe edilmesi neticesinde yorulma ömrü artmış ve çatlak boylarının etkisi yok denecek kadar azalmıştır. Tek tarafında çatlak bulunan numunelerde grafiğin doğrusal olması yükün bir bölgedeki hasar oluşumunun benzer olmasından kaynaklanmaktadır.



**Şekil 3.37** Çift tarafta dairesel çentiği olan çeşitli çatlak boyutlarına sahip yamalı numunelerin yorulma ömürlerine ait grafik

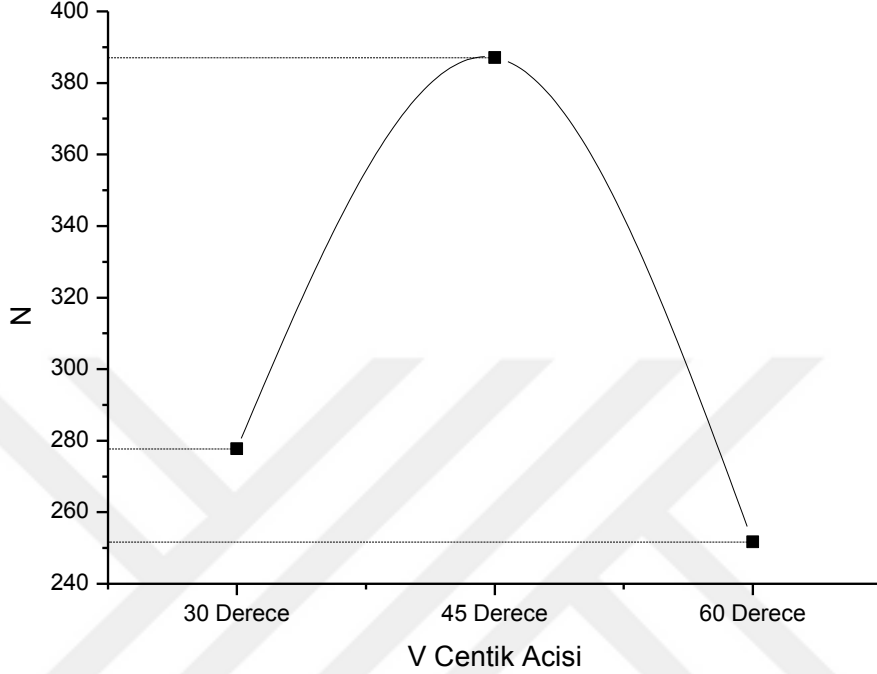
Şekil 3.37’de her iki tarafında da dairesel çentiği olan ve çeşitli çatlak boyutlarına sahip alüminyum plakanın çift etkili birleşim uygulanarak materyalin her iki tarafına kompozit materyal ile yama uygulanıp daha sonra yorulma ömrünün incelenmesine ait grafik verilmiştir. Grafik üzerinde de görüldüğü gibi çatlak boyutunun artması ile yorulma ömründe azalma görülmüştür. Fakat genel olarak ömür her çatlak boyutunda birbirine çok yakındır. Yama uygulanmış numunelerde yamanın çatlağı her iki taraftan örtmesi sebebiyle uygulanan yükün kompozit tarafından absorbe edilmesi neticesinde yorulma ömrü artmış ve çatlak boylarının etkisi yok denecek kadar azalmıştır.

Şekil 3.37 ve 3.35’e göre kıyaslama yapılacak olursak; yama uygulanmış numunelerde ömür artışı bir hayli yüksektir. Dairesel çatlağa sahip alüminyum numunelerde kompozit yamanın gayet başarılı olduğu görülmüştür.

Şekil 3.37 ve 3.36’ya göre kıyaslama yapılacak olursak; yama uygulanmış numunelerde ömür birbirine çok yakın bir değerde olup, çentiğin ve çatlağın boyları ve her iki tarafta bulunması ömür konusunda çok büyük etkiye sahip olmamıştır.



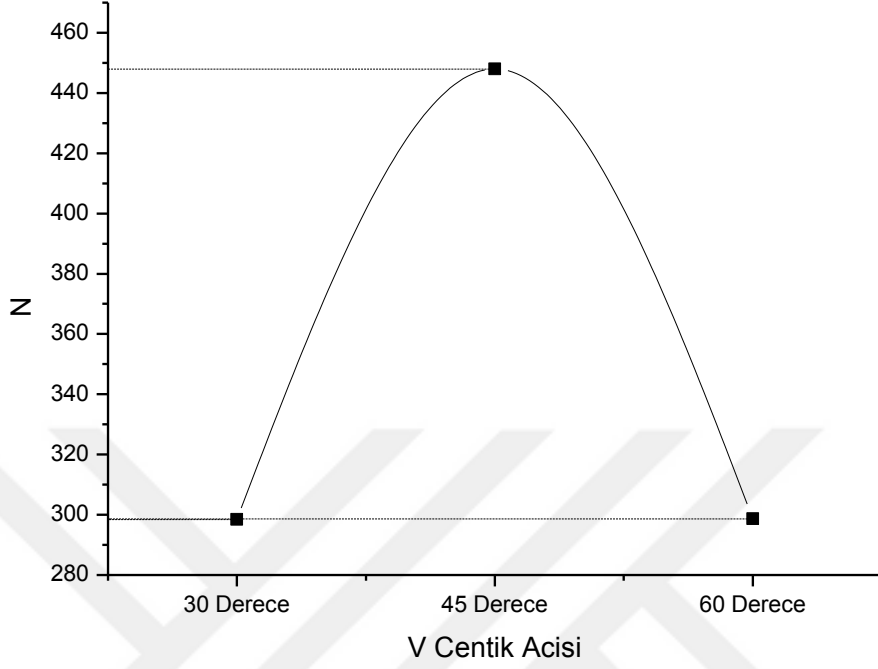
Yamalı ile yamasız malzemelerin kıyas edilmesi ile yamalı numunelerde yorulmanın ömrünün bir hayli yüksek olması kompozit materyal sayesinde.



**Şekil 3.38** Tek tarafta çeşitli açılarda v çentiği olan yamasız numunelerin yorulma ömürlerine ait grafik

Şekil 3.38'de tek tarafında v çentikli çeşitli açılarda bulunan alüminyum materyaline ait yorulma ömür grafiği görülmektedir. Grafikte en dikkat çeken nokta 45 derecede v çentiğe sahip numunenin yorulma ömrü 30 ve 60 derecelere göre çok daha yüksektir. Diğer taraftan 30 ve 60 derecelerdeki numunelerin ömürleri birbirlerine yakın fakat 30 derecedeki numunenin ömrü daha uzundur. Yapılan analizlerde yamasız numunelerde en yüksek gerilmeler çentiğin olduğu bölgede görülmektedir.

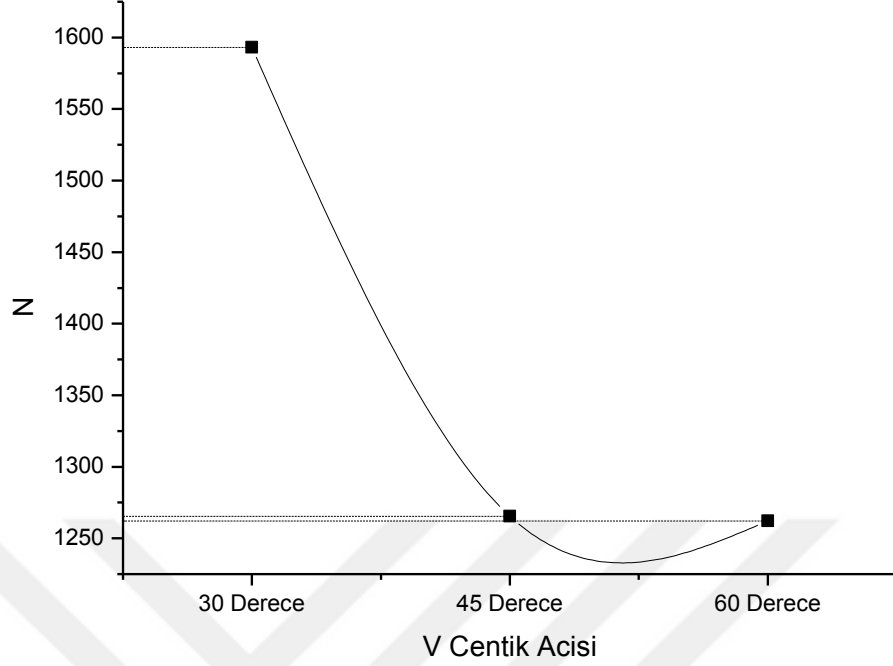
Yorulma ömrünün en yüksek olduğu 45 derece açıya sahip v çentikli numunede çentiğin gerilmeyi uç kısımda toplaması ve gerilmenin o noktada yığılma oluşturması neticesinde çevirim sayısı arttığı görülmüştür. 30 ve 60 derecelerdeki numunelerde ise gerilmenin açının artması ile arttığı ve yorulma ömrünün açının artmasıyla azaldığı görülmüştür.



**Şekil 3.39** Çift tarafta çeşitli açılarda v çentiği olan yamasız numunelerin yorulma ömürlerine ait grafik

Şekil 3.39’de her iki tarafında v çentikli çeşitli açılarda bulunan alüminyum materyaline ait yorulma ömür grafiği görülmektedir. Grafikte en dikkat çeken nokta 45 derecede v çentiğe sahip numunenin yorulma ömrü 30 ve 60 derecelere göre çok daha yüksektir. Diğer taraftan 30 ve 60 derecelerdeki numunelerin ömürleri birbirlerine çok yakındır.

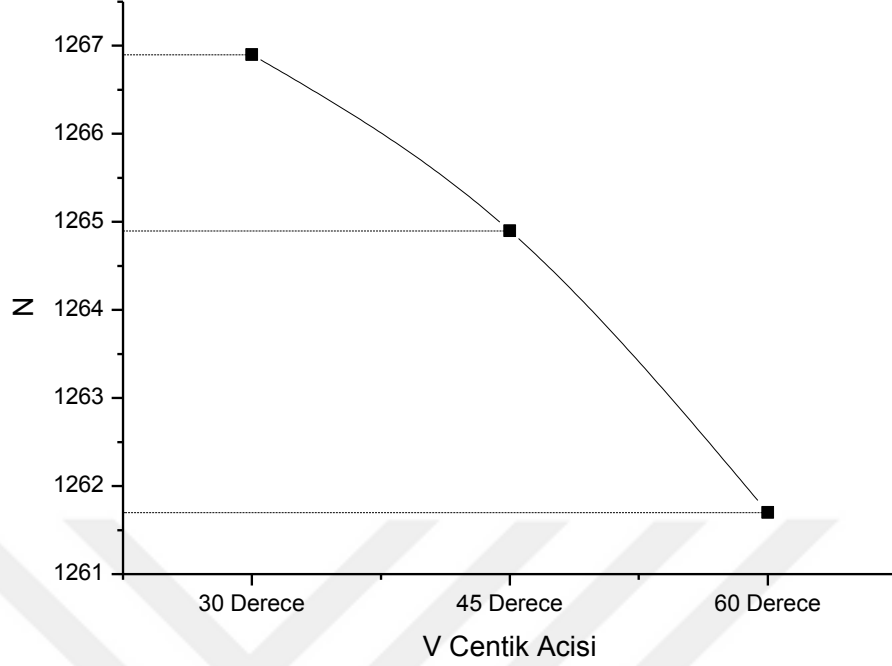
Yorulma ömrünün en yüksek olduğu 45 derece açığa sahip v çentikli numunede çentiğin gerilmeyi uç kısımda toplaması ve gerilmenin o noktada yığılma oluşturması neticesinde çevirim sayısı arttığı görülmüştür. Diğer iki numunede gerilmeler eşit dağılarak birbirlerine yakın yorulma ömürleri görülmüştür. Yorulma ömrünün en yüksek olduğu 45 derece açığa sahip v çentikli numunede çentiğin gerilmeyi uç kısımda toplaması ve gerilmenin o noktada yığılma oluşturması neticesinde çevirim sayısı arttığı görülmüştür.



**Şekil 3.40** Tek tarafta çeşitli açılarda v çentiği olan yamalı numunelerin yorulma ömürlerine ait grafik

Şekil 3.40'ta tek tarafında v çentikli çeşitli açılarda bulunan alüminyum materyaline çift etkili birleşim uygulanarak kompozit yama ile yamalanması sonucu yorulma ömrüne ait değerlerin grafiği görülmektedir. En yüksek yorulma ömrüne sahip 30 derece v çentikli numune olup diğer değerlere göre hayli yüksektir. 45 ve 60 derecedeki v çentikli numuneler ise ortalama olarak ömür değerleri birbirlerine yakındır. Çentiğin açısının artması ile gerilme yığılmasından dolayı ömür azalmaktadır.

Şekil 3.40 ve 3.38'e göre yamalı ve yamasız numuneler kıyaslandığı zaman yamalı numunelerin ömürleri yamasız numunelere oranla hayli yüksektir. Ayrıca 45 derece açıda yamasız numunede ömür yüksek iken yamalı ve 30 derece v çentikli numunede ömür yüksek olduğu görülmektedir. Yamalı numunelerde kompozit yamanın ömre etkisi bir hayli yüksek olduğu grafiklerden de görülmektedir.



**Şekil 3.41** Çift tarafta çeşitli açılarda v çentiği olan yamalı numunelerin yorulma ömürlerine ait grafik

Şekil 3.41’de her iki tarafında v çentikli çeşitli açılarda bulunan alüminyum materyaline çift etkili birleşim uygulanarak kompozit yama ile yamalanması sonucu yorulma ömrüne ait değerlerin grafiği görülmektedir. Burada yorulma değeri çift tarafta aynı çentik olduğu için malzemenin simetrik olmasından ötürü açının atması ile yorulma ömründe azalma görülmektedir. Çentiğin açısı arttıkça gerilme yığılmasından ötürü çevirim sayısı azalmıştır. Fakat yamalı numunelerde yamanın çentiği iki tarafından örtmesi sebebiyle çevirim sayıları birbirlerine yakın olmaktadır.

Şekil 3.41 ve 3.39’e göre yamalı ve yamasız numuneler kıyaslandığı zaman yamalı numunelerin ömürleri yamasız numunelere oranla hayli yüksektir. Ayrıca 45 derece açıda yamasız numunede ömür yüksek iken yamalı numunelerde açının azalmasıyla yorulma ömründe artış gözlemlenmiştir.

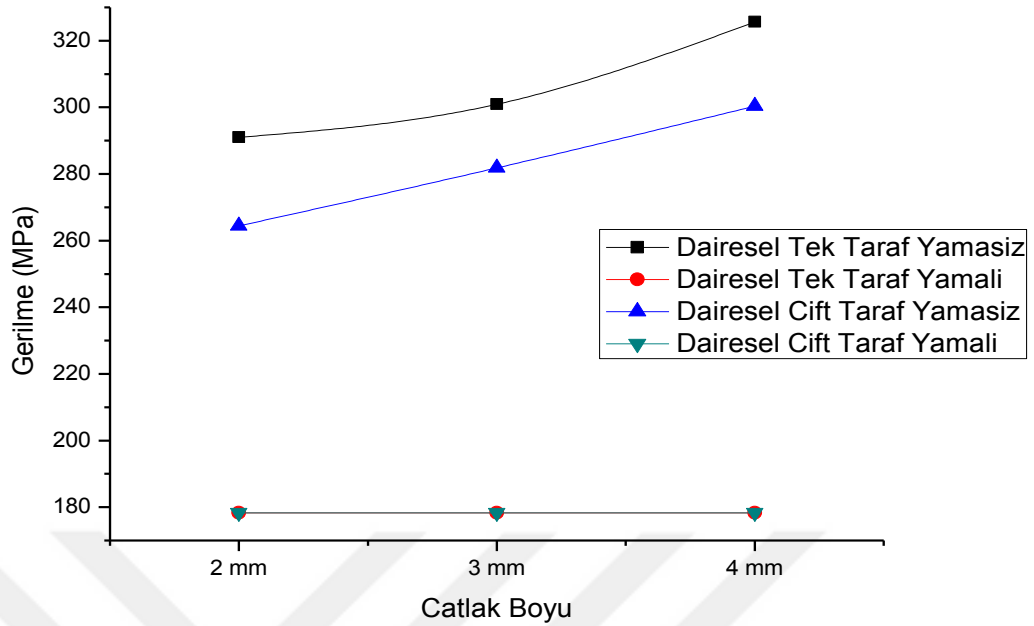
Şekil 3.41 ve 3.40’a göre tek ve çift tarafında v çentik bulunan numunelere göre yorulma ömrü en yüksek olan tek taraflı 30 derece v çentikli numunede olmuştur. Genel itibarı ile ömür değerleri birbirlerine çok yakındır. Gerilmenin çentik üzerindeki etkisi ve kompozitin dayanıklılığı ile en yüksek yorulma ömrü tek taraflı 30 derece v çentikli numunede görülmektedir.

### 3.3.2.1. Gerilme ve Deformasyon Açısından Değerlendirme Sonuçları

**Tablo 3.8** Tek ve çift tarafında dairesel çentikli ve çeşitli çatlak boyutlarına sahip yamalı ve yamasız numunelerin maksimum gerilme sonuçları

Çatlaklı Daire	Gerilme (MPa) (Von-Mises)			
	Tek Taraflı		Çift Taraflı	
	Yamasız	Yamalı	Yamasız	Yamalı
2 mm	291,09	178,3	264,43	178,32
3 mm	300,94	178,31	281,85	178,34
4 mm	325,65	178,31	300,39	178,34

Tablo 3.8’de görüldüğü gibi en düşük gerilme değerleri kompozit yamalı numunelerde görülmektedir. Tek tarafında çentik ve çatlak bulunan numuneler ile çift tarafında çentik ve çatlak bulunan numuneler kıyas edildiği vakit gerilme değerleri birbirlerine çok yakın olup kompozit yamanın gerilmeye etkisinin hayli yüksek olduğu görülmektedir. Tek tarafında dairesel çentiği ve çatlağı bulunan numunelerde gerilme maksimum gerilme değerleri çift taraflılara göre daha yüksektir. Dairesel çentik ve çatlağın numunede simetrik oluşu sayesinde gerilme değeri bir miktar azalmaktadır.



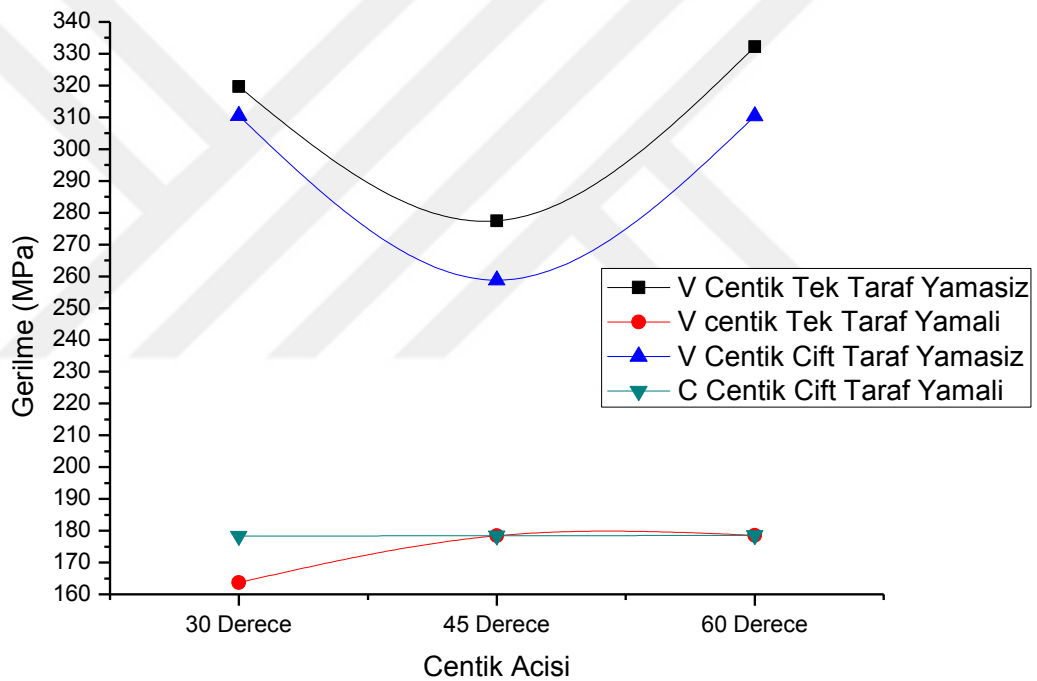
**Şekil 3.42** Tek ve çift tarafında dairesel çentikli ve çeşitli çatlak boyutlarına sahip yamalı ve yamasız numunelerin maksimum gerilme grafiği

Şekil 3.42’de verilen tek ve çift tarafında dairesel çentiği ve çeşitli çatlak boyutları bulunan yamalı ve yamasız numunelerin maksimum gerilme analizlerinden elde edilen analiz sonuçlarına ait grafik verilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi yamalı numunelerde gerilme daha az iken yamasız numunelerde gerilmeler daha yüksektir. Kompozit yama ile yamalanmış numunelerde gerilmelerin bir kısmı kompozit ve yapıştırıcı numune üzerine dağıldığından ötürü yamalı numunelerde gerilmeler daha azdır.

**Tablo 3.9** Tek ve çift tarafında v çentik bulunan yamalı ve yamasız numunelerin maksimum gerilme sonuçları

V Çentik	Gerilme (MPa) (Von-Mises)			
	Tek Taraflı		Çift Taraflı	
	Yamasız	Yamalı	Yamasız	Yamalı
<b>30 Derece</b>	319,71	163,67	310,53	178,31
<b>45 Derece</b>	277,41	178,38	258,8	178,41
<b>60 Derece</b>	332,24	178,54	310,43	178,57

Tablo 3.9’da görüldüğü gibi yamalı numunelerde maksimum gerilme değerleri yamasız numunelere göre daha düşüktür. Kompozit yamanın gerilme konusunda faydası gerilme değerlerinden de görülmektedir. Yamasız numunelerde 45 derece v çentikli numunelerde gerilme değerleri 30 ve 60 derecelerdeki numunelere göre daha düşük çıktığı görülmektedir. V çentikli yamalarda 45 derece açının olması, gerilme değerleri açısından kritik bir değer olduğu görülmekte ve fayda sağlamaktadır. Yamasız numunelerde çentiğin simetrik olması, gerilme açısından fayda sağlamaktadır. Yamalı numunelerde ise kompozit yamanın alüminyum plakada daha az çentik açılmasına göre daha düşük gerilme değerleri sağladığı görülmektedir.



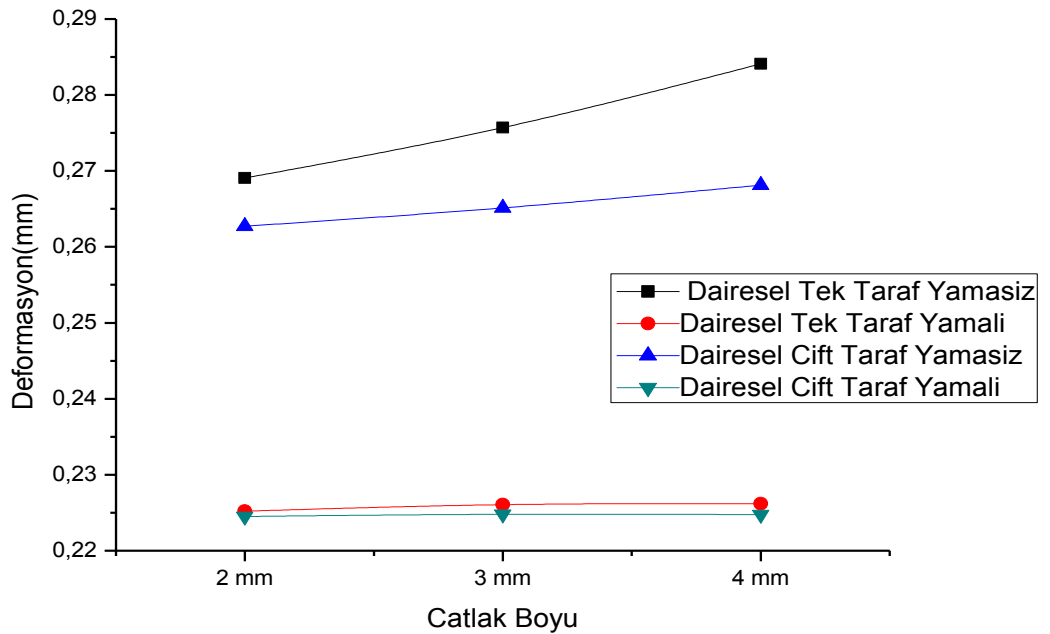
**Şekil 3.43** Tek ve çift tarafında v çentik bulunan yamalı ve yamasız numunelerin maksimum gerilme grafiği

Şekil 3.43’de verilen tek ve çift tarafında v çentiği bulunan yamalı ve yamasız numunelerin maksimum gerilme analizlerinden elde edilen analiz sonuçlarına ait grafik verilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi yamalı numunelerde gerilme daha az iken yamasız numunelerde gerilmeler daha yüksektir. Kompozit yama ile yamalanmış numunelerde gerilmelerin kompozit ve yapıstırıcı numune üzerine dağıldığından ötürü yamalı numunelerde gerilmeler daha azdır.

**Tablo 3.10** Tek ve çift tarafında dairesel çentikli ve çeşitli çatlak boyutlarına sahip yamalı ve yamasız numunelerin maksimum deformasyon sonuçları

Çatlaklı Daire	Deformasyon (mm)			
	Tek Taraflı		Çift Taraflı	
	Yamasız	Yamalı	Yamasız	Yamalı
2 mm	0,26905	0,22522	0,26274	0,22451
3 mm	0,27571	0,22607	0,26513	0,22479
4 mm	0,28411	0,2262	0,26811	0,22475

Tablo 3.10'da görüldüğü gibi yamalı numunelerdeki deformasyon değerleri yamasızlara göre daha düşüktür. Deformasyondan da anlaşılacağı üzere kompozit yamanın deformasyona olumlu etkisi görüldüğü gibidir. Yamasız numuneler üzerinde çatlak boyutunun artması ile doğru orantılı olarak deformasyon artmaktadır. Yamalı numunelerde tek taraflı çentik ve çatlaka sahip numunelerde çatlak arttıkça deformasyon artmaktadır. Simetrik olarak her iki tarafında da çentik ve çatlak bulunan numunelerin tek taraflı olanlara göre deformasyonu değerleri daha düşük olduğu görülmektedir.



**Şekil 3.44** Tek ve çift tarafında dairesel çentikli ve çeşitli çatlak boyutlarına sahip yamalı ve yamasız numunelerin maksimum deformasyon grafiği

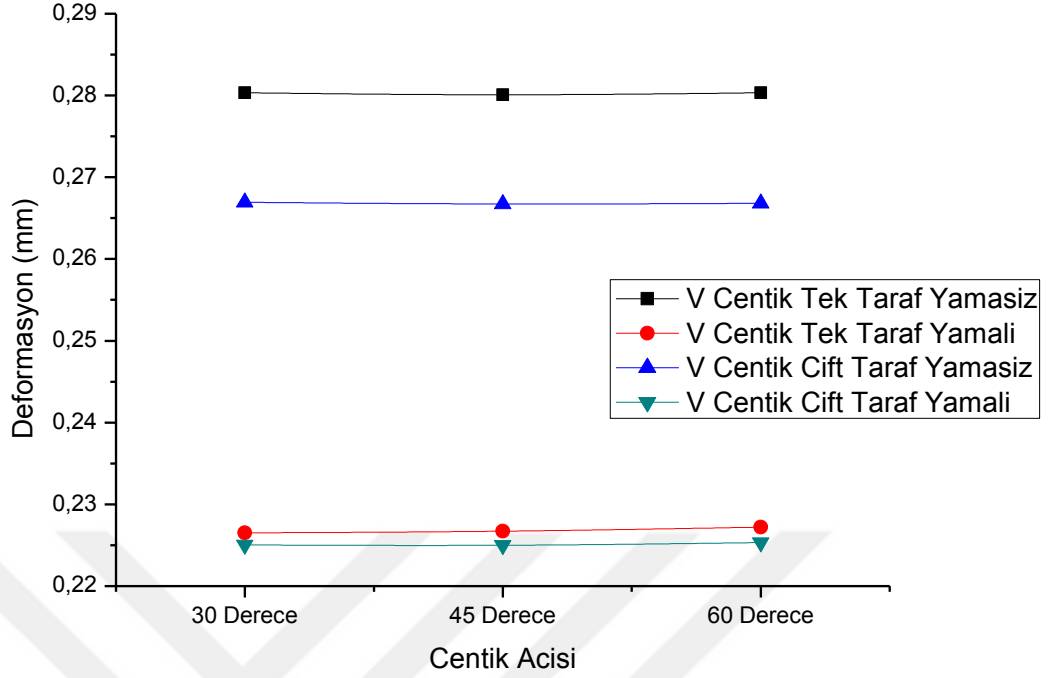


Şekil 3.44’de verilen tek ve çift tarafında dairesel çentiği ve çeşitli çatlak boyutları bulunan yamalı ve yamasız numunelerin deformasyon analizlerinden elde edilen analiz sonuçlarına ait grafik verilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi yamalı numunelerde deformasyon daha az iken yamasız numunelerde deformasyon daha yüksektir. Kompozit yama ile yamalanmış numunelerde gerilmelerin kompozit ve yapıştırıcı numune üzerine dağıldığından ötürü yamalı numunelerde deformasyon daha azdır.

**Tablo 3.11** Tek ve çift tarafında v çentikli ve çeşitli çatlak boyutlarına sahip yamalı ve yamasız numunelerin maksimum deformasyon sonuçları

V Çentik	Deformasyon (mm)			
	Tek Taraflı		Çift Taraflı	
	Yamasız	Yamalı	Yamasız	Yamalı
<b>30 Derece</b>	0,28034	0,2265	0,26692	0,22505
<b>45 Derece</b>	0,28008	0,22672	0,26674	0,22499
<b>60 Derece</b>	0,28032	0,2272	0,26683	0,22532

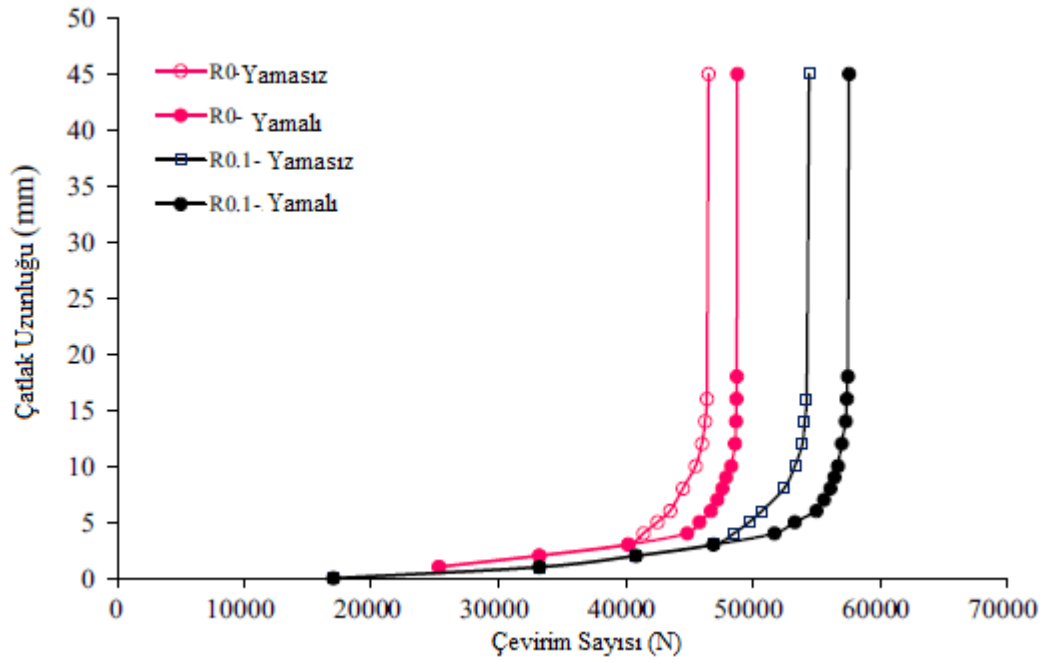
Tablo 3.11’de görüldüğü gibi yamasız numunelerde deformasyon değerleri yamalı numunelere göre daha yüksektir. Burada kompozit yamanın olumlu etkisi açıkça görülmektedir. Yamasız numunelerde simetrik çentiklerin (çift taraflı) deformasyon üzerinde olumlu etkisi görülmektedir.



Şekil 3.45 Tek ve çift tarafında dairesel çentikli ve çeşitli çatlak boyutlarına sahip yamalı ve yamasız numunelerin maksimum deformasyon grafiği

Şekil 3.45'te verilen tek ve çift tarafında v çentiği bulunan yamalı ve yamasız numunelerin deformasyon analizlerinden elde edilen analiz sonuçlarına ait grafik verilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi yamalı numunelerde deformasyon daha az iken yamasız numunelerde deformasyon daha yüksektir. Kompozit yama ile yamalanmış numunelerde gerilmelerin kompozit ve yapıştırıcı numune üzerine dağıldığından ötürü yamalı numunelerde deformasyon daha azdır.

Yaptığım çalışmadaki analizler, grafikler ve tablolar sonucunda ulaşılan veriler ile literatürde bulunan veriler kıyas edildiği vakit elde edilen sonuçları doğrular niteliktedir. Örnek olarak yapılan Albedah A. ve arkadaşlarının çalışmasında yamasız numunelerin yamalı numunelere göre yorulma ömrünün daha düşük olduğu görülmüştür. Örnek olan tezde farklı bir alüminyum türü kullanılmış ve deneysel çalışma yapılmıştır. Sonuçlar değerlendirildiği deneysel veriler ile yapılan analizler birbirlerini doğrular niteliktedir. Şekil 3.46' da elde görülen yamalı ve yamasız numunelerin sonuçları şekil 3.46 ile aynı doğrultudadır.



Şekil 3.46 Al 2024 – T3 ‘ün yamalı ve yamasız yorulma ömür grafiği [29]

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışmamızda Al 5083 türü alüminyum plaka üzerinde çeşitli geometrilere çentikler açılmış ve analizleri yapılmıştır. Daha sonra çift tarafında kompozit yama olacak şekilde yama uygulanmış ve yama malzemesi Dp460 yapıştırıcı ile yapıştırılmıştır. Dairesel çentiğe sahip numunelerde yarım daire şeklindeki çentikler sabit olup parçanın tek ve çift tarafında değişken uygulama yapılmıştır. Değişken olarak ise 2, 3 ve 4 mm' lik çatlaklar oluşturularak yorulma ömrü incelenmiştir. V çentikli numunelerde ise çentiğin v açısı 30, 45 ve 60 derecelerde değişken olup tek ve çift tarafında ayrı ayrı çentikler açılarak yorulma ömrü incelenmiştir. Çalışmamızda solidworks 2013 paket programı kullanılarak numuneler modellenmiştir. Ansys Workbench versiyon 15 kullanılarak maksimum deformasyon değerleri, gerilme analizleri ve yorulma ömürleri incelenmiştir.

Ansys programı ile yapılan yorulma analiz sonuçları numunelerin tek ve çift taraflı, dairesele çentikli ve çeşitli çatlak uzunluklarına sahip olan ayrıca yamalı ve yamasız olarak değerlendirilmesi kendi aralarında ve genel anlamda oluşan farklılıkları gözlemlemek için uygun bir yöntemdir.

Tek taraflı dairesele çentik ve çeşitli çatlak uzunluklarına sahip yamalı numunelerde görüldüğü üzere 2, 3 ve 4 mm' lik çatlaklara sahip numunelerde birbirine yakın yorulma ömürleri olduğu gözlemlenmiştir. Burada asıl etkenin kompozit yama olduğu ve ömür açısından olumlu etkileri görülmüştür. Çatlak boyutları ise arttığı oranda ömürde çok düşük miktarda azalmalar görülmüştür.

Çift taraflı dairesele çentik ve çeşitli çatlak uzunluklarına sahip yamalı numunelerde görüldüğü üzere 2, 3 ve 4 mm' lik çatlak boyutlarına sahip numunelerde birbirlerine çok yakın yorulma ömrü olduğu görülmektedir. Kompozit yamanın yorulma ömrü açısından olumlu etkileri görülmektedir. Çatlağın boyunun artması ile orantılı olarak yorulma ömrü azalmaktadır fakat bu azalma çok düşük değere sahip olduğu görülmektedir.

Tek taraflı dairesele çentik ve çeşitli çatlak uzunluklarına sahip yamasız numunelerde görüldüğü gibi çatlak boyunun artması yorulma ömrünü ciddi bir şekilde

azaltmaktadır. Yapılan analiz neticesinde asıl deformasyon çatlak olduğu bölgede görülmüştür.

Çift taraflı dairesel çentik ve çeşitli çatlak uzunluklarına sahip yamasız numunelerde görüldüğü gibi çatlak boyunun artması yorulma ömrünü ciddi bir şekilde azaltmaktadır. Yapılan analiz neticesinde asıl deformasyon çatlak olduğu bölgede görülmüştür.

Dairesel çentikli numuneler, yamalı olanların ömrü yamasızlara oranla hayli yüksek olduğu görülmüştür.

Ansys programı ile yapılan yorulma analiz sonuçları numunelerin tek ve çift taraflı, V çentikli numunelerin yamalı ve yamasız olarak değerlendirilmesi kendi aralarında ve genel anlamda oluşan farklılıkları gözlemlemek adına daha iyi bilgiler verecektir.

Tek taraflı v çentikli yamalı numunelerde çentiğin açısı azaldıkça yorulma ömründe artış gözlemlenmiştir. En yüksek yorulma ömrüne sahip 30 derece v çentikli numunede görülmektedir. Burada kompozit yamanın yorulma ömrüne etkisi hayli yüksek olduğu görülmektedir.

Çift taraflı v çentikli yamalı numunelerde çentiğin açısı azaldıkça yorulma ömründe artış gözlemlenmiştir. Yapılan analiz neticesinde çift taraflı v çentikli numunelerde ömrün açı ile çok fazla değişmediği görülmektedir. Burada kompozit yamanın yorulma ömrüne etkisi hayli yüksek olduğu görülmektedir.

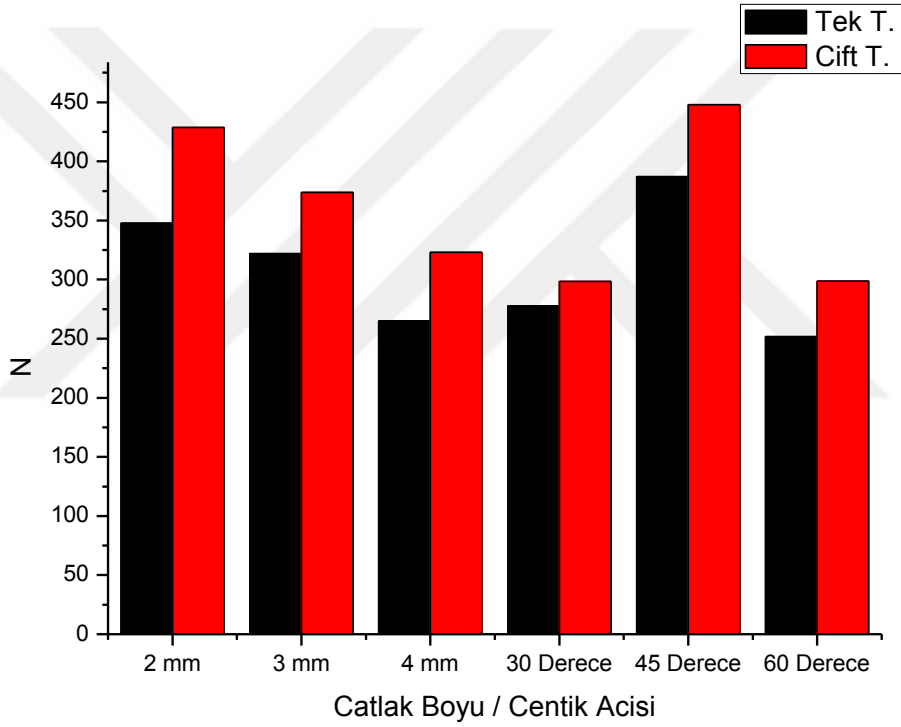
Tek taraflı v çentikli yamasız numunelerde 45 derece v çentik açısına sahip numunelerde yorulma ömrü kendi aralarında en yüksek seviyede olup ardından 30 ve son olarak 60 derece izlemektedir. Burada 45 derece v çentik açısı kritik bir değer olup bu açıda alüminyum numunelerde yorulma ömründe artış görülmektedir.

Çift taraflı v çentikli yamasız numunelerde 45 derece v çentik açısına sahip numunelerde yorulma ömrü kendi aralarında en yüksek seviyede olup ardından 60 ve son olarak 30 derece izlemektedir. Burada 45 derece v çentik açısı kritik bir değer olup

bu açıda alüminyum numunelerde yorulma ömründe artış görülmektedir. Ayrıca tek taraflı numunelere göre kıyas edildiği vakit yorulma ömründe oluşan farklılık simetrik oluşundan gerilmenin eşit dağılmasıyla olumlu etkisi açıklanabilir.

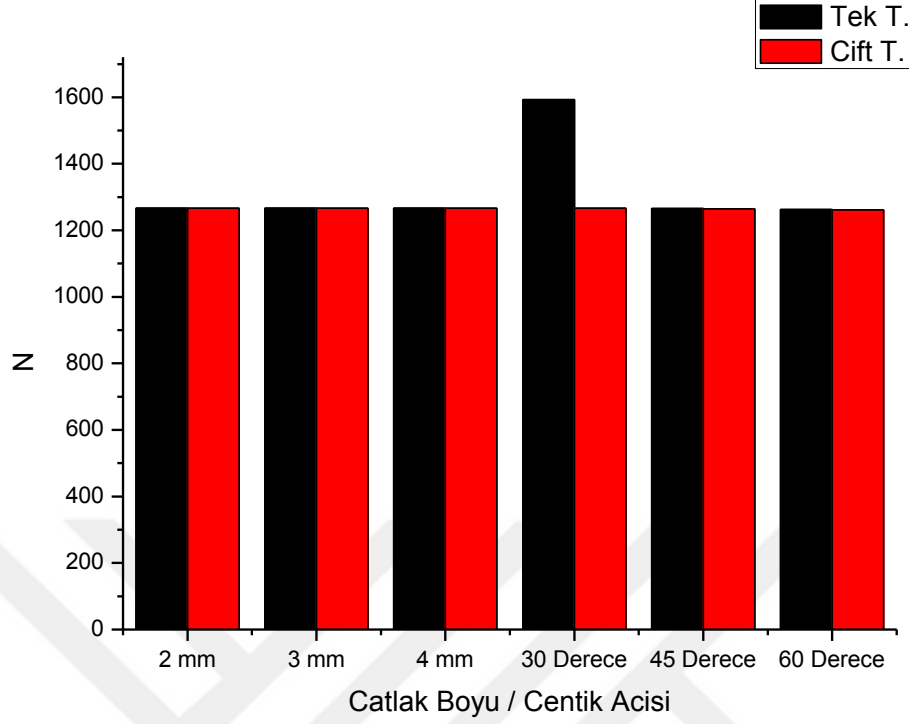
V çentikli numunelerin yamalı olanların ömrü yamasızlara göre bariz bir şekilde yüksektir.

## ÖNERİLER



**Şekil 3.46** V çentiği ve dairesel sahip yamasız numunelerin yorulma açısından kıyaslama grafiği

Şekil 3.46’te görüldüğü gibi yamasız numuneler açılan çentiğin geometrisine ve tek taraflı ve çift taraflı çatlağa sahip olup olmamasına bağlı olarak elde edilmiş olan yorulma ömürlerinin kıyas edildiği grafik görülmektedir. Yorulma ömrü en yüksek olan numune her iki tarafında v çentik bulunan ve açısı 45 derece olan numunedir. 45 derecede v çentikli numuneler malzemenin ömrü ve maliyet açısından fayda sağlayacaktır. En düşük yorulma ömrüne sahip olan numune ise 60 derece v çentikli numune olup, eğer bir tercih yapmak gerekirse yamasız olarak alüminyum parça üzerinde 60 derece v çentikten kaçınılmalıdır.



**Şekil 3.47** V çentiğe ve dairesel çentiğe sahip yamalı numunelerin yorulma açısından kıyaslama grafiği

Şekil 3.47’de görüldüğü üzere kompozit yama uygulanmış numunelerde yorulma ömrü açısından genel olarak birbirine çok yakın sonuçlar görülmüştür. İstisna olarak 30 derece v çentikli tek taraflı numunede parçadan çok fazla alan boşaltılmadığından burada daha yüksek yorulma ömrü görülmüştür. 30 derece v çentiğe sahip numunelerde ömür açısından daha yüksek bir değer elde edildiğinden ötürü bu çentiğe sahip numuneler yamalı olarak seçilmesi daha avantajlı olacaktır.

Şekil 3.46 ve 3.47’de görüldüğü üzere alüminyum parçaya kompozit yama uygulamak zaman ve maliyet açısından olumlu sonuçlar elde edileceği yapılan analizler neticesinde sabittir.

## KAYNAKLAR

- [1]. Canbolat C. (2018). 2024 AL Levhalarda Cam – Elyaf Kompozit Yama ile Tamiri (Yüksek Lisans Tezi), Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi
- [2]. Erdoğan M., (2005), Çelik Takviyeli Alüminyum Kompozit Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin Deneysel İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi), Dumlupınar Üniversitesi
- [3]. Eskizeybek V. (2006), Paslanmaz Çelik Elyaf Takviyeli Alüminyum Kompozitlerde Yorulma Çatlak İlerlemesi (Yüksek Lisans Tezi), Selçuk Üniversitesi
- [4]. Canbolat C. (2007), Etial-141, 145 ve 160 Tipi Döküm Alüminyum ile Plaka Tipi Alüminyum Malzemeler İçin Yorulma Makinası Tasarımı ve Eğilmeli Yorulma Davranışlarının İncelenmesi (Doktora Tezi), Celal Bayar Üniversitesi
- [5]. Kiral G. B. (2010), Effect of the clearance and interference-fit on failure of the pin-loaded composites, Materials and Design, vol 31, 85-93
- [6]. Saylık A. (2016), Kompozit Yama ile Tamir Edilmiş Çentikli Alüminyum Levhalarda Gerilme Analizi (Yüksek Lisans Tezi), Fırat Üniversitesi
- [7]. Asi D. (2018), Polimer Matrisli Kompozit Malzemelerde İlave Olarak Kullanılan Parçacıkların Geometrisinin Kompozit Malzemelerin Fiziksel ve Mekaniksel Özelliklerine Etkisinin Araştırılması (Doktora Tezi), Uşak Üniversitesi
- [8]. Sönmez M. (2009), Polimer Matrisli Kompozitlerin Endüstri Ürünleri Tasarımında Önemi ve Geleceği: Türkiye’den Dört Örnek Firma Üzerine Bir İnceleme (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi
- [9]. Deniz M. E. (2005), Kompozit malzemelerin üretim yöntemleri ve Isıl İşleme Presleme Tekniğini kullanarak Kompozit Malzeme Üretecek Bir düzeneğin Tasarım ve İmalatı (Yüksek Lisans Tezi), Harran Üniversitesi
- [10]. Kandemir Ö. (2017), Kompozit Kaplamalı Dış Cephe Sistemlerinin Üretimi ve Uygulamasında Dikkat Edilmesi Gerekenlerin İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi), Haliç Üniversitesi
- [11]. Göksu B. (2018), Yeni Nesil Sünek Dökme Demir Malzemenin Basamaklı Polimerizasyon Yöntemi ile Hazırlanan Epoksi Reçinelerle Korozyona Karşı Korunması (Yüksek Lisans Tezi), Hacettepe Üniversitesi
- [12]. Tok H. (2018), Farklı Oranlarda Polyester Reçine/Mermer Tozu Karışımıyla Elde Edilen Kompozit Malzemenin Jeomekanik Özelliklerinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi), Mersin Üniversitesi
- [13]. Doğan K. (2018), Karbon Nano Tüp Ve Grafen Nano Partikül Katkılı Fenolik Reçine Matrisli Nanokompozitlerin Üretimi (Yüksek Lisans Tezi), Necmettin Erbakan Üniversitesi



- [14]. Soy U. (2005), Bilgisayar Destekli Modelleme Yardımıyla Al 2024-T3 Alaşımın Plakanın Kompozit Yama ile Yapıştırılmalı Tamiri (Yüksek Lisans Tezi), Sakarya Üniversitesi
- [15]. Saraç İ. (2018), Tek Tesirli Yapıştırma Bağlantılarında Epoksi Yapıştırıcı İçerisinde Nanopartikül Kullanılmasının Bağlantının Statik ve Yorulma Mukavemetine Etkisinin Araştırılması (Doktora Tezi), Batman Üniversitesi
- [16]. Ahlatlı O. (2018), Eliptik Hasarlı Kompozit Levhaların Tamirinde Yama Boyutları ve Yama Tabaka Sayısının Eğilme Gerilme Davranışlarına Etkisinin Deneysel ve Nümerik Olarak Araştırılması (Yüksek Lisans Tezi), Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi
- [17]. Ramazanoğlu M. (2018), Eliptik Hasarlı Kompozit Levhaların Tamirinde Yama Boyutları ve Yama Tabaka Sayısının Çekme Gerilme Davranışlarına Etkisinin Deneysel ve Sayısal Olarak Araştırılması (Yüksek Lisans Tezi), Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi
- [18]. Adin H. (2007), Yapıştırıcı ile Birleştirilmiş Ters Z Tipi Kompozit Malzeme Bağlantılarının Mekanik Analizi (Doktora Tezi), Fırat Üniversitesi
- [19]. Parlamiş A. (2016), Hasara Uğramış Pim Bağlantılı Kompozitlerin Yama ile Tamir Performansının Araştırılması (Yüksek Lisans Tezi), Fırat Üniversitesi
- [20]. Ergün R. K. (2014), Eliptik Delikli Alüminyum Levhaların Kompozit Yama ile Tamir Edilmesinin Gerilme Davranışına Etkisinin Deneysel ve Sayısal Araştırılması (Yüksek Lisans Tezi), Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi
- [21]. Karaman Y. (2017), Kompozit Yama ile Yapıştırılarak Yamanmış Eliptik Delikli Alüminyum Plakaların Eğme Davranışına Etkisinin Sayısal İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi), Batman Üniversitesi
- [22]. SolidWorks Material Library
- [23]. Aydın M.D., Akpınar S., Özel A., Erdoğan S., (2015) Kayma Yüküne Maruz Yapıştırma Bağlantılarından Yapısal Yapıştırıcıların Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi, Mühendis ve Makine, Cilt 56, Sayı 668, s. 48-55.
- [24]. Qian Z., Huang H. (2019). Coupling Fatigue Cohesive Zone And Magnetomechanical Model For Crack Detection In Coating Interface, NDT and E International, Vol. 105, 25 – 34.
- [25]. Roth S., Kuna M. (2017). Prediction Of Size Dependent Fatigue Failure Modes By Means Of Cyclic Cohesive Zone Model, International Journal Of Fatigue, Vol. 100, 58 – 67.
- [26]. Salih S., Davey K., Zou Z. (2018). Frequency Dependent Cohesive Zone Model For Fatigue, International Journal Of Solids And Structures, Vol 152, 228 – 237.

- [27]. Ghovanlou M.K., Jahed H., Khajepour Amir. (2014). Cohesive Zone Modeling Of Fatigue Crack Growth In Brazed Joints, *Engineering Fracture Mechanics*, Vol. 120, 43 – 59.
- [28]. Hammood A.S., Al-Waily M., Kamaz A. (2011). Effect Of Fiber Orientation On Fatigue Of Glass – Fiber Reinforcement Epoxy Composite Material, *The Iraqi Journal For Mechanical And Material Engineering*, Vol. 11, No. 2, 344 – 358.
- [29]. Albedah A., Sohail M.A., Benyahia F., Bouiadjra B. (2016). Effect Of Load Amlitude Change On The Fatigue Life Of Cracked Al Plate Repaired With Composite Patch, *International Journal Of Fatigue*, Vol 88, 1-9



## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Zeyni SAĞLAM  
**Uyruğu** : T.C.  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Mardin/Midyat – 02.12.1990  
**Telefon** : 0543 780 22 00  
**e-mail** : [zeynisaglam47@gmail.com](mailto:zeynisaglam47@gmail.com) – [zeyni\\_sa@hotmail.com](mailto:zeyni_sa@hotmail.com)

### EĞİTİM

<b>Derece</b>	<b>Adı, İlçe, İl</b>	<b>Bitirme Yılı</b>
Lise	: Midyat Aziz Önen Lisesi	2009
Üniversite	: Harran Üniversitesi	2014

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
06/2012-08/2012	İskenderun Demirçelik Fab.	Stajyer Mühendis
06/2013-08/2013	Mardin Çimento Fab.	Stajyer Mühendis
2014-2014	Ekip Araç Üstü Ekipman	Makine Mühendisi
10/2014-06/2019	Nuhoğlu Marsan Mardin Kireç Fab.	Makine Mühendisi-İşletme Müdürü

### UZMANLIK ALANI

Mühendislik

### YABANCI DİLLER

	Konuşma	Yazma
Arapça	İyi	Orta seviye
İngilizce	orta seviye	iyi

### BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

### YAYINLAR

IETS 2018 – 1. International Engineering and Technology Symposium / Batman University “Yaprak Yayların Nümerik Metotlar Yardımıyla Hasar Analizi”, 2018

**ANSYS WORKBENCH VERSİYON 15 PROGRAMINDA YORULMA ANALİZİ  
AKIŞ ŞEMASI**

