YAMALI VE YAMASIZ ALÜMİNYUM BORULARIN YORULMA DAVRANIŞININ NÜMERİK OLARAK İNCELENMESİ

Bilal YILDIZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Yamalı ve Yamasız Alüminyum Boruların Yorulma Davranışının Nümerik Olarak İncelenmesi

Bilal Yıldız

YÜKSEK LİSANS

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

AĞUSTOS – 2019
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Bilal Yıldız tarafından hazırlanan "Yamalı ve Yamasız Alüminyum Boruların Yorulma Davranışının Deneysel ve Nümerik olarak İncelenmesi" adlı tez çalışması 23/01/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	**İmza**
Başkan / Danışman Doç. Dr. Hamit ADİN	
Üye Doç. Dr. Mehmet Emin DENİZ	.....
Üye Dr. Öğr. Üyesi İsmail SARAÇ	.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Şahnaz TİĞREK
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.

Bilal Yıldız

Tarih: 23 / 08 / 2019

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

YAMALI VE YAMASIZ ALÜMİNYUM BORULARIN YORULMA DAVRANIŞININ NÜMERİK OLARAK İNCELENMESİ

Bilal Yıldız

Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Hamit ADİN

2019, Sayfa 89

Jüri
Doç. Dr. Hamit ADİN
Doç. Dr. Mehmet Emin DENİZ
Dr. Öğr. Üyesi İsmail SARAÇ

Bu çalışmada, yamalı ve yamasız alüminyum boruların yorulma davranışının nümerik olarak incelenmesi yapılmış olup elde edilen bulgular derlenerek tez haline getirilmiştir. Hazırlanmış olan bu tez genel olarak dört ana başlık altında toplanmış olup, ilk bölümde kompozitler hakkında genel bilgiler ve sayısal hesap yöntemleri verilmiştir. Yama malzemesi olarak cam – epoksi tabakalı kompozit materyal belirlenmiştir.

Birinci bölümün devamında ise alüminyum materyali ve yapıştırma bağlantıları üzerine bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde ise yapıştırma bağlantıları ve yamalar üzerine yapılan literatüre ait bilgiler verilmiştir.

Üçüncü bölüm çalışmanın en önemli bölümünü oluşturmaktadır. Bu bölümde Ansys Workbench 15 kullanılarak yapılan yorulma analizlerine ve sonuçlarına yer verilmiştir. Yapılan analizlerde çeşitli çatlak uzunluklarına sahip Al 6063 boru formunda ki materyalin çatlak bölgelerine cam – epoksi kompozit yamaların uygulanması sonrasında çeki – bası ve burulma yorulmaları nümerik olarak gerçekleştirilmiştir.. Nümerik çalışma sonucunda elde edilen veriler çeşitli grafikler ve tablolar ile verilmiştir. Dördüncü ve son bölümde ise tez parametreleri çerçevesinde yapılan tüm analizler değerlendirilmiş olup sonuçların özüne değinilerek, bu bölümde sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum, Kompozit, Yama, Yorulma, Ansys

ABSTRACT

MASTER OF SCIENCE

EXPERIMENTAL AND NUMERICAL INVESTIGATION OF FATIGUE BEHAVIOR OF PATTERNED AND TRIPLE ALUMINUM PIPES

Bilal Yıldız

The Graduate School Of Natural and Applıed Scıence of Batman Unıversıty

The Degree Of Master Of Scıence In Mechanıcal Engıneerıng

Advisor: Associate Professorship Hamit ADİN

2019, 89 Pages

Jury
Associate Professorship Hamit ADİN
Associate Professorship Mehmet Emin DENİZ
Assistant Professor İsmail SARAÇ

In this study, the fatigue behavior of patched and non-patched aluminum pipes was investigated numerically and the findings were compiled into a thesis. This thesis has been gathered under four main headings. In the first part, general information about composites and numerical calculation methods are given. Glass - epoxy laminated composite material was determined as patch material.

In the first part, information on aluminum material and bonding connections are given. In the second part, the literature on adhesive and patches informations are given.

The third part is the most important part of the study. In this section, fatigue analysis using Ansys Workbench 15 and results are given. In the analysis, tensile and torsional fatigue was applied numerically after applying glass - epoxy composite patches to the cracked areas of Al 6063 tubular material having various crack lengths. The data obtained as a result of numerical study are given with various graphs and tables. In the fourth and last chapter, all analyzes performed within the framework of the thesis parameters have been evaluated and the conclusions of the results are presented in this section.

KeyWords: Aluminum, Composite, Patch, Fatigue, Ansys

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında her türlü desteği sağlayan eşim Nevra Oral Yıldız' a teşekkür ederim.

Tezimi, Eşime ve Aileme Armağan Ediyorum.

Bilal Yıldız

BATMAN – 2019

ÖNSÖZ

Tarih boyunca topluluklar çeşitli amaçlar için farklı türde malzemeleri yapıştırma gereksinimi duymuşlardır. Bu amaç doğrultusunda yapılan ilk çalışmalar için ilk çağlara kadar gitmek gerekmektedir. Kilden yapılmış kapların tamiri için ağaç reçinesinin kullanılması, Roma döneminde ise hayvansal yapıştırıcılar kullanılması gibi, ancak zaman içerisinde yapıştırma için kullanılan materyallerden çok onların uygulanış şekilleri daha çok önem kazanmıştır. Bu yöntemlerin sonucunda ve yapılan çeşitli arkeolojik çalışmaların ışığında Romalıların ve Yunanlıların bu yöntemler konusunda ilerlediği anlaşılmaktadır. Ancak genel anlamda milattan önceki dönemlerden itibaren gelişen yapıştırıcı materyaller ve yapıştırma teknikleri konusunda 16. Yüzyıla kadar büyük bir değişim ve gelişim yaşanmamıştır.

16. yüzyıldan sonra yaşanan gelişmeler sonucunda, günümüzde hemen her türlü materyalin birbiri ile yapıştırılması için bir yapıştırıcı çeşidi mevcuttur. Yaşamın tamamen bir döngüden ibaret olduğu konusunda hemen her insan hem fikirdir. İnsanlar ilk çağlardan beri günümüzde geri dönüşüm olarak isimlendirilen olguyu içsel bir durum ile yaşamlarına uygulamışlardır. Geçmişin materyal olanaklarının kısıtlı olmasından kaynaklı elde bulunan materyaller her daim uzun kullanım amacı ile gerektiği zaman onarılmışlardır. Günümüze gelindiği zaman ise onarımın temel amacı hala aynı olmasına karşılık bir fark bulunmaktadır, bu fark ise ekonomidir. Hasarlı bir materyalin onarılması sonucu elde edilecek maddi kazanç önemlidir.

Tüm bunlar düşünülerek belirlenmiş olan " Yamalı ve Yamasız Alüminyum Boruların Yorulma Davranışının Nümerik Olarak İncelenmesi" tez konusu, günümüzde sık kullanılan alüminyum materyalinin hasarlı durumda bir kompozit onarıcı malzeme ile onarılmasının mekanik olarak incelemesi hedeflenmektedir.

Bilal Yıldız

BATMAN – 2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **İV**

ABSTRACT ..... **V**

TEŞEKKÜR ..... **Vİ**

ÖNSÖZ ..... **Vİİ**

1. GİRİŞ **1**

1.1. KOMPOZİT MALZEMELER **1**

1.1.1. Kompozit Materyalinin Avantajları ve Dezavantajları **2**

1.1.2. Kompozit Materyalinin Yapısal Olarak Sınıflandırılması **5**

1.1.3. Kompozit Materyalinin Yapısal Şekillerine Göre Sınıflandırılması **5**

1.1.4. Kompozit Materyallerin Üretiminde Kullanılan Temel Bileşenler **6**

1.1.4.1. Matris Bileşenleri **6**

1.1.4.2. Reçine Bileşenleri **7**

1.1.4.3. Elyaf Yapılarının Çeşitleri ve Özellikleri **7**

1.1.5. Tabakalı Kompozit Materyaller **8**

1.1.6. Kompozit Materyalin Kullanım Alanları **9**

1.2. YAPIŞTIRMA BAĞLANTILARI **10**

1.2.1. Yapıştırma Bağlantılarının Mekanizmaları **10**

1.2.1.1. Adhezyon **10**

1.2.1.2. Kohezyon **10**

1.2.2. Yapıştırma Bağlantısına Etkiyen Kuvvetler **11**

1.2.3. Yapıştırıcı Materyallerin Türleri **11**

1.2.3.1. Kimyasal Olarak Gruplanan Yapıştırıcılar **11**

1.2.3.2. Fiziksel Olarak Gruplanan Yapıştırıcılar **14**

1.2.4. Yapıştırma Bağlantılarının Olumlu ve Olumsuz Durumları **15**

1.2.5. Yapıştırıcı Materyallerin Termal Özellikleri **16**

1.2.6. Yapıştırma Bağlantılarının Geometrileri **16**

1.3. ALÜMİNYUM MATERYALİ **18**

1.3.1. Alüminyum Materyalinin Genel Özellikleri **18**

1.3.2. Alüminyum Materyalinin Avantajları 19
1.3.3. Alüminyum Materyalinin Sınıflandırılması 20
1.3.4. Alüminyum Materyalinin Kullanım Alanları 21
1.4. KOMPOZİT MATERYALLER İLE YAMA ONARIMI 22
1.4.1. Kompozit Materyallerde Hasar Mekanizması 22
1.4.2. Onarım Çeşitleri 24
1.4.3. Onarımı Etkileyen Faktörler 25
1.4.3.1. Onarımda Yama Tasarımı 25
1.4.3.2 Onarımda Yama Bindirme Uzunluğu 28
1.4.3.3. Onarımda Yama Kalınlığı 28
1.4.4. Onarımda Yüzey Hazırlama İşlemi 29
1.4.5. Onarımda Yama Materyalinin Seçimi 29
1.4.6. Onarımda Yapıştırıcı Materyalinin Seçimi 30
1.4.7. Yama Yapılmış Bir Boruya Etki Eden Gerilmeler 30
1.5. YORULMA 32
1.5.1. Yorulmaya Etkiyen Faktörler 33
1.5.2. Gerilme Kuvveti – Çevrim Sayısı Eğrisi 34
1.5.3. Yapıştırma Bağlantısı ile Bağlanmış Materyallerde Yorulma 36
1.6. SONLU ELEMANLAR İLE NÜMERİK ANALİZ 37
1.6.1. Sonlu Elemanlar ile Nümerik Analizin Faydaları 38
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI 39
3. MATERYAL VE YÖNTEM 42
3.1. MATERYAL 42
3.1.1. Materyallere Ait Mekanik Özellikler 42
3.2. ANALİZ NUMUNELERİNİN DETAYLARI 43
3.3. NÜMERİK ÇALIŞMA 45
3.3.3. Nümerik Çalışma Sonuçları 58
3.3.3.1. Çeki – Bası Yorulma Analizlerinin Nümerik Sonuçları 59
3.3.3.2. Burulma Yorulma Analizlerinin Nümerik Sonuçları 71
3.3.4. Yamalı ve Yamasız Numune Analiz Sonuçlarının Yüzde Olarak Farkları 82

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 88

4.1. ÇEKİ – BASI YORULMA ANALİZLERİNİN SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ 88

4.2. BURULMA YORULMASI ANALİZLERİNİN SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ 89

KAYNAKLAR 90

ÖZGEÇMİŞ 95

ANSYS WORKBENCH 15 YORULMA ANALİZİ AKIŞ DİYAGRAMI 96

1. GİRİŞ

1.1. Kompozit Malzemeler

Malzeme biliminin gelişmesi tarihsel süreçte insanlığın gelişimi için çok önemli bir etmen olmuştur. Farklı bir şekilde bakarsak gelişim için malzeme biliminin gelişmesi gerekmektedir. Bu iki olgu birbiri ile ayrılmaz bir bütündür. İnsanlık tarihi boyunca malzeme biliminin her yeniliği teknolojik ilerlemeler sağlamıştır.

Teknolojik ilerlemenin günümüz şartları düşünüldüğünde malzeme bilimi ile ters orantılı olacağını düşünmek büyük bir yanılgı olur. Malzeme biliminin bu derece önem arz etmesinden dolayı günümüzde artık malzeme bilimi sonuç olarak tek mühendislik dalı olmanın çok ötesine geçmiştir ve kendi içinde farklı dallara ayrılmıştır. Bu alt dallara birçok örnek verilebilir. Metaller, ametaller, organikler, kimyasallar, inorganikler, polimerler vs. Fakat alt dalların günümüz koşulları altında en önem arz edeni ise kompozit malzemelerdir. Kompozit malzemeler, yeni sayılabilecek bir malzeme ve / veya bilimi olmakla birlikte örneklerine ilk olarak II. Dünya Savaşı sıralarında rastlanmaktadır. Yaklaşık 70 yıldır gelişim sürecini hızlı bir şekilde devam ettiren kompozit malzemeler sanayide ve sektörlerde oldukça geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Özellikle, otomotiv, havacılık, tekstil gibi birçok sektör için öncülük eden sektörlerde sıklıkla kullanılmıştır. Bu kullanım sıklığı ile doğru orantılı olarak sürekli gelişim ve değişim göstermişlerdir.

Genel tanımı ile kompozit malzemeler fiziksel olarak ve kimyasal olarak bakıldığı zaman bu iki etmeninde farklı olduğu en az iki farklı malzemenin makro ölçekte bir araya gelmesi ile ortaya çıkar. Ortaya çıkan bu yeni malzeme ise kendini oluşturan malzemelerden daha iyi mekanik özelliklere sahip olmaktadır. Kompozit malzemeler kullanılarak üretilecek olan bir materyalin tasarımında, materyalin hangi alanda kullanılacağı ve kullanım amacına yönelik ihtiyaçlar düşünülerek tasarım yapılmalıdır. Tasarımda maliyet, ham madde özellikleri, çalışma koşulları, imalat yöntemleri gibi önemli parametrelerde çok etkilidir. Kompozit malzeme tasarımında ortaya çıkabilecek en büyük sıkıntılardan biride kompozit malzemenin izotropik[1] bir özellik gösterememesidir. İzotropik özellik göstermesi beklenen kompozit malzemenin, tasarım

[1] Isıl veya mekanik yüklemelere karşı her doğrultu ve yönde aynı tepkiyi veren malzemelere verilen isimdir.

aşamasında tüm yönlerden gelebilecek yükleri ve malzemenin hangi noktasında nasıl bir mukavemete ihtiyacı olduğunu doğru hesaplaya bilmek önemlidir. Bu hesaplama sonucuna göre, kompozit malzeme içinde bulunan fiberlerin yönelimi yapılmadır.

Kompozit malzemelerde, temel olarak iki eleman vardır. Biri fiber malzemesi, diğeri ise matris malzemesidir. Fiber malzemesi, kompozitin çeşitli mekanik özellikleri ve yük taşıyabilme kapasitesini belirleyen ana elemandır. Matris malzemesi ise, yük altında kompozit malzemesinin plastik deformasyona uğrayacağı yük altında ortaya çıkabilecek çatlak ilerlemelerinin önüne geçmede önemli bir etkendir ve kompozitin kopmasının önemli ölçüde önüne geçecektir. Matris materyali olarak kullanılabilecek uygun metal alaşımları kullanılabilir. Fakat genellikle reçineler kullanılmaktadır.

Bir materyalin kompozit malzeme olarak isimlendirilmesi için belirli kriterleri taşıması gerekmektedir.

- Doğada var olmamalıdır.
- İki ya da daha fazla mekanik özellikleri birbirinden farklı olan malzemelerin birleştirilmesi gerekmektedir.
- Kompoziti meydana getiren malzemelerden farklı mekanik özelliklere sahip yeni bir malzeme oluşması gerekmektedir.
- İstenilen mekanik özellikleri elde etmek için kompoziti meydana getiren malzemelerin birbiri içerisinde ölçülü bir şekilde dağılması ile yeni ve karma bir malzeme oluşmalıdır.
- Ortaya çıkan kompozit malzemenin mukavemeti, kendini oluşturan materyallerden farklı ve daha üstün olması gerekmektedir.

1.1.1. Kompozit Materyalinin Avantajları ve Dezavantajları

Kompozit materyalinin bugünün üretin teknolojisinde önemli bir yeri vardır. Böylesine önemli bir yer bulmasında kompozit malzemelerin mekanik özellikleri, üretim kolaylığı vs. birçok özelliği etkilidir. Ancak tüm malzemelerin kendi içinde avantaj ve dezavantajları olduğundan dolayı kompozit materyalinin de avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır.

Kompozit materyalinin avantajları aşağıdaki gibidir;

- Özgül mukavemet özelliği[2]

  Yüksek mukavemet özellikleri gösteren kompozit materyaller üretilebilir. Geleneksel yöntemlerle üretilen materyallere oranla daha fazla özgül mukavemetleri daha yüksek olarak üretilebilir.

- Hafiflik özelliği

  Plastik yapılı kompozit materyaller, geleneksel üretim yöntemlerine göre üretilmiş materyallere göre daha hafif olarak üretilebilmektedirler. Örnek verilecek olursa, kompozit malzemeden üretilen bir materyal ve aynı boyutlarda üretilen çelikten yaklaşık %75 oranında daha hafiftir.

- Dielektrik direnci

  Kompozit materyalinin, yüksek elektrik yalıtım özelliği vardır. Bu sebeple birçok makine elemanının üretiminde tercih sebebidir.

- Korozyon dayanımı

  Krozyon, kelime anlamı olarak malzemenin çevre şartlarından dolayı yıpranması olayıdır. Kompozit materyalinin korozyon dayanımının yüksek olması nedeni ile özellikle kimyasal maddelerin üretiminin yapıldığı işletmelerde sıklıkla tercih sebebidir. Bu tür işletmelerde daha özellikle kimyevi depolama tanklarının üretiminde kullanılmaktadır.

- Materyal çeşitliliği

  Kompozit materyal, farklı mekanik özelliklerde ve farklı kombinasyonlarda üretilebilir.

- Kolay kalıp

  Makine elemanı bakımından birçok elemana sahip bir makine parçası bir bütün olarak üretilebilir. Bu kolaylık bağlantı elemanlarının sayısında ciddi bir düşüş sağlar ve maddi açılardan tasarruf edilmesini sağlar.

- Renk skalasındaki çeşitlilik

  Kompozit materyal üretiminde kullanılan polyester reçinesi, amaca yönelik özel renk pigmentleri ile daha üretim aşamasında renkli olarak üretilebilir.

- Tasarımda esneklik

  Geometrik olarak çok karmaşık makine elemanları kompozit materyal kullanılarak kolay bir şekilde üretilebilir.

[2] Malzeme mukavemetinin malzeme yoğunluğuna oranıdır.

- Şeffaf olma

  Kompozit materyalinden üretilen elemanlar, kullanım amacı doğrultusunda istenilirse cam şeffaflığında bile üretilebilir. Bu özellikten dolayı özellikle güneşten enerji gibi şeffaflık gerektiren sistemlerde rahatlıkla kullanılabilir.

- Uygulanma yüzeyinin çeşitliliği

  Özellikle beton gibi yüzey pürüzlülüğüne sahip yüzeylerde, kompozit materyalinin polyester bileşenlerinin yüzeyin pürüzlü yerlerine rahat sızması sonucu yüksek yapışma oranı yakalanır. Kompozitler ahşap yüzeylere de koruma amaçlı uygulanabilir. Son olarak ise metal yüzeylere kompozit uygulamasıdır. Metal yüzeylerde sıklıkla bulunan pas ve yağ kalıntılarının iyi temizlenmesi sonucu yapılan uygulama ile metaller korozyondan koruna bilir.

- Yanmaz olması

  Kompozit materyallerin alev dayanımlarının içerdiği polyester oranına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Kompozit materyali oluşturan bileşenlerin yanmaya karşı dirençleri, kompoziti de yanmaya karşı dirençli kılacaktır. Yanmaya karşı direnci yüksek olan bir kompozit malzemenin yangın merdiveni gibi yangın riskinin yüksek olduğu bölgelerde kullanılması ile güvenlik arttırılmış olur.

- Tamir edilebilir olmaları

  Kompozit materyallerinin, hasar alması halinde tamiri çok zor bir işlem gerektirmez. Genel olarak bir kalıp kullanılır ve tamir işlemi sonunda zımpara ve boya işlemlerinden geçtikten sonra tekrar kullanılabilirler.

- İşlenme kolaylığı

  Kompozit materyalinden üretilmiş bir iş parçası kolaylıkla kesilebilir, delinebilir ve zımparalama işlemi yapılabilir.

- Esneklik özelliği
- Sızdırmazlık özelliği

Kompozit materyalinin dezavantajları ise aşağıdaki gibidir;

- Üretimi gerçekleştirilen bir kompozit materyalinin fiziksel ve mekanik özellikleri her daim istenilen özellikleri taşıyamayabilir. Bu sorunun ortaya çıkmasında, üretim yönteminin kalitesine bağlıdır. Yani bu materyalin üretiminde bir standart yoktur.

- Tabakalı yapıya sahip kompozit materyalinin, tabakalar arası kayma gerilmesinin değeri düşüktür ve bundan dolayı delaminasyon[3] bölgeleri meydana gelebilir.
- Bazı kompozit materyaller gevrek[4] yapıya sahiptir ve kolayca plastik deformasyona uğramalar mümkündür.

1.1.2. Kompozit Materyalinin Yapısal Olarak Sınıflandırılması

Kompozit materyalleri, üretiminde kullanılmış olan malzemelere yani matris türüne ve yapısını oluşturan bileşenlerin geometrik şekillerine göre iki grupta toplanabilir. Matris materyali olarak, metalik, plastik ve seramik örnek olarak gösterilebilir. Yapıyı oluşturan bileşenlerin geometrileri ise, parçacıklı, dolgu kafes, lamel yapılı ve tabakalı olarak örneklenebilir. Kompozit materyallerin yapısal olarak sınıflandırılması altı başlık altında toplanmaktadır.

- Plastik – Plastik Yapılı Kompozit Materyaller
- Plastik – Metal Yapılı Kompozit Materyaller
- Plastik – Cam Yapılı Kompozit Materyaller
- Plastik – Köpük Yapılı Kompozit Materyaller
- Metal Matris Yapılı Kompozit Materyaller
- Seramik Matris Yapılı Kompozit Materyaller

1.1.3. Kompozit Materyalinin Yapısal Şekillerine Göre Sınıflandırılması

Kompozit materyaller, yapısal olarak ve yapı şekillerine göre sınıflandırılmaktadırlar. Bir önceki bölümde yapılsal durumlarına göre verilen kompozit materyaller, bu başlık altında yapısal şekillerine göre sadece isim olarak verilmiştir ve beş başlık altında toplanmıştır.

- Partikül Yapılı Kompozit Materyaller
- Lamel Yapılı Kompozit Materyaller
- Fiber Yapılı Kompozit Materyaller

[3] Tabakalar arasında yapışmayan bölge
[4] Malzeme üzerine etkiyen yükler sebebi ile malzemenin ani olarak kırılması durumudur. Plastik şekil değiştirme durumu yoktur.

- Dolgu Yapılı Kompozit Materyaller
- Tabakalı Kompozit Materyaller

1.1.4. Kompozit Materyallerin Üretiminde Kullanılan Temel Bileşenler

1.1.4.1. Matris Bileşenleri

Kompozit materyallerde matrisin bileşeni, yapı içerisinde temel olarak üç farklı görev almaktadır. Birincisi, elyaf yapılarını birlikte tutma görevidir. İkincisi, kompozit materyale gelen yükü elyaf yapıları üzerinde düzgün dağıtmaktır. Üçüncü olarak, elyaf yapılarını olumsuz çevre şartlarından korumaktır.

Normal şartlarda matris bileşenini akışkanlığı yükün etkisi altına girmeden önce düşük, yük etkisi arttıktan sonra elyaf yapılarının bir bütün olarak tutulabilmesi için katı hale gelebilecek yapıda olmalıdır.

Kompozit materyallerde kuvveti üstlenen elyaf yapılarının bu görevlerini yapabilmeleri için en büyük iş matris bileşenlerindedir. Bu duruma örnek verilecek olursa, matris bileşeni olmadan, tek başına elyaflar düşünüldüğünde malzeme üzerine etki eden yükü üstlenen elyaf sayısı az olacaktır. Ancak bu durumun tersi düşünülür ise, yani matris bileşenini yapı içerisinde var olduğu durumda için etkiyen yükü tüm elyaf yapıları eşit veya eşite sayılabilecek bir ölçüde üstlenecektir.

Matrisin ve fiberin tam olduğu bir kompozitte kayma gerilmesi altında güçlü bir yapı sergilemesi için, elyaflar ile matrislerin birbirine iyi yapışması ve matris bileşeninin kayma gerilmesine karşılık mukavemetinin yüksek olması ile doğru orantılıdır. Tüm bunlara ek olarak kompozit materyalin iyi mekanik özelliklere sahip olması için matris bileşeninin elyaf yapısına oranla esnek ve zayıf olmalıdır.

Elyaflar ve matrisler arasında oluşacak bağların kuvveti yüksek olur ise elyaf yapılarında ya da matris bileşenlerinde ortaya çıkabilecek bir çatlağın aynı doğrultuda ilerlemesi ihtimaller arasındadır. Bu şekilde gerçekleşecek bir çatlak durumunda, kompozit materyal bir bütün olarak ve gevrek olarak düşünülmesi normal bir durumdur. Bu şartlar altında kopma gerçekleşecek olur ise kopmanın gerçekleştiği yüzeyin parlak

ve temiz olması beklenir. Sonuç olarak bağların kuvveti düşük ise kompozit materyalin mekanik özellikleri de düşük olur. [1]

1.1.4.2. Reçine Bileşenleri

Kompozit materyallerde, reçineler bir bağlayıcı eleman olarak yapıda görev almaktadır. Başlıca reçineler ise şu şekildedir;

- Epoksi reçine bileşenleri
- Polyester reçine bileşenleri
- Üretan reçine bileşenleri
- Fenolik reçine bilenleri

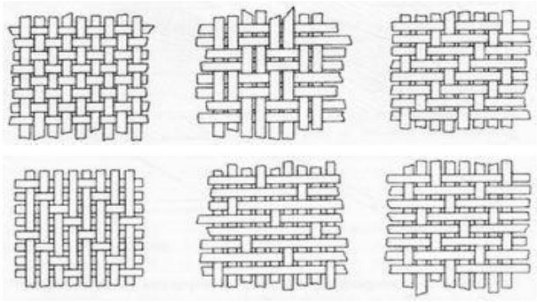
1.1.4.3. Elyaf Yapılarının Çeşitleri ve Özellikleri

Matris malzemesi olarak kullanılan kompozit materyallerde elyafların yapıya takviye elemanı olmasıdır. Elyaflar, kompozit materyallerin mekanik özelliklerinin ortaya çıkmasında, elyaf yapıları önemli bir etkendir. Mekanik olarak böyle bir etkisi olmasına karşılık kompozit materyalin içerisindeki yoğunlukları düşüktür. Fakat yoğunluğun düşük olması, yüksek elastiste modülüne ve sertliğe sahip olmalarına engel teşkil etmemektedir. Ek olarak kimyasal krozyona karşı dirençlidirler.

Modern teknolojide kompozit materyallerin üretiminde ki en önemli takviye elemanıdır. Bu bağlamda da en sık ve en eski kullanılanı ise cam elyafıdır. Fakat teknolojinin katlanarak artan hızı ile birlikte son zamanlarda farklı elyaf yapıları da ortaya çıkmaya başlamıştır. Bunlara örnek olarak ise; bor, karbon, silisyum kabür, aramid vs. verilebilir.

Elyaf yapılarının üretiminde de zamanla çok büyük mesafeler kat edilmiştir. Artık daha küçük çaplarda üretilen elyaflar sayesinde makro düzeyde oluşturulan kompozit marteryallerde hata oranı oldukça düşmüştür ve mekanik değerleri de maksimum düzeye çıkmıştır. Elyaf yapıları mühendislik alanında sıklıkla tercih edilmektedirler. Bu tercih sebepleri ise üç başlıkta toplana bilir. [1]

1. Mikro yapıda tanecik yapılanın küçük olması sebebi ile küçük çaplı üretilmelerinin önünde bir engel bulunmamaktadır.
2. Uzunluğu çapa oranının zaman ile artması ile materyalin kullanıldığı sırada üzerine etkiyecek yükler elyaf yapısı üzerine düzgün dağılacaktır.
3. Elastiste modülleri yüksektir.



Şekil 1.1. Elyaf dokuma türleri [1]

Elyaf yapıları genel olarak altı başlık altında incelenmektedir. Bu başlıklar ise şu şekildedir;

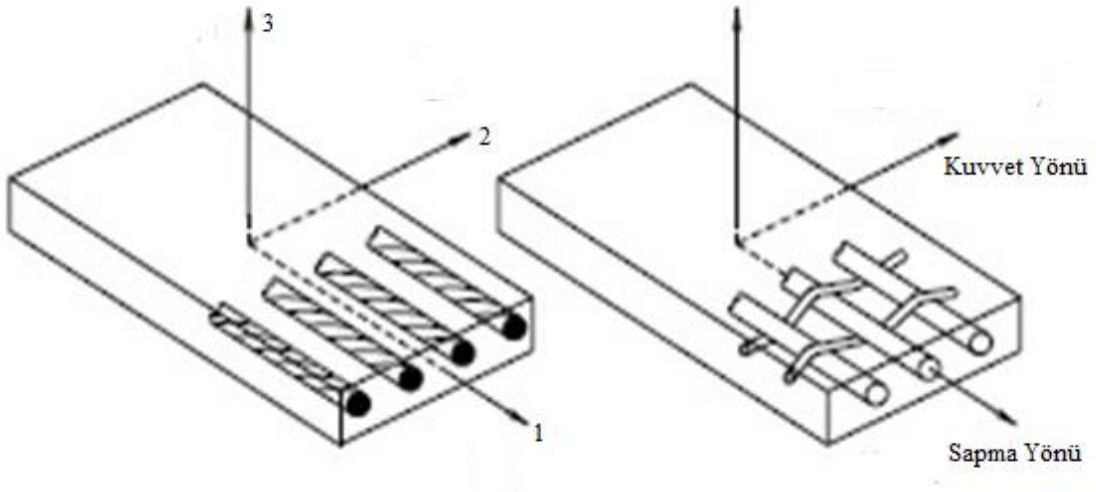
- Cam elyaf yapıları
- Bor elyaf yapıları
- Silisyum karbür elyaf yapıları
- Alumina elyaf yapıları
- Grafit elyaf yapıları
- Aramid elyaf yapıları

1.1.5. Tabakalı Kompozit Materyaller

Tabakalı kompozitlerin bir başka isimlendirilmeside, lamine kompozitlerdir. Lamine kompozitler tabakalı bir yapıdan oluşmuşlardır. Bu materyalde tabakalar, bükülmüş ya da düz yapıda bulunan, fiberlerin matris bileşeni içinde bulunması halidir. Şekil 1.6' ya bakıldığı zaman bu durum örneklendirilmiştir. Birinde fiberlerin doğrultusuna paralel olarak, diğerinde ise fiber yapılarının doğrultusuna dik olarak yerleştirilmiş tabaka gösterimi vardır.

Fiber bileşenleri yükü taşıyan ya da yapıyı güçlendirici ana yapı olarak yapıda bulunmaktadır. Matrislerin ise burada organik, seramik veya metalik olabilmektedirler.

Matris bileşenlerinin yapı içerisinde ki görevi ise fiber bileşenlerini desteklemek ve korumaktır. Bu görevleri vasıtası ile materyal üzerine gelen kuvvetlerin dağılımını sağlarlar.



Şekil 1.2. Elyaf yapılarının matris malzemesi içindeki durumu [1]

Tabakalı kompozit materyaller en az iki farklı bileşenin birbiri ile yapışması ile oluşmaktadırlar. Bu şekilde yapılan bir üretimin amacı ise bileşenlerin en iyi mekanik özelliklerinin alınarak ortaya çıkan yeni materyalin daha iyi mekanik özelliklere sahip olmasıdır.

1.1.6. Kompozit Materyalin Kullanım Alanları

Teknolojik gelişmenin önünde bulunan en büyük engellerden birinin malzeme bilimi olduğu su götürmez bir gerçektir. Malzeme bilimi ne kadar çok çeşitlilikte malzemeyi bilimin ve sanayinin kullanımına sunabilirse teknolojideki gelişimde doğru orantılı olacaktır. Kompozit materyallerde bu malzemelerin günümüz için birçok alanda en avantajlısıdır. Buna göre kullanıl alanları ise çok geniştir. Genel olarak kmopozit materyallerin kullanım alanları aşağıdaki gibidir;

- Uzay ve havacılık sektöründe
- Elektrik ve havacılık sektöründe
- Tarım sektöründe
- Otomotiv sektöründe
- Ev aletleri sektöründe
- İnşaat sektöründe

1.2. Yapıştırma Bağlantıları

1.2.1. Yapıştırma Bağlantılarının Mekanizmaları

1.2.1.1. Adhezyon

Adhezyon, yapıştırıcı materyal ile yapıştırılan malzemenin birbirine olan temas yüzeyinde ortaya çıkan çekim kuvveti olarak ifade edilebilir. Yapışma durumunun gerçekleşmesinde en önemli faktör valans olarak isimlendirilen fiziksel kuvvetlerdir. Yapıştırma bağlantılarında bağlantı kalitesi genel olarak temas yüzeyinin alanına ve yapıştırıcı materyalin yapıştırma kabiliyetlerine bağlıdır.

Yapıştırıcı materyal, yapıştırılan yüzeylerde tam olarak temas sağlayamazsa, yapıştırma bağlantısının bağları arasında ki bağlar zayıflar ve bağlantının bütünü bu durumdan olumsuz etkilenir. Bu sebeple iyi bir yapıştırma bağlantısının sağlanabilmesi için yapıştırıcı materyalin yapıştırılan yüzeylere iyi temas etmesi gerekmektedir. Bu duruma ıslaklık ya da etkili kaplama denilmektedir. Son olarak iyi bir yapıştırma bağlantısında yapıştırıcı materyalin viskozitesi de etkili olmaktadır.

1.2.1.2. Kohezyon

Kohezyon, yapıştırıcı materyal içerisinde ki çeşitli kimyasal etkileşimlerin sonucunda ortaya çıkan ve yapıştırma bağlantısını sağlayan benzer moleküller arasında meydana gelen karşılıklı çekim kuvvetidir. Bahsi geçen bu durumunu kimyasal olarak anlatımı ise, yapıştırıcı materyalin molekülleri arasında bulunan *Wan der Walls* bağ kuvvetleri ortak bir çekim kuvveti oluştururlar. Bu sayede moleküller dağılmadan bir arada durmasına sebebiyet veren kovalent bağların, kohezyon kuvvetlerinin etkisi altında olurlar.[14] Yapıştırıcı materyallerin mekanik özellikleri kohezyon kuvvetlerinin kohezyon kuvvetlerinin çekimi ile doğru orantılıdırlar. Kohezyon bağların çekim kuvvetleri ne kadar fazla olursa yapıştırıcı materyalin mekanik özellikleri de artmaktadır.

Kohezyon bağlarının olduğu durumda yapıştırıcı materyaller, kâğıt üzerinde ki özelliklere sahiptirler. Genel olarak bu özellikler ise aşağıda bulunan ölçütlere göre değişiklikler göstermektedir.

- Yapıştırıcı materyal içerisinde ki kimyasal bağlar
- Yapıştırıcı materyalin moleküllerinin çapraz bağlanması ile ortaya çıkan kimyasal bağlar
- Yapıştırıcı materyalin molekülleri arasında bulunan etkileşim kuvvetleri
- Yapıştırıcı materyalin moleküler yapısındaki mekanik adhezyon

Yukarıda verilen ve birlikte bir bütünü oluşturan bu dört kuvvet sıvı halde bulunan yapıştırıcı materyalin özelliklerini etkilemektedir ve viskoziteyi belirler. [14]

1.2.2. Yapıştırma Bağlantısına Etkiyen Kuvvetler

Yapıştırıcı materyalin kimyasal formülünde yer alan ve yapışma işleminin gerçekleşmesini sağlayan polimerik maddeler, fiziki ve kimyasal olarak faktörlerin etkisi ile yapışma bağlantısını sağlamaktadır.

Yapıştırma bağlantısına etki eden faktörler şu şekildedir; Sıcaklık, Basınç, Zaman, Katalizör, Çözücü, Nem, Metal Yüzeyler ve Ultraviole Işınlardır.

1.2.3. Yapıştırıcı Materyallerin Türleri

Yapıştırıcı materyaller çok farklı dallara ayrılmaktadırlar. Dallar ise cinsine, yapıştırıcı materyalin fiziksel ve kimyasal yapısına, sertleşme durumuna, yapıştırma bağlantısının mekanik özelliklerine, yapıştırıcı materyalin uygulama yöntemleri vs. birçok etkiye bağlı olarak oluşur. Ancak genel olarak iki başlık altında toplanır.

1.2.3.1. Kimyasal Olarak Gruplanan Yapıştırıcılar

Kimyasal olarak gruplanan yapıştırıcı materyallerde ikiye ayrılmaktadır.

1. *Kimyasal bir reaksiyon sonucu sertleşen yapıştırıcı materyaller*
2. *Fiziksel değişim yolu ile sertleşen yapıştırıcı materyaller*

1. Yapıştırıcı materyallerin yüksek mekanik özelliklere sahip olabilmesi için kimyasal bir reaksiyon sonucunda sertleştirilirler. Günümüz şartlarında yaygın

olarak kullanılan bu yöntem de kullanılan yapısal bileşenler poliüretan, fenolikler, akrilikler, anerobikledir.

Poliüretanlar, genelde reçine ve katalizör olmak üzere iki bileşene sahip ve çok hızlı sertleşen yapıştırıcı materyallerdir. Burada katalizör olarak nem kullanılır. Nem bulunduğu yüzey ile reaksiyona girer ve kimyasal bağlar oluşur. Yüksek aşınma ve krozyon dayanımları fazla olup, yüksek darbe direncine sahiptir. Fakat çeşitli avantajları olmasına karşılık yüksek sıcaklıklarda kullanımları uygun değildir. Nemli ortamlarda hassas bir yapıdadırlar.

Fenolikler, temelde formaldehit bir yapıştırıcı materyaldir. Yüksek mekanik özelliklerde yapıştırma bağlantılarının istenildiği durumlarda yani metal – metal, metal – ağaç, metal – kompozit kullanımları fazladır. Isı ve basınç yolu ile uygulaması yapılabilir. Rijitlik oranı fazla, yüksek sıcaklıklarda da kararlı yapıda, di – elektrik olmaları gibi özelliklere sahiptirler. Ancak gevrek yapılı olmaları ise olumsuz özellikleridir.

Akrilikler, metaller ya da plastik materyallere uygulana bilirler. Uygulandıktan sonra da elastik yapılarını koruyabilirler. Epoksi bileşenleri gibi iyi bir kayma gerilmesi dağılımına sahiptirler. Genelde reçine ve katalizör olmak üzere iki bileşene sahip yapıştırıcı materyallerdir. Burada reçine bileşeni, yapıştırma bağlantısının uygulanacağı bir yüzeye uygulanırken diğer yüzeye ise katalizör uygulanır. Yüzeyler birbirine tutturulduğu zaman da yapıştırma bağlantısı gerçekleşmiş olur. Neme karşı dirençleri yüksek olmakla birlikte, yancıdırlar.

Anerobikler, kimyasal olarak gruplanan yapıştırıcı bileşenler arasında uygulaması en kolay olan yapıştırıcı materyallerdir. Anerobikler kullanılarak yapılan yapıştırma bağlantısında ortamda oksijenin az olması gerekmektedir. Bu sebeple yüzeylere uygulandıktan çok kısa sonra uygulama tamamlanmalıdır ve yapıştırılan yüzeylerin sertleşme işlemi gerçekleşene kadar hava ile olan teması sonlandırılmalıdır. Neme ve korozyona karşı dirençleri yüksektir. Ancak yapıştırma ortamının gereklerini sağlayabilmek için ön hazırlıklar gerekmektedir.

2. Fiziksel özelliklerinin değişimi ile birlikte sertleşen yapıştırıcı materyaller, kimyasal tepkime sonucu sertleşen yani yapılsal yapıştırıcı materyallere göre daha

düşük mekanik özelliklere sahiptirler ve yapısal olmayan yapıştırıcı materyaller olarak isimlendirilirler. Ultraviole, sıcak eriyikler, kauçuk, polivinil ve silikon gibi bileşenleri bulunmaktadır.

Ultraviole yapıştırıcı materyallerin sertleşmeleri için ultraviole ışınlara ihtiyaç duyarlar. Sertleşme süreleri ile ultraviole ışının dalga boyuna ve yoğunluğuna göre değişkenlik gösterir. Özellikler cam – cam ve cam – metal gibi yüzeylerin yapıştırma bağlantısı ile bağlanmasında kullanılırlar. Ayrıca uygulandıkları yüzeylerin pürüzlü bölgelerini doldurmaları konusunda iyidirler.

Sıcak eriyikler, polimer bileşenli termoplastik olmakla birlikte bilinen en eski yapıştırıcı materyallerdir. Genel olarak plastik, kâğıt ve ahşap materyallerin yapıştırılmasında kullanılırlar. Oda sıcaklığında katı halde bulunurlar. Bu sebeple yapıştırma işleminden önce ısıl işlem uygulanarak sıvı hale getirilip bu şekilde yüzeylere uygulanırlar. Ardından oda sıcaklığına geldikleri zaman tekrar katı hale geçerler ve bu işlem sonucunda yapıştırma bağlantısı gerçekleşmiş olur. Sıcak eriyik yapıştırıcı materyaller, seri üretime uygundurlar. Ancak sıvı ve katı geçişinden dolayı uygulama başındaki ve sonundaki kalınlık farklılığı olumsuz bir özelliktir. Yük dayanımları düşük olup yüksek yükleri karşılaması beklenen bağlantılarda kullanımları asla uygun değildir.

Kauçuklar, kauçuk yapışıcı materyallerde eriyik yapılı bir yapıştırıcı materyaldir. Ortamda bulunan su sayesinde yapısal çözülmeye maruz kalır ardından sertleşme sonunda işlem tamamlanmış olur. Esasen eriyik yapılı olduklarından dolayı tıpkı sıcak eriyik yapıştırıcı materyal gibi yük dayanımları düşüktür.

Polivinil asetatlar, yapılarının asıl bileşeni vinil asetattır. Damla halinde olan polivinil asetatların su içinde çökelmesi sonucu elde edilen bir yapıştırıcı materyaldir. Yapılarında bulunan su moleküllerinin ortamdan uzaklaşmasını takiben sertleşmeye yani kürleşmeye başlarlar ve termoset hale gelirler. Kürleşme süresi, ortamda ki su moleküllerinin oranını ve yapıştırıcı materyalin tabaka kalınlığına bağlıdır. Eğer verilen bu etmenlerde su molekülleri az ve tabaka kalınlığı da az ise yaklaşık 15 dakika gibi bir sürede sertleşme gerçekleşir. Genelde ağaç, mobilya gibi ahşap malzemeler üzerinde kullanılırlar.

Silikonlar, yüksek basınca maruz kalmayan parçaların bağlanmasında kullanılırlar. Otomotiv sanayisinde sıvı conta ismi ile bilinirler. Sızdırmazlık istenilen durumla sıklıkla kullanılırlar. [14]

1.2.3.2. Fiziksel Olarak Gruplanan Yapıştırıcılar

Günümüzde yapıştırıcı materyaller macun, film, sıvı ve toz gibi çeşitli fiziksel çeşitliliklere sahiptirler. Fiziksel özelliklerine göre yapıştırıcılar beş grup altında incelenebilir.

1. Macun tipi yapıştırıcı materyaller
2. Film tipi yapıştırıcı materyaller
3. Düşük vizkoziteye sahip yapıştırıcı materyaller
4. Düşük yoğunluğa sahip yapıştırıcı materyaller
5. Reçineler
6. Köpükler

Macun tipi yapıştırıcı materyaller, iki bileşene sahip, oda sıcaklığında sertleşebilen, kompozit materyallerin ve metallerin birleştirilmesinde kullanılırlar. Yüksek vizkoziteye sahip çeşitleri iyi bir yapıştırma bağlantısı sağlamaktadır. Uygulama sırasında ideal kalınlıkları ise 0,1 – 0,2 mm aralığında olması gerekmektedir.

Film tipi yapıştırıcı materyaller, epoksi esaslıdırlar. Hasarlı kompozit materyaller ya da metallerin tamir aşamalarında kullanımları uygundur. Bu sebeple kullanımları yaygındır. Kalınlıkları ise kullanılan materyale göre değişiklikler göstermektedir.

Düşük vizkositeli yapıştırıcı materyallerin reçine bileşenleri epoksilerdir. Oda şartlarında sertleşebilen ve 120 – 180 ℃ aralığında da sertleşen tipleri de mevcuttur. Yüksek kayma gerilmesine sahip olmalarından dolayı yapıştırılan parçalar yapısal bütünlüğünü korumaktadırlar. Sertleşme süreçlerinde hacimsel değişime uğramazlar. Bundan dolayı da yapıştırma bağlantısının gerçekleşmesi için parçalar üzerine basınç uygulanmasına gerek yoktur.

Düşük yoğunluğa sahip yapıştırıcı materyaller, oda sıcaklığında sertleşme özelliğine sahip iki bileşenlidirler. Genel olarak yapıştırılan materyallerde ki boşluk ve

gözeneklerin tamiratında dolgu tipi bir yapıştırıcıdır. Burada yapıda bulunan iki bileşenin oranları hassas olmak zorundadır.

Reçineler, düşük vizkoziteye sahip iki bileşenli ve reçine olarak epoksi bileşenli yapıştırıcı materyallerdir. Genel olarak kompozit materyallerin çeşitli kompozit materyallerin bileştirme bağlantılarında ve dolgu gereken durumlarda kullanılmaktadır. Reçine yapıştırıcılarında bileşenlerin karışım oranları doğru yapılmadığı takdirde yapıştırma bağlantısının gerçekleşmesi için gereken süre uzamaktadır.

Köpükler, reçine olarak epoksi bileşenli yapıştırıcı materyallerdir. Sertleşme sürecinde hacimsel olarak genişleyen bir yapıya sahiptir. Uygulama sırasında ideal tabaka kalınlığı 2 mm olmalıdır.

1.2.4. Yapıştırma Bağlantılarının Olumlu ve Olumsuz Durumları

Yapıştırma bağlantıları günümüz sanayisinde birçok alanda sıklıkla kullanılmaktadır. Ancak hemen her tür materyalin bir takım olumlu ve olumsuz yönleri olduğu gibi yapıştırıcı materyalleri kullanılarak yapılan bağlantılarda böyle bir durum mevcuttur. Yapıştırma bağlantılarının olumlu ve olumsuz yönleri listelenir ise;

Olumlu durumlar;

- Lehim ve kaynak gibi uygulama sırasında ısı açığa çıkaran birleştirme bağlantılarında bileştirilen parçalarda herhangi bir çatlak, gerilme, molekül yapısının değişmesi gibi hasarlar olmaz.
- Parçalarda herhangi bir mekanik özellik değişimi ortaya çıkmaz.
- Farklı ve karmaşık geometrilere sahip parçaların birleştirilme işlemleri gerçekleştirilebilir.
- Cıvata, perçin, kaynak benzeri bir bağlantı türüne göre yapıştırma bağlantılarının görselliği daha iyidir.
- Diğer bağlantı şekillerine oranla daha iyi bir gerilme dağılımı mevcuttur.
- Gereken durumlarda ve bazı yapıştırıcı materyallerde de montaj işlemi parçalara hasar verilmeden yapılabilir.
- Farklı türlerde ve kalınlıklarda ki parçaların birleşimi gerçekleştirilebilir.
- Yapıştırma bağlantıları bir elektrik yalıtkanlığı sağlaya bilirler.

- Sızdırmazlık elemanı olarak da kullanılabilirler.
- Uygulama, maliyet kolaylıkları sunmasının yanı sıra ağırlık avantajı da sunarlar.
- Dayanım / Ağırlık oranları iyidir.
- Yorulmaya ve tekrarlı yüklere karşı yüksek dayanım göstermektedir.

Olumsuz durumlar;

- Yapıştırıcı materyalin uygulandığı yüzeyler tam olarak kaplanamaz ise yapıştırma bağlantısının mekanik değerleri düşer.
- Kimyasallar ve nem açısından hassas olan yapıştırıcı materyallerin böyle ortamlarda kullanılması durumunda yapıştırma bağlantısının mukavemeti uzun süre korunamaz.
- Bazı yapıştırıcı materyallerin sertleşme sürelerinin uzunluğundan dolayı uygun bağlantı zaman alabilir.
- Yapıştırma öncesinde yüzey hazırlığı iş gücü kaybına sebebiyet verir.
- Yapıştırıcı materyalin mekanik özellikleri sıcaklığa bağlı olarak değişiklikler gösterir.

1.2.5. Yapıştırıcı Materyallerin Termal Özellikleri

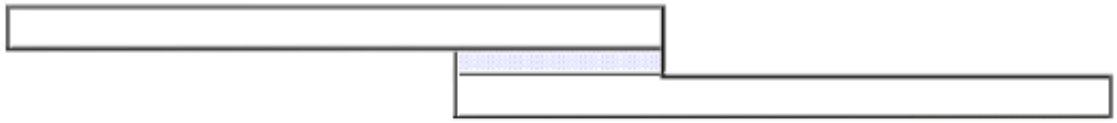
Yapıştırıcı materyallerin sıcaklığa karşı hassas olduğu bilenen bir durumdur. Bu nedenle sıcaklık bağlantının durumunu direkt olarak etkiler. Yapıştırıcı materyalin sertleşme sürecinde ve sonrasında sıcaklık etkisi ömrü boyunca devam eder. Yapıştırıcı materyaller çeşitli sıcaklıklarda sertleştiğinden dolayı sertleşmeye yardımcı olarak kullanılan sıcaklık etkisinde sıcaklık değerine dikkat edilmelidir.

1.2.6. Yapıştırma Bağlantılarının Geometrileri

Yapıştırma bağlantıları her ne kadar karmaşık görünse de temelde basit birkaç geometriye sahiptirler. Toplamda beş çeşit geometride yapıştırma bağlantısı elde etmek mümkündür. Bu geometrileri belirleyen etmen ise çalışma koşulları, materyaller ve yapıştırıcı materyal belirlemektedir. [12]

1. Tek bindirmeli yapıştırma bağlantıları (Single Lap Joint)

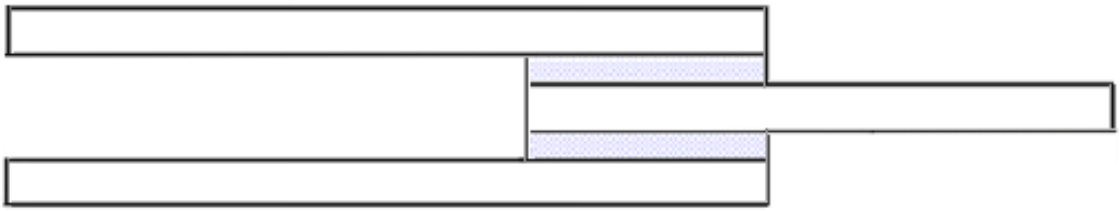
Bu şekilde yapılan bir bağlantıda, bağlanacak parçaların bir kısmı üst üste gelecek biçimde olması gerekmektedir.



Şekil 1.3. Tek bindirmeli yapıştırma bağlantısı [12]

2. Çift bindirmeli yapıştırma bağlantıları (Double Lap Joint)

Çift bindirmeli yapıştırma bağlantılarında, iş parçasının altına ve üstüne destek amaçlı yerleştirilen ve bu şekilde yapılan bir bağlantı şeklidir.



Şekil 1.4. Çift bindirmeli yapıştırma bağlantısı [12]

3. Basamaklı bindirme ile yapıştırma bağlantıları

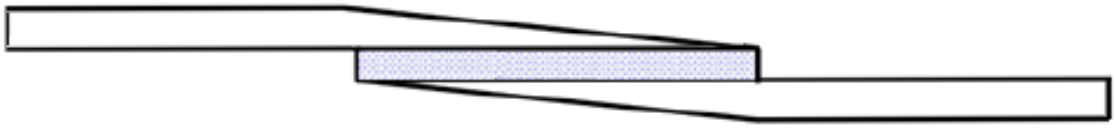
Böyle bir yapıştırma bağlantısı için yapıştırma bağlantısı ile birbirine bağlanacak olan parçaların basamak şeklinde birbiri üzerine oturması gerekmektedir.



Şekil 1.5. Basamaklı bindirme bağlantısı [12]

4. Eğimli bindirme ile yapıştırma bağlantıları

Bu bağlantı şeklinde ise bağlanacak elemanların bindirme bölgelerinin üst kısımları eğimlidir.



Şekil 1.6. Eğimli bindirme bağlantısı [12]

5. Alın bindirme ile yapıştırma bağlantıları

Böyle yapılacak bir bağlantı, alın kaynak yöntemi ile benzerlikler gösterir. Yapıştırılmak istenilen parçalar alın alına getirilip yapıştırıcı materyal kullanılarak bağlanmaları sağlanmaktadır.



Şekil 1.7. Alın bindirme bağlantısı [12]

1.3. Alüminyum Materyali

Alüminyum materyalini kimyasal gösterimi Al olmakla birlikte gümüş renkli, sünek bir metaldir. Doğada genelde boksit cevheri oksitlenmeye karşı yüksek bir direnç göstermektedir. Yer kabuğunda bol miktarda bulunmasına karşılık saf hali ile nadir bulunmaktadır.

Bu sebeple geçmişte altından daha fazla değer gördüğü zamanlar olmuştur. Sanayinin birçok kolunda milyonlarca ürünün imalatında kullanılan alüminyum materyalinin dünya ekonomisinde önemli bir yeri vardır. Hafiflik ve yüksek dayanayım özellikleri gerektiren alanlarda çok fazla kullanılmaktadır.

1.3.1. Alüminyum Materyalinin Genel Özellikleri

Alüminyum materyali doğada oldukça reaktif bir özelliktedir. Bu nedenle oksitler ya da bileşikler halinde bulunurlar. Alüminyum materyalleri de diğer metaller gibi Lewis asit özelliği göstermektedir. Alüminyum materyaline baz tarafından verilen iyonların sıkı şekilde tutulmasında dolayı yüksek elektropozitif durum ortaya çıkar ve iyonlar asla polarize olmazlar. Bu nedenle alüminyum materyali sert asit olarak kabul edilir.

Alüminyum materyali, çeşitli organik ligantlarla[5] hetorosiklo bir yapı ortaya çıkarırlar. Bu yapılar ise şelat olarak isimlendirilirler. Alüminyumlar, flor iyonları ile tekli bağlar oluştururlar ve bundan dolayı şelat oluşturmazlar. [2]

1.3.2. Alüminyum Materyalinin Avantajları

Alüminyum materyallerinin endüstride kullanımı çok yaygındır. Bu kullanım sıklığının nedeni birçok yönden ortaya koyduğu avantajlardır. Alüminyum materyalinin avantajları ise şu şekilde sıralana bilir;

- Hafif yapıdadırlar.
- Hafif yapılı olmalarına karşılık çeşitli materyaller ile oluşturulan alüminyum alaşımları yüksek mekanik değerlere sahip olmaktadır.
- Tekrar tekrar kullanılmalarının önünde bir engel bulunmamaktadır.
- Yüksek korozyon direncine sahiptirler.
- İşlenebilme ve şekillendirilebilme yetenekleri yüksektir.
- Yüksek ısı ve elektrik iletkenliğine sahiptirler.

Alüminyum materyalinin oksidasyona karşı çok iyi bir direnci vardır. Böyle bir direncin ortaya çıkmasında pasivasyon özelliği olmasından kaynaklıdır. Pasivasyon, işlenen, kesilen, bükülebilen ve kaynatılan krom materyalinden olan parçaların paslanmaya karşı etkisiz hale gelmesi olayıdır.

Bir materyalin paslanmaması için, kromun karbon ile temasının önlenmesi gerekmektedir. Eğer karbon ile temas eden bir yüzey varsa da karbon yüzeyin asit ile yıkanması gerekmektedir. Asit ile yıkanan alüminyum materyalinin yüzeyinde işlem yapıldığı zaman, yüzeyde hava ile teması kesen ince bir katman oluşur ve paslanmaya karşı bir koruma oluşur. Ancak saf halde bulunan alüminyum materyali hava ile temasında çok hızla oksitlenir. Ancak bu oksitlenme sadece yüzeyde gerçekleştiğinden dolayı aslında materyalin tümü düşünüldüğü zaman bir koruyu katman olur.

[5] Biyokimyada bir ligand bir biyomoleküle bağlanarak bir kompleks oluşturan bir bileşiktir.

1.3.3. Alüminyum Materyalinin Sınıflandırılması

Alüminyum materyalinin mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri alaşım malzemesine ve atomik yapısına göre değişmektedir. Alüminyum alaşımları içinde en önemli alaşımlar bakır, mangan, silisyum, magnezyum ve çinkodur. Alüminyum materyalinin alaşımları iki gruba ayrılırlar. İlk grup dövme alaşımlardır. Dövme alaşımları plastik deformasyon kabiliyetleri yüksek olduğundan kolay şekil alabilirler. İkinci grup ise dökme alaşımlardır. Dövme alaşımlar Amerikan alüminyum birliğine göre dört harf ile sınıflandırılırlar ve bu sınıflandırma şu şekildedir;

Tablo 1.1. Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması [3]

Sınıflandırma	Alaşımı	Açıklama
1XXX	Saf Alüminyum	Genelde elektrik ve kimya alanlarında kullanılmaktadır.
2XXX	Al – Cu	Esas alaşım elementi bakırdır. Başta magnezyum olmak üzere diğer alaşım elementleri de bulunabilir. Yüksek mekanik özellikler isteyen sektörlerde sıkça kullanılırlar.
3XXX	Al – Mn	Esas alaşım elementi mangandır. Boru, sıvı tankları ve mimari uygulamalarda kullanılmaktadır.
4XXX	Al – Si	Esas alaşım elementi silisyumdur. Termal genleşme katsayısı düşük, aşınma direnci ve korozyon dayanımı yüksek alaşımlardır. Kaynaklı yapılarda, levha üretiminde, otomobil parçaları üretiminde kullanılmaktadır.
5XXX	Al – Mg	Esas alaşım elementi magnezyumdur. Magnezyum oranı arttıkça sertlik ve mukavemet artar fakat süneklik azalır. Denizde oluşan korozyona karşı direnci yüksek olduğundan, bu ortamda çalışacak yapıların imalatında kullanılmaktadır.
6XXX	Al – Mg – Si	Esas alaşım elementleri Magnezyum ve Silisyumdur. Şekillendirilme kabiliyeti yüksek olan bu alaşımlar özellikle ekstrüzyon ile üretilen parçaların imalatında sıklıkla kullanılır.
7XXX	Al – Zn	Bakır esas alaşım elementi olup, Magnezyum, Krom ve Zirkonyum ilave alaşım elementleridir. 7XXX serisi, Alüminyum alaşımlarının en yüksek mukavemete sahip olanıdır. Uçak parçaları yapımı ve diğer yüksek dayanım istenen yerlerde kullanılır.

8XXX	Al – Li	Esas alaşım elementi Lityum olup, kalay eklentisi de yapılabilmektedir. Özellikle uçak ve uzay yapılarında kullanılmaya başlanan bu malzeme, iyi yorulma direnci ve iyi tokluk özelliklerine sahiptir. Fakat diğer alüminyum alaşımları ile karşılaştırıldığında üretim maliyetleri yüksektir.

1.3.4. Alüminyum Materyalinin Kullanım Alanları

Alüminyum materyallerinin en çok kullanım alanı uçak sanayisidir. Uçak imalatının birçok alanında ya direk alüminyum materyalleri ya da alüminyum kaplı kompozit materyaller kullanılmaktadır. Alüminyum materyallerinin alaşımları 1908 yaşlanma sertleşmesinin keşfi ile uçak sanayisinde kullanılmaya başlanmıştır. Alüminyum materyal alaşımları hafiflik ve yüksek mekanik değerleri nedeni ile uçak sanayisinin gelişiminde önemli rol oynamıştır.

İnşaat sektöründe ise alüminyum materyallerinin kullanımı son zamanlarda inşaat yapılış tekniklerinde mimari stillerde meydana gelen gelişmeler sebebi ile tercih edilir olmuştur. Alüminyum materyaller inşaat yapılarında yapıların dış yüzeyleri, kapı ve çerçeve gibi yapının dış ve iç kısımlarından kullanılmaktadırlar. Bu kullanım sıklığının nedenleri ise, maliyet avantajı, güzel görünüm ve hızlı imalattır. Ayrıca düşük manyetik özellikleri nedeni ile askeri teknoloji için üretilen gemilerde büyük avantajlar kazandırmaktadır. Gemi imalat sanayinde 5000 serisi alüminyum materyalleri daha fazla kullanılmaktadır.

Demir yolu sanayisinde alüminyum materyalleri pahalı olmasına karşılık işletme ve bakım masraflarının az olması, krozyon direnci ve hafiflik gibi olumlu özelliklerinden dolayı kullanımları yüksektir. Vagon, treyler, lokomotif gibi demir yolu için gerekli yapıların üretiminde kullanılmaktadırlar. Bu sanayi de kullanılan alüminyum 5000 ve 6000 serisine sahip alüminyum materyalleri kullanılmaktadır. Otomotiv sanayisinde ise düşük yoğunluk ve yüksek mekanik özellikleri sebebi ile alüminyum materyalleri sıklıkla tercih sebebidir. Binek bir aracın ağırlığının % 25 - % 30’ luk bir bölümü alüminyum materyallerinden oluşmaktadır. Araçların karbüratör, piston, kaporta gibi elemanlarının üretiminde tercih edilmektedirler.

1.4. Kompozit Materyaller ile Yama Onarımı

Uzay sanayisinde düşük ağırlık ve yüksek mekanik özelliklere sahip materyallere olan ihtiyaçtan ortaya çıkan fiber esaslı kompozit materyaller bu alanda kendilerine oldukça fazla kullanım alanı bulmuşlardır. Geleneksel metal ve metal alaşım materyallerine oranla farklı hasar şekilleri ve davranışlarına sahiptirler. Bu nedenle geleneksel onarımlardan ziyade kompozit materyallere özgü onarım yolları geliştirilmiştir.

Ortaya çıkan hasarın yapının bütünlüğü üzerine kalıcı hasarlar vermesi durumunda hasar almış bir kompozit materyalin onarımı yapılmalıdır. Ancak bazı durumlar da onarım mümkün değildir ve parça yeni ile değiştirilmelidir.

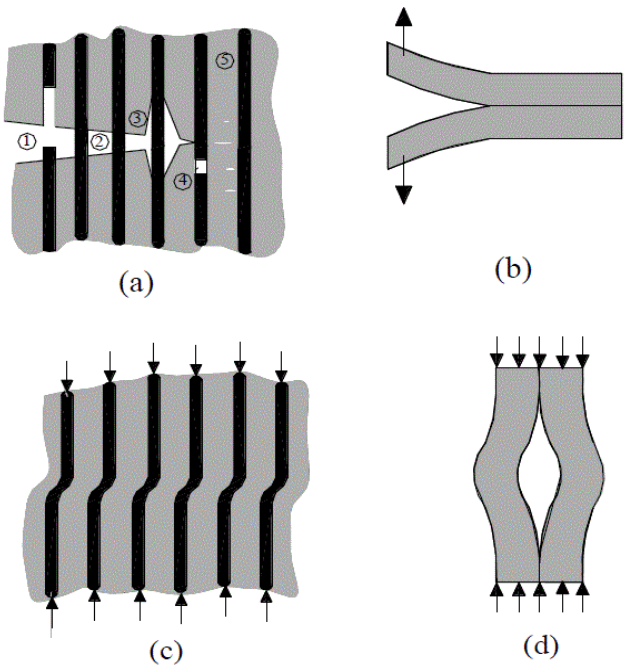
Hasar alanının büyüklüğüne göre üç çeşit onarım yolu mevcuttur.

1. Kalıcı yük altında kompozit materyalin yük taşıma kapasitesini azaltan büyük hasarlar hemen onarılmalıdır.
2. Kompozit materyalin kalıcı yükü karşılayabileceği kadar bir yüke maruz kalması durumunda onarım belirlenen döngü içerisinde yapılabilir.
3. Bazı hasarlar kompozit materyalin yükü karşılama kapasitesinde herhangi bir etki yaratmazlar sadece görsel anlamda bir onarıma ihtiyaç duyulabilir.

Kompozit materyal onarımları korozyondan dolayı mekanik dayanımı etkileyen boruların onarımı için yıllardır boru hatlarında kullanılmaktadır. ASME B31.4 ve B31.8 gibi uluslararası onarım standartları, boru hattı onarımlarında kompozit materyallerin kullanılabileceği onaylanmıştır. [5]

1.4.1. Kompozit Materyallerde Hasar Mekanizması

Tabakalı yapıya sahip kompozit materyaller metallere göre farklı hasar mekanizmalarına sahiptirler. Hasarlı bölgenin onarımından önce bir hasar durum değerlendirmesi yapılmalı ve buna göre bir onarım yolu takip edilmelidir. Genel olarak kompozit materyallerde dört çeşit hasar tipi vardır.



Şekil 1.8. Kompozit materyallerde hasar tipleri [5]

a) Düzlem içi hasarı

Bu hasar tipi, çekme gerilmesi etkisi ile kompozit tabakada bir matris çatlağı, fiber köprüsü, fiber kopması ve fiber – matris ayrılma durumları meydana gelebilmektedir. Fiber yapılarının çekme gerilmesi sonucu verilen bu hasarlardan biri ya da bir kaçı ortaya çıkabilir.

b) Tabakaların ayrılması hasarı

Düzlem dışından gelen gerilme kuvvetleri ise böyle bir hasar tipine sebebiyet verebilir.

c) Mikro boyutta burkulma hasarı

Basma gerilmesi ile ortaya çıkan bu hasar tipi ile fiberlerin mikro boyutta burulmasıdır.

d) Tabaka ayrılma burkulması hasarı

Kompozit materyallerde tabaka ayrılması yaşanan bölge veya boşluklar bulunuyor ise basma gerilmesi etkisi ile büyük boyutlarda tabaka ayrılması burkulması oraya çıkabilir.

Metal materyallerde meydana gelen yorulma çatlakları gerilmenin yoğunluğunun artması sonucu ilerler ve materyale hasar verir. Matris ise daha karmaşık olur ancak bu mekanizmada ilerlemez. Tabakalar arasında meydana gelen çatlakların tek başına

materyalin bütününe ait tabaka dayanımını herhangi bir etkisi bulunmamaktadır. Ancak çatlakların sayıca artması sonucunda dayanıma etkileri bulunmaktadır. Tabakalar da bulunan bu çatlaklar mikro düzeyde olup gözle görülemezler. Ancak yüzeyde bulunan çatlaklar gözle görülebilir ve gerekli durumlarda onarılmaları mümkündürler.

Kompozit – Alüminyum materyaller gibi birbirine temas halinde olan materyallerde, termal olarak genleşme katsayılarında ki farklılıklardan dolayı sıcaklık değişimleri sonucu yüzeylerde farklı değişimler meydana gelir. Bu nedenle yapının bütünü üzerine etkiyen darbe yükleri sonucu matris yapılarında çatlaklar meydana gelebilir.

Tabakalı yapıya sahip kompozit materyallerin tabaka yapılarının birbirinden ayrılması durumu tabaka ayrılması durumudur. Tabaka ayrılması hasarı yapıda ki tek bir tabakada da olabileceği gibi farklı tabakaların ayrılması ile de oluşabilir. Bu durumda yapının rijitliği azalır ve materyalin mekanik özelliklerini etkiler.

Tabaka ayrılması hasar durumu yalnızca yük yüklenmesi sonucu değil kimi zaman da üretim sırasına yapılan hatalar sonucu da ortaya çıkabilir. Düzlem dışı çekme kuvvetleri tabakalar arası hasara sebebiyet verir.

Fiber – matris yapılarının ayrılması bir epoksi yapısı ile birleştirilen materyallerde gözlemlenen hasar şeklidir. Yapıştırıcı materyal ile bağlantı sağlanmış yamalar ile hasarlı tabakalı yapılar arasında meydana gelir. Fiber – matris ayrılmaları üretim hataları, darbe sonucu hasarlar veya malzemelerin ara yüzeylerine bir akışkanın etki etmesi sonucu ortaya çıkabilir.

1.4.2. Onarım Çeşitleri

Malzemede bulunan hasar şekli değerlendirildikten sonra uygun bir onarım yöntemi tercih edilmelidir. Küçük çatlaklar veya görsel hasarlar, hasarın bulunduğu bölge içerisine reçine enjeksiyonu ile giderilebilirken, yama ile yapılan onarımlar daha büyük hasarlar için tercih edilmelidir. Yamanın hasarlı bir materyale bağlantı yönteminin ve yama materyalinin seçiminde şu faktörler etkilidir[5]; Statik dayanım, Parça Ömrü, Rijitlik, Aerodinamik düzgünlük, Ağırlık ve Denge, İşlem Sıcaklığı, Çevre Koşulları, Maliyet ve Zaman, Çoklu Hasar ve Gizlilik

Bir kompozit materyal yapısında oluşan hasarın önem derecesine bağlı olarak iki tür onarım şekli bulunmaktadır. Çok küçük hasarlar yapıştırıcı ya da reçinenin hasarlı bölgeye uygulanması ile onarılabilir. Ancak tabaka ayrılması gibi büyük hasarlar alternatif yük yolu sağlayan yamalar ile onarılmalıdır. [5]

1.4.3. Onarımı Etkileyen Faktörler

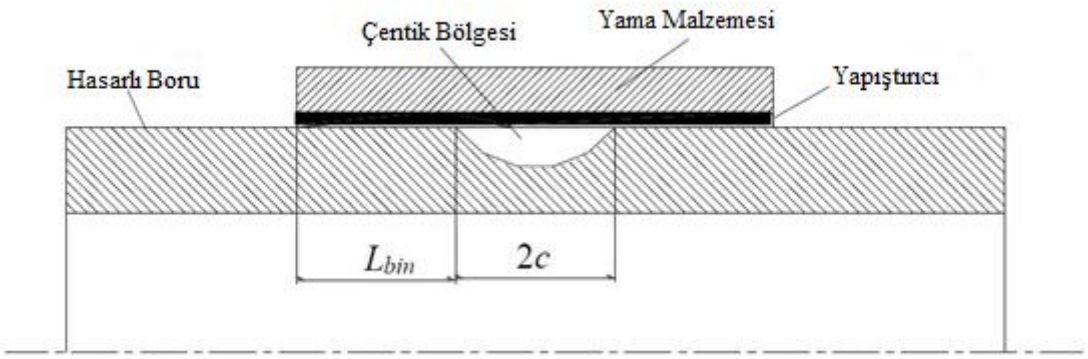
1.4.3.1. Onarımda Yama Tasarımı

Yapıştırıcı materyaller kayma gerilemelerine karşı dirençli olduklarından dolayı yama tasarımı yapıldığı zaman gerilmenin kayma etkisi ile aktarımının sağlanmasına dikkat edilir. Anca yapıştırıcı materyaller soyulma ve çekme gerilmelerine karşı dirençli değillerdir. Bu nedenle böyle bir gerilmeye maruz kalmamaları için dikkat edilmelidir. Yapıştırıcı materyal ile yapılan onarımlarda dikkat edilecek faktörler şu şekildedir;

- Birleştirilen materyaller arasındaki gerilemenin dağılımı kayma ya da basma olacak şekilde tasarım yapılmalıdır.
- Sıcaklık ve kimyasal gereklilikleri yerine getirebilecek bir yapıştırıcı materyal tercih edilmelidir.
- Yapıştırıcının uygulandığı ve bağlantının sağlandığı bölgeye ulaşım kolay olmalıdır.
- Yapıştırıcının uygulandığı yüzey alanı mümkün oldukça büyük seçilmelidir. Bu sayede ortaya çıkabilecek gerilemeler azaltılacaktır.
- Farklı materyallerin birleşimi sonucu ortaya çıkabilecek termal genleşme farklılıklarından kaynaklanabilecek gerilemeler en aza indirilmelidir.
- Birleştirme bağlantısının mekanik özelliklerinin iyi olabilmesi için uygun bir yapıştırıcı materyal kalınlığı gözetilmelidir.

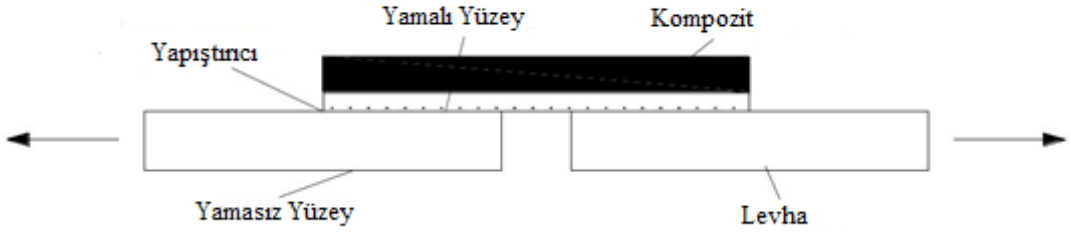
Yapıştırma bağlantılarında en çok uygulanan bağlantı şekli tek bindirmeli birleşimdir. Bu şekilde yapılan bağlantı ile kayma gerilmeleri bağlantıları sağlanan materyaller arasında bir kuvvet transferi gerçekleşir. Ancak bu şekilde gerçekleşen bağlantılarda eğilme gerilmesi ortaya çıkar bu durumu ortadan kaldırmak için ise çift

bindirmeli birleşim yöntemi uygulanır. Ancak yapıştırıcı materyal seçiminde tek bindirmeli birleşime göre testler uygulanır.



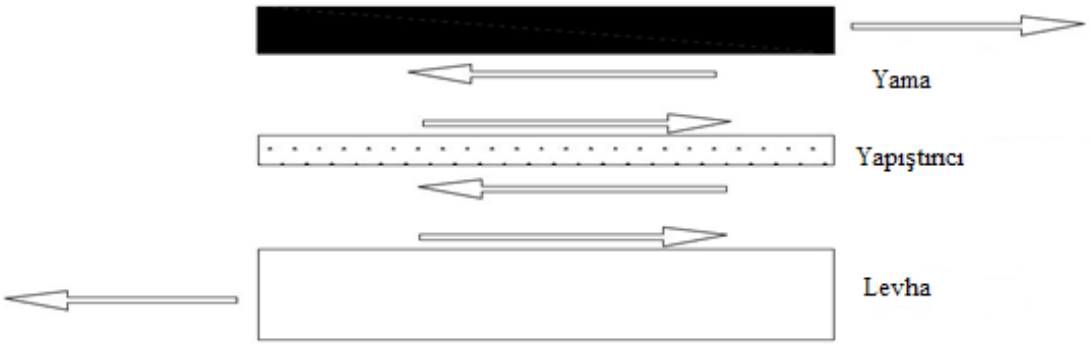
Şekil 1.9. Yama ile onarılmış bir borunun kesit görüntüsü [5]

Şekil 1.10' da ise bindirme bağlantılı bir birleşim gösterilmiştir. Birleşimde levha ve yama çekme kuvveti etkisi altında olmakla birlikte, levha ve yama arasındaki yapıştırıcı katman kayma gerilmeleri sayesinde çekme kuvvetini levhadan yama materyali üzerine aktarır.



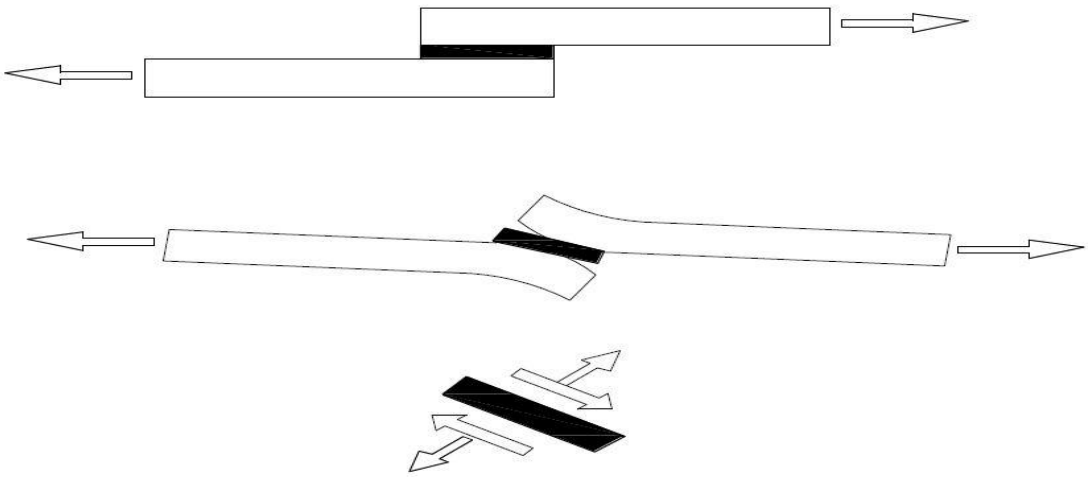
Şekil 1.10. Bindirme bağlantılı bir birleşim [5]

Şekil 1.11' de ise birleşimdeki yükün aktarımı gösterilmiştir. Tek bindirmeli bir birleşimde levha ve yama materyallerinde eğilme kuvveti etkili olmaktadır.



Şekil 1.11. Levhadan yama materyaline yükün transferi [5]

Şekil 1.12' de ise yama materyalinde oluşan eğilme gösterilmiştir.



Şekil 1.12. Yama materyalinde oluşan eğilme [5]

Levha ve yamayı birleştiren yapıştırıcı materyal katmanında, yüzeye dik olarak gelen kuvvetler ile paralel kayma kuvvetleri oluşur. Bu kuvvetler ile yapıştırıcı materyal hasarları ortaya çıkar.

Yamaya etkiyen kuvvetleri ortadan kaldırmak ya da en aza indirmek için çift taraflı bir onarımın yapılması gerekmektedir. Diğer yöntemler ise yama kenarlarının konikleştirilmesi veya bindirme uzunluğunun arttırılması ile yüzey alanının çoğaltılmasıdır.

Bir onarım işleminde bazı etkenler önem arz etmektedir. Bu etkenle ise şu şekildedir;

- Yama materyalinin mekanik özellikleri onarımı yapılacak materyale oranla daha iyi ya da en kötü eşit olması gerekmektedir.
- Onarım işlemi esnasında ortaya çıkabilecek eğilmeyi azaltmak için çift taraflı onarım yapılmalıdır.
- Tek taraflı yapılan bir onarım işleminde yama bindirme uzunluğu yama kalınlığının 100 katı, çift taraflı bir onarımda ise 30 katı olması gerekmektedir.
- Rijitlik olarak Yama / Levha oranı $E_y t_y / E_p t_p \geq 1$ olmalıdır. Burada E elastiste, t ise kalınlığı simgelemektedir.
- Yama kenarları yüksek dereceye yüke maruz kalmasından dolayı konik bir yapıda olmalıdır.

1.4.3.2. Onarımda Yama Bindirme Uzunluğu

Onarımda yamanın bindirme uzunluğu yapıştırma bağlantılarının mekanik özellikleri üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Eğer yama bindirme uzunluğu kısa ise yapıştırıcı materyal üzerine etkiyen kayma gerilmesi yüksek olacaktır. Bir yama ile onarım işleminde literatüre göre yama uzunluğu yani bindirme uzunluğu yama kalınlığının 80 ile 100 katı kadar bir uzunluğa sahip olması gerekmektedir.

1.4.3.3. Onarımda Yama Kalınlığı

Yama ile onarım işleminde, yamanın tasarımı için önemli olan bir diğer nokta ise yamanın çekme kuvvetine karşı göstereceği rijitliktir. Hasarlı bir elemana yapılacak bir yama işlemi sonucu elemanda bulunan hasarlı bölgenin hasarın boyutunu durdurmaya yarar bu işlemi gerçekleştirmek için ise hasarlı eleman üzerine etkiyen kuvvetleri taşır ve hasar bölgesini kapatarak takviye elemanı görevi yapar. Tüm bunları yapabilmek için yama tasarımı önem arz etmektedir ve yama çekme ve kayma yükleri altında kolaylıkla hasar almamalıdır.

Yama rijitliği ile onarılacak materyalin rijitliği birbirine eşit olursa eğer yapılan yamalı onarımın en etkili olduğu durum ortaya çıkmaktadır. Yama rijitliğinin onarılacak materyal rijitliğine oranı rijitlik oranı yani *SR* olarak isimlendirilir. Literatür araştırmaları

sonucunda *SR* değerinin olması gereken aralık 1 – 1.6 olmalıdır. Bu aralığın dışında olan *SR* değerleri onarımı olumsuz etkiler.

1.4.4. Onarımda Yüzey Hazırlama İşlemi

Yüzey hazırlama işlemleri, yapıştırma bağlantılarında mekanik özellikleri oldukça etkilemektedir. İyi bir yapıştırma bağlantısı için yüzey hazırlama işlemi kaçınılmaz bir işlemdir. Yüzeyde bulunan zayıf tabakaları ortadan kaldırmak ve yapıştırıcı materyalin yüzeye iyi etki edebilmesi için yapılmalıdır.

Kompozit materyallerin yüzeyleri üretim esnasında kullanılan maddeler ile etkileşim halinde olduğundan dolayı temizleme işlemine maruz bırakılmalıdır. Kompozit materyallerde temizleme işlemi bir zımpara ile yapılabilir. Yani mekanik aşındırma yöntemi tercih edilir.

Bu yöntem ile yüzeyler hem temizlenir hem de yüzeyler pürüzlü hale getirilir. Bu sayede yüzey alanı artar ve yapıştırıcı materyalin etki ettiği alan artar.

1.4.5. Onarımda Yama Materyalinin Seçimi

Bir onarım işleminde kullanılacak yama materyalinin seçiminde kullanım kolaylığı, erişilebilirlik, işlenebilir olması, mekanik özellikleri ve rijitlik gibi etkenler dikkate alınır. Yama materyalinin rijitliği üç farklı şekilde onarımı etkilemektedir.

İlk olarak, bağlantının daha fazla yük taşıma kapasitesi olur.

İkinci olarak, bağlantı gerçekleştikten sonra onarılan materyalde ki hasar bölgesinin büyüme ihtimali daha da azalır.

Üçüncü etki ise olumlu değil olumsuz bir etki ortaya çıkarır. Rijitlik ile yapıştırma bağlantısının bir arada kalma ihtimali ters orantılıdır. Daha önceden de bahsedildiği gibi bir onarılan materyal ile yama materyalinin rijitliğinin oranı 1 – 1.6 aralığında olması gerekmektedir.

1.4.6. Onarımda Yapıştırıcı Materyalinin Seçimi

Yapıştırma bağlantısı ile yapılan bir onarım işleminin tokluğu ve dayanımı büyük oranda yapıştırıcı materyalin kayma gerilmesine ve kayma modülüne bağlıdır. Kayma modülü yüksek olarak yapıştırıcı materyaller onarılan materyalin yüzeyinde oluşacak gerilme kuvvetlerinin etkilerini azaltır. Böyle önemli bir etkisi olan yapıştırıcı materyalin onarımda kullanılacağı sırada dikkat edilmesi gereken önemli faktörler vardır. Bu faktörler ise;

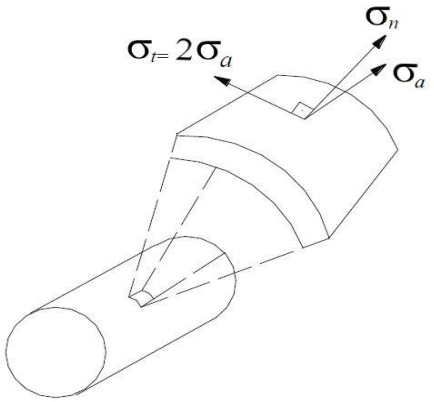
- Yapıştırıcı materyalin, çalışma sıcaklığında ki mekanik özelliklerine dikkat edilmelidir.
- Neme ve kimyasal maddelere karşı dayanıklılık göstermesi gerekmektedir.
- Yüzey hazırlama da dikkat edilecek hususlar ile uyumluluk göstermelidir.
- Mümkün olan en düşük soğuma yani kürleşme sıcaklığına sahip olmalıdır.

Yapıştırma bağlantılarında, yapıştırıcı materyal olarak köpük, macun veya film şeklinde yapıştırıcılar kullanılmaktadır. En sık tercih edilen yapıştırıcı materyaller ise epoksi, akrilikler, üretanlar, silikonlar ve polyolefinlerdir. [5]

Çok ince yapıştırıcı materyal tabakası rijit ve gevrek bir davranış sergilerken, kalın ise gözenekli ve zayıf olur. Yapıştırıcı materyalin kalınlığının artması yama rijitliğini azaltır. Fakat yama materyalinin kalınlığının artması ise şekil değişimini azaltacağından yapıştırma bağlantısının mekanik özellikleri daha iyi değerlere ulaşır.

1.4.7. Yama Yapılmış Bir Boruya Etki Eden Gerilmeler

Şekilde görüldüğü üzere ince et kalınlığına sahip silindirik kaplara, basınç durumunda yüzeye teğetsel yönde σ_t ve eksenel yönde σ_a gerilme kuvvetleri etki etmektedir. Böyle bir basınç durumunda $\sigma_t = 2 * \sigma_a$ olur. Teğetsel ve eksenel gerilme kuvvetlerine ek olarak yüzeye dik olarak σ_n gerilme kuvveti de sistemde mevcuttur ve bu gerilme kuvveti boru da dışarıya doğru bir plastik deformasyona sebebiyet vermektedir.



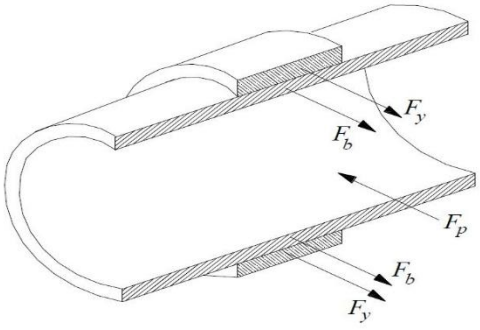
Şekil 1.13. Yama materyalinde oluşan eğilme [5]

Kompozit materyalden yapılmış bir yamanın mekanik davranışı içerisinde bulundurduğu fiber yapılarının oryantasyon açısı ile ilişkilidir. Yamada bulunan fiber yapıları çatlak ilerlemesini yavaşlattığı için çatlağa dik yönde uygulanmalıdır.

İçi dolu bir borunun maksimum basıncı boru materyali ile ilgilidir. Boru üzerine etkiyen teğetsel gerilme *Barlow* denklemi yardımı ile bulunur.

$$\sigma_t = \frac{P*r}{t} \tag{1.1}$$

Burada σ_t teğetsel gerilme, r iç yarıçap, P iç basınç ve t et kalınlığıdır.



Şekil 1.14. Onarılan bir boruda iç basınç sonucu boruya etkiyen kuvvetler [5]

İç basınç sonucu boru ve yama malzemesinin tepki kuvvetleri eşit olmak zorundadır.

$$F_p = 2(F_b + F_y) \tag{1.2}$$

Denklem 1.1 ve 1.2 kullanılarak sonuçta 1.3' de bulunan denklem elde edilir.

$$P * r_{iç} = \sigma_b * t_b + \sigma_y * t_b \quad (1.3)$$

Son olarak onarımı yapılmış bir boruya etki eden basınç kuvveti ise denklem 1.4' de olduğu gibi bulunur.

$$P = \frac{\sigma_b * t_b + \sigma_y * t_b}{r_{iç}} \quad (1.4)$$

1.5. Yorulma

Metal materyallerin yorulması, herhangi bir materyalin veya sistemin tekrarlı yükler altında zaman içerisinde dayanıklılığının kaybetmesi ve akma kuvvetinin altında bir kuvvete maruz kalması halinde bile plastik deformasyona maruz kalması durumudur.

Metal materyallerin yorulması durumu 19. yy. başlarından beri bilinen bir durum olmakla birlikte ciddi olarak bu konu üzerindeki ilk araştırmalar 20. yy ortalarında başlamıştır. Bilim dünyasını böyle bir araştırmaya iten durum ile 1954 yılında *Comet* isimli İngiliz jet uçağının basınçlı olan kabininin yarılıp uçağın düşmesi üzerine başlamıştır. Bu olayın nedenleri tam olarak belirlenememesine rağmen yorulma kavramının üstesinden gelinmesinin çeşitli yolları bulunmuştur.

Yorulmaya başlayan bir metal materyalin, yorulma durumu asla son bulmaz. Sistem ne kadar çalışmadan beklese bile çalışmaya başladığı zaman tekrar yorulma kaldığı yerden devam edecektir.

Yorulma durumu bütün materyallerde gevrek bir kırılma oluşturur. Eğer statik yükler altında bir materyal çekme kuvvetine maruz bırakılırsa ve etkiyen yük akma noktasını geçerse materyalin kesitinde daralma, boyunda ise uzama gözlemlenecektir. Ancak bir materyalin yorulma testi ile yorulmaya maruz bırakırsak belirgin bir plastik deformasyon gözlenmeden önce materyal içerisinde çatlak oluşumu ortaya çıkacaktır. Bu çatlaklar testin ilerleyen sürecinde materyalin kırılmasına sebebiyet verecektir.

Yorulma durumu, düzey düzgünlüğünü bozan çatlak, çentik vb. yüzeysel hatalardan dolayı oluşabildiği gibi içyapıda bulunan gerilmeler, boşluklar, kılcal çatlaklar vb. sebeplerden dolayı da oluşabilir. Materyal içerisinden olan ya da sonradan ortaya çıkan kılcal çatlaklar o anda bir kırılmaya sebebiyet vermez. Kılcal çatlaklar, gerilme kuvveti ve çevrim sayısı ile doğru orantılı olarak ilerlemektedir.

1.5.1. Yorulmaya Etkiyen Faktörler

Yorulma durumunu etkileyen birden çok etmen bulunmaktadır. Bu etmenleri kısaca açıklayacak olursak ilk olarak parça boyutları yorulma üzerinde etkili bir durumdur. Materyal boyutunun fazla olması materyal içyapısında ve yüzeyinde bulunan ya da bulunabilecek hataların sayısını arttıracaktır ve bu hatalar yorulma karşı olan direnci azaltacaktır.

İkinci etmen ise yüzey durumudur. Yorulma hasarlarının yüzeyden başlaması nedeni ile yüzey pürüzlülüğünün ortadan kaldırılması, materyalin yorulmaya karşı olan direncini arttıracaktır.

Üçüncü olarak materyalin içyapısının yorulma üzerinde etkileri mevcuttur. Atomik boyutta tane boyutu yorulma dayanımını etkiler. Daha küçük bir tane boyutu çekme gerilmesine karşı dayanımı arttırdığı gibi yorulmaya karşı olan dayanımı da arttıracaktır.

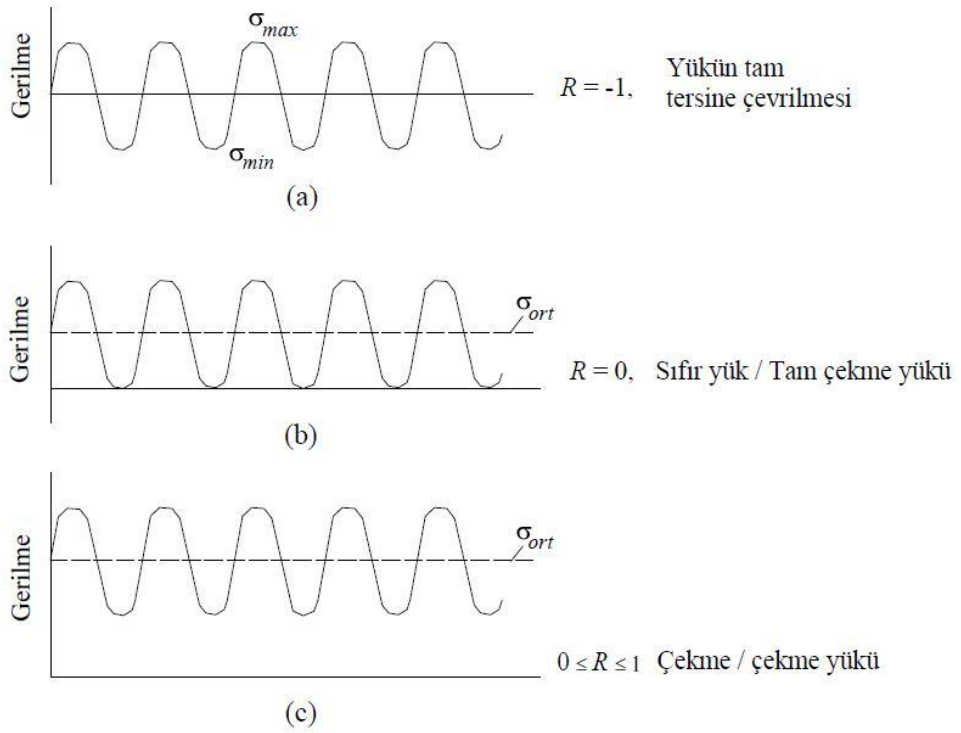
Dördüncü etmen ise sıcaklıktır. Bir materyalin yorulma dayanımı sıcaklık ile ters orantılıdır. Materyalin veya ortamın sıcaklığı arttıkça yorulma dayanımı azalır.

Beşinci durum ise gerilme yığılması etkenidir. Herhangi bir bozukluk barındırmayan, yüzey pürüzlülüğü oldukça düşük olan bir materyalin akma gerilmesine kadar olan kuvvetler atomik olarak birleşim bölgelerinde yerel hareketler göstererek kayma bölgeleri oluşturur ve bu durum yüzeyde girinti çıkıntı oluşturur bu durumda gerilme yığılmasına sebebiyet verir.

Altıncı etmen ise metal ya da metal alaşım materyallerinin soğuk olarak işlenmesi sonucunda yorulma dayanımı düşer. Fakat soğuk işlenen bu materyaller kaynar halde bulunan suya daldırılması halinde yorulma dayanımı tekrar bir miktar artar. Yedinci ve son olarak korozyonun yorulmaya etkisidir. Korozyon metallerin yüzey pürüzlülüklerini bozar ve ikinci etmende bahsedilen durumlardan dolayı yorulma dayanımı düşer.

1.5.2. Gerilme Kuvveti – Çevrim Sayısı Eğrisi

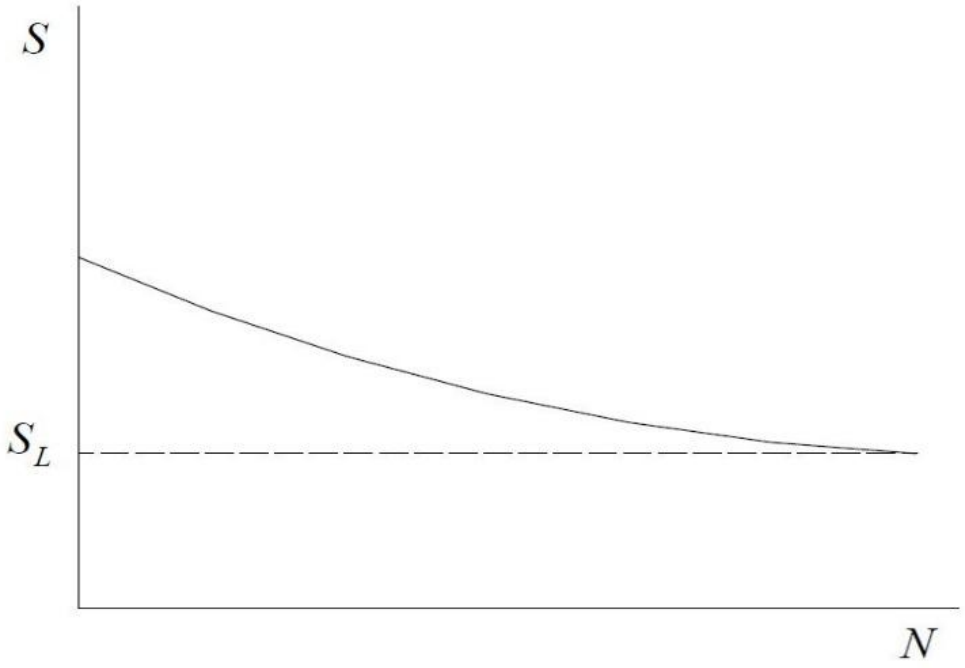
Bir materyalin yorulma dayanımı yorulma yüklemesine karşı materyalin davranışıdır. Materyalin yorulma dayanımı yükün çevrimi ile ters orantılıdır. Çalışma koşullarında sünek yapılı bir metal materyal bile tekrarlı yükler yani çevrimler etkisi ile gevrek bir materyal gibi kırılır. Hasar durumunun meydana geldiği çevrim sayısı gerilme kuvveti, gerilme durumu, çevrim şekli, materyal bileşimi ve çevresel koşullara bağlı olarak değişiklikler göstere bilir. [5]



Şekil 1.15. Farklı yükleme durumları için R oranları [5]

Çevrim yükü etkisinde materyallerin yorulma davranışı S – N eğrisi ile gösterilmektedir. Bu eğri ile S maksimum gerilme ya da gerilme genliği olarak ifade edilir. N ise çevrim sayısını sembolize etmektedir.

S – N arasındaki ilişki, yorulma etkisinde hasara uğrayacak materyallerin bu duruma olan eğilimini gösteren bir eğri ile belirtilir. S_L yani yük limiti ise bu durumun alt limitidir. Genel olarak S_L' nin altında bir kuvvete maruz kalan materyallerde hasar oluşmaz.



Şekil 1.16. S – N eğrisi [5]

Şekilde ki eğri sinüzoidal kuvvetler ile yükleme durumlarında farklı gerilmelerde test materyallerinin yorulma deneyi sonucunda elde edilir. Materyallerin birçoğu için test esnasında gerilme azaldıkça çevrim sayısında artış devam eder.

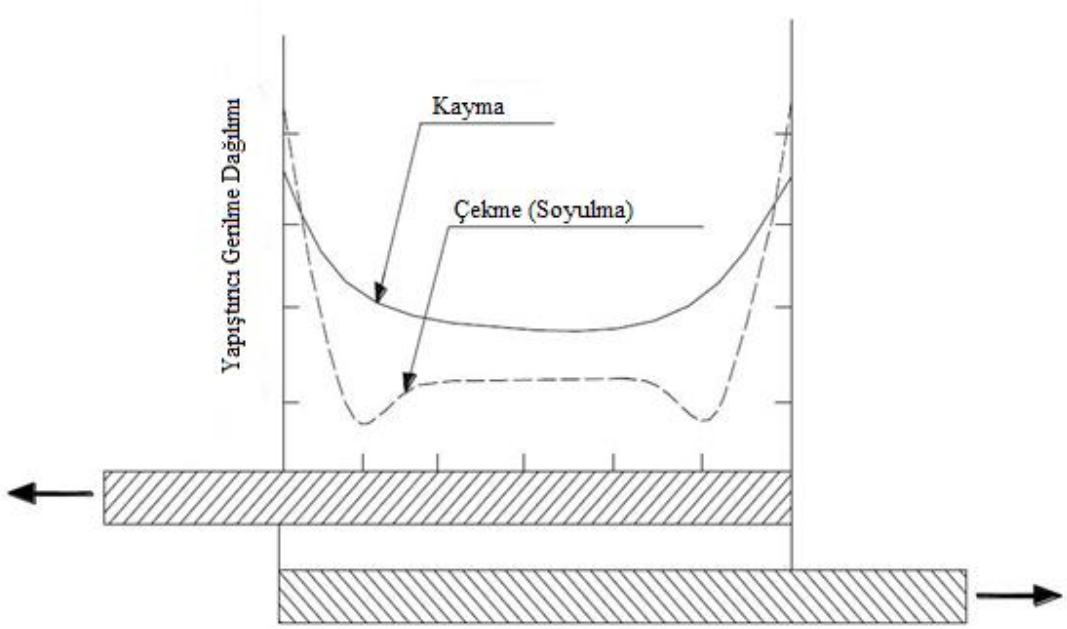
Genel olarak bir materyalin yorulma gerilmesi akma gerilmesinin %40 - % 50' si civarlarında değişiklik göstermektedir. Eğer bir materyal yorulma gerilmesinin altında bir gerilmeye maruz kalıyor ise o materyalde asla yorulma çatlakları gözlemlenmez ve bu materyalin ömrü için sonsuz ömürlülük kabul edilir.

Bunlara ek olarak fiberin takviye yapısı olarak kullanıldığı kompozit materyallerde yorulma limiti gözlemlenmez ve S – N eğrisinin eğimi düşük gerilme kuvvetlerinde azalır. Böyle bir durumda 10^6 – 10^7 gibi bir çevrim sayısına ulaşılarak malzemesin yorulmaya karşı dayanımı belirlenir. Yorulma kuvveti, gerilme kontrolü ve şekil değiştirme kontrolü olmak üzere iki türlü uygulanmaktadır.

Gerilme kontrolü, çevrim sırasında gerilmenin maksimum ve minimum olduğu aralıkta değişir. Bu sırada da gerilmenin genliği sabit kalmaktadır. Şekil değiştirme kontrolü ise, çevrim sırasında maksimum ve minimum şekil değiştirme veya deplasman ile kontrolü sağlanır.

1.5.3. Yapıştırma Bağlantısı ile Bağlanmış Materyallerde Yorulma

Yapıştırma bağlantısı ile bağlanmış materyaller de çekme, basma, kayma, eğilme ya da tümü aynı anda materyal üzerine etkiye bilir. Böyle bir materyal üzerine etki eden kuvvetler sonucunda, yapıştırıcı materyal ve yapıştırılan materyaller arasında ki elastik farklılıklardan dolayı üniform[6] bir gerilme alanı oluşmaz. Şekilde tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında ki çekme ve kayma gerilmelerinin dağılımları gösterilmektedir.



Şekil 1.17. Tek bindirmeli yapıştırıcı materyal ile bağlanan materyaller üzerinde ki çekme ve kayma gerilmeleri [5]

Çevrim ile ortaya çıkan yükleme yorulma çatlakları gerilmenin yoğun olduğu bindirmenin kenar kısımlarında başlar. Çift bindirmeli yapıştırıcı materyal ile bağlanan materyallerde, yapıştırıcı materyaller içte ve dışta bulunan kavisli bölgelerde şekil değiştirme ve gerilme kuvvetlerinin yoğun olduğu yerlerdir.

[6] Homojen dağılım

Yorulma çatlağı şeklinde olan bir hasar tipi yapıştırıcı materyalde ya da yapıştırıcı materyalin ara yüzeyinde meydana gelmektedir. Çift bindirmeli bileşimlerde ise yorulma çatlağı her iki yapışma alanında oluşmaktadır. Yapıştırma bağlantısının olduğu bölgelerin herhangi birinde oluşan çatlak, diğer yapışma bağlantısının olduğu bölgede de çatlak başlamasına sebep olabilir.

Kimi durumlarda ise yapıştırıcı materyalde oluşan bir çatlak doğrultu değiştirip kompozit materyal yama da tabaka ayrılmasına sebebiyet verebilir. Tabakalar arası ayrılma hasarı yapıştırıcı materyalde oluşan çatlak hasarlarından çok daha hızlı ilerler.

Birçok tabakalı kompozit materyalin tabakalar arası yorulma dayanımı yapıştırıcı materyale oranla daha düşüktür. Çatlak yapıştırıcı materyalde değil de kompozit materyalin tabakları arasında başlar. Bu durumun net ifadesi ise bu koşullarda bir yapıştırıcı materyal ile yapılan bağlantı uygun bir bağlantı olamaz.

1.6. Sonlu Elemanlar ile Nümerik Analiz

Yüke maruz kalan bir materyalde üzerine etkiyen gerilme kuvvetlerini ve deformasyonların materyal üzerinde ki dağılımını bilmek gerekmektedir. Böyle bir durumda genel olarak sonlu farklar, sonlu elemanlar ve sınır integral gibi nümerik yollar tercih edilmektedir. Son yılarda ise sonlu elemanlar yöntemi sıklıkla kullanılır olmuştur.

Sonlu elemanlar ile yapılan nümerik analizler mühendislik yapılarının mekanik davranışlarını belirlemek adına kullanılan ve bilgisayarlar yardımı ile yapılan nümerik analiz yöntemidir. Yapıda ki deformasyonları, gerilme kuvvetlerini, vibrasyonu, burkulma vb. birçok senaryoyu hesaplamak için kullanılır. Sonlu elemanlar yöntemi ile elastik veya plastik deformasyonlar belirlenebilir.

Sonlu elemanlar yöntemi ile basit ya da karmaşık materyaller daha basit birçok parçaya ayırılır. Bu sayede parçaların her biri bağımsız parçalar olarak ele alınır ve bütüne oranla daha basit eşitlikler ile çözüme ulaşılabilir. Ardından tüm bağımsız parçaların analizleri sonucu elde edilen verilerin birleştirilmesi ile bütünün mekanik davranışı belirlenir. Sonuç olarak bilgisayar yardımı ile yapılan bu işlemler sonucunda materyalin bütününe ait gerilme ve uzamalar elde edilebilir.

1.6.1. Sonlu Elemanlar ile Nümerik Analizin Faydaları

Sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analizlerde bilinmesi gereken en önemli konu sonuçlar gerçek %100 uyum sağlamaz, her daim yaklaşık sonuçlar elde edilir. Yani sonlu elemanlar yöntemi interpolasyon formülleri ile yaklaşık sonuçlar verir. Sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analizler karmaşık materyallerin bilgisayarda değerlendirilmesine imkân sağlar. Böyle bir sistemin yokluğunda tasarımın mekanik davranışlarının bilinirliği insan hesaplamalarına bağlıydı.

Karmaşık materyaller için iş yükünün oldukça ağır olduğu hesaplamaları kolaylıkla hesaplamaya imkân sağlar. Bu sayede tasarım süreci çok daha hafifler ve bilgisayar ortamında yapılan analizlerin bir getirisi olarak prototiplerin sayısında azalma meydana gelir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Tez konusu kapsamında yapılan literatür taraması sonucunda giriş kısmında gerekli görülen bilgilerin verildiği kompozit, alüminyum ve yapıştırıcı materyallerin günümüz koşullarında sıklıklar tercih edildiği kanısına varılabilir. Bu denli yaygın bir kullanıma sahip olan bu materyaller dolayısı ile birçok araştırmanın baş konusu da olmuşlardır. Fakat tez konumuzu diğer çalışmalardan ayrıdan temel farklılıklar bulunmaktadır. Tüm bu farklılıklara tezin diğer bölümlerinde geniş olarak ele alınacak olup bu başlık altında literatürde bulunan bazı çalışmaların içerikleri hakkında bilgiler verilmiştir.

Karaman (2017) çalışmasında, eliptik delikli AA-5083 alüminyum levhaların çift taraflı bindirme bağlantısının eğme yükü altındaki davranışları nümerik olarak hesaplanmıştır. Bindirme bağlantısı olarak cam elyaf takviyeli kompozit malzeme kullanılmıştır. Bağlantılar DP460 yapıştırıcı malzemesi kullanılarak oluşturulmuştur. Nümerik analizler için sonlu elemanlar analiz programı olan ANSYS 14,5 kullanılmıştır. Bu analizde bindirme uzunluğu(H), elips büyük yarıçapı(R), elips küçük yarıçapı(r) değişimlerinin eğme davranışına etkisi incelenmiştir. Her numune için hasar yükleri bulunmuştur. σx , σy , σz, σeqv , τxy , τyz, τxz gerilme dağılımları incelenmiş ve grafiklerle gösterilmiştir.

Erkek (2018) çalışmasında, dış kısmından yama ve yapıştırıcı kullanılarak tamir edilmiş kompozit levhaların burkulma davranışlar üzerine termal yaşlanma etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Ortasına dairesel delik açılmış, sekiz tabakalı epoksi reçine matrisli örgülü cam elyaf takviyeli kompozit levhalar yine aynı levhalardan elde edilen yamalar ile birleştirilmiştir. Tek ve çift yüzünden yama yapılarak tamir edilen kompozit levhalarda sıcaklık değişimi ve yapıştırıcı kalınlığı parametrelerinin değişiminin burkulma yükü üzerine etkilerini araştırmıştır.

Çay (2016) yüksek lisans tezinde, bünyesinde çatlak bulunan levhanın, kompozit yama ve yapıştırıcı ile tamirinde, tek tip yapıştırıcının kullanıldığı mono model ve mekanik özellikleri aynı olmayan iki farklı yapıştırıcının birlikte kullanıldığı hibrit modelin, tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında kayma gerilmesi ve kırılma enerjisine etkisini incelemektir

Ergün (2014) bu çalışmasında, eliptik delikli AA-5083 alüminyum levhalar ve cam elyaf takviyeli kompozit yamalardan, DP460 yapıştırıcı malzemesi kullanılarak çift taraflı bindirme bağlantıları oluşturulmuş. Çekme yüküne maruz bırakılarak hasar yükleri ve gerilme davranışları, deneysel ve nümerik olarak incelemiştir.

Ahlatlı (2018), eliptik hasara sahip kompozit levhaların tek taraflı bindirme bağlantısı kullanılarak tamiri incelenmiştir. Ramazanoğlu (2018), bu çalışmasında, eliptik hasarlı tabakalı kompozit levhaların tamirinde; yama boyutları ve yama tabaka sayısının çekme gerilme davranışına etkisi deneysel ve sayısal olarak araştırılmıştır.

Canbolat (2018) çalışmasında Al 2024 T3 levhaların hasar durumunda kompozit yamalar vasıtasıyla tamiri incelenmiştir.

Soy (2005) çalışmasında, tek taraflı yamalı yapının zorlama davranışı incelemiştir. Grafit / Epoksi yama ile yapıştırma tekniği kullanılarak tamir edilmiş Al 2024 T3 tabaka çekme ve eğme altında davranışlarını incelemiştir.

Saylık (2016) çalışmada, çentikli Alüminyum levhalar kompozit yama ile yapıştırılarak tamir edilmiştir. Tamiri yapılan 5754 Alüminyum levhalar; çentik boyu ve çentik genişliği temel alınarak beş farklı çentik boyutunda hazırlanmıştır. Çentikli Alüminyum levhalara tek ve çift taraflı kompozit yama uygulanarak iki farklı tamir işlemi yapılmıştır.

Parlamış (2016) çalışmasında, hasar görmüş karbon fiber takviyeli pim delikli kompozit numunelere epoksi yapıştırıcı kullanarak yama yapılmıştır. Toplamda dört tabakalı olan bu numuneler simetrik ve antisimetrik tabaka dizilimine sahiptir. Fiber takviye açıları ve tabaka dizilimleri değişken parametrelerdir.

Günaydın (2010) bu çalışmada farklı kat sayılı kompozit yamalarla onarılmış, boyut oranları a/c=0.2 ve a/t=0.75 olan yüzey çentikli kompozit borular yorulma yüküne maruz bırakılmıştır ve yorulma davranışları araştırılmıştır.

Baklavacıoğlu (2005) çalışmasında, sonlu elemanlar yöntemi ile çatlaklı yapılarda yorulma ömrü ve tahminleri gerçekleştirilmiştir. Farklı gerilme değerleri ile çatlak uzunluklarının yorulma ömrüne etkisi araştırmıştır.

Aydın M. D. (2015), kayma yüküme maruz kalmış bir yapıştırma bağlantısında yapıştırıcının gerilme – şekil değiştirme davranışını tekrarlı yükler altında belirlemek amacı ile yapılmıştır.

Zarrinzadeh, Kabir ve Deylami (2017), yılında yapmış oldukları çalışmada silindirik formda çatlaklı bir alüminyum boru üzerinde çalışmışlardır. Çalışmalarında Yorulmanın çatlak büyümesi üzerine etkilerini araştırmış olup, çalışma deneysel ve nümerik olarak oluşturulmuştur. Deneylerde ve analizlerde numuneler çekme yükü altına incelenmiştir. Sonuç olarak cam – epoksi ile yama uygulanması sonucunda alüminyum numunelerin yorulma ömürlerinde bir aratışın ortaya çıktığı bulgularına ulaşılmıştır.

Zarrinzadeh, Kabir ve Deylami (2017), yılında yapmış oldukları bir başka çalışmada, yine bir silindirik formdaki çatlaklı alüminyum borunun, yama uygulanması sonucunda ki yorulma ömrü incelenmiştir. Ancak yapmış oldukları diğer çalışmadan farklı ise burada yama materyali olarak kullanılan cam – epoksi materyalinin tabaka sayısı değiştirilmiştir. Ayrıca yama boyunun da yorulma ömrü üzerine etkisini araştırmışlardır. Elde ettikleri sonuç bakımından tabaka sayısının artması ile yorulma ömrü arasında doğru orantılı bir ilişki bulunurken, örtme boyu arasında ters orantılı bir ilişki vardır.

Liu, Qiu, Zhao, Chen, Liu P., Gao (2017), yılında yapmış oldukları çalışmada silindirik formdaki çatlaklı alüminyum borunun, yama uygulanması sonucunda ki yorulma ömrü incelenmiştir. Burada yama materyali olarak kompozit bir materyal seçilmiş olup, çalışmada tabaka sayısının yorulmaya olan etkisi araştırılmıştır. Sonuç olarak tabaka sayısı ile yorulma ömrü arasında doğru orantılı bir ilişkinin olduğu tespit edilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu tez çalışması kapsamında, nümerik analizler *ANSYS 15.0 WORKBENCH* paket programı kullanılarak yapılmış olup. Analizler esnasında Al 6063 alüminyum için boş boru, $[0/90]_2$ cam – epoksi ve DP460 endüstriyel yapıştırıcı olmak üzere üç adet materyal programa tanımlanmış olup bu materyaller üzerinde yorulma analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler çeki – bası ve burulma analizleri olarak gerçekleştirilmiş olup. Analizlerde modellenmiş olan üç boyutlu tasarımlara çizim detayları ve yine materyallere ait çeşitli mekanik değerler alt başlıklarda verilmiştir.

3.1.1. Materyallere Ait Mekanik Özellikler

Ansys programında gerçekleştirilen yorulma analizlerinde kullanılan ve programa çeşitli mekanik özellikleri girilen Al 6063 için boş alüminyum boru, $[0/90]_2$ cam – epoksi ve DP460 endüstriyel yapıştırıcı materyallere ait mekanik özellikler Tablo 3.1, 3.2, 3.3 ve 3.4' de verilmiştir.

Tablo 3.1 Al 6063 İçi Boş Alüminyum Boruya Ait Mekanik Özellikler [22]

Elastiste Modülü	69000 N/mm^2
Poisson Oranı	0.33
Kütle Yoğunluğu	2700 kg/m^3
Gerilme Mukavemeti	150 N/mm^2
Akma mukavemeti	90 N/mm^2
Termal Genişleme Katsayısı	2.34e-005 /K
Termal İletkenlik	193 W/(m·K)
Özgül Isı	900 J/(kg·K)

Tablo 3.2 $[0/90]_2$ Cam – Epoksi Kompozit Materyalin Mekanik Özellikleri [1]

$\boldsymbol{E_1}$	47902 N / mm^2
$\boldsymbol{E_2 = E_3}$	20395,25 N / mm^2
$\boldsymbol{G_{12} = G_{13} = G_{23}}$	4941 N / mm^2

ϑ_{12}	0,253
$\vartheta_{13} = \vartheta_{23}$	0,106

Tablo 3.3 DP460 Endüstriyel Yapıştırıcıya Ait Mekanik Özellikler [9]

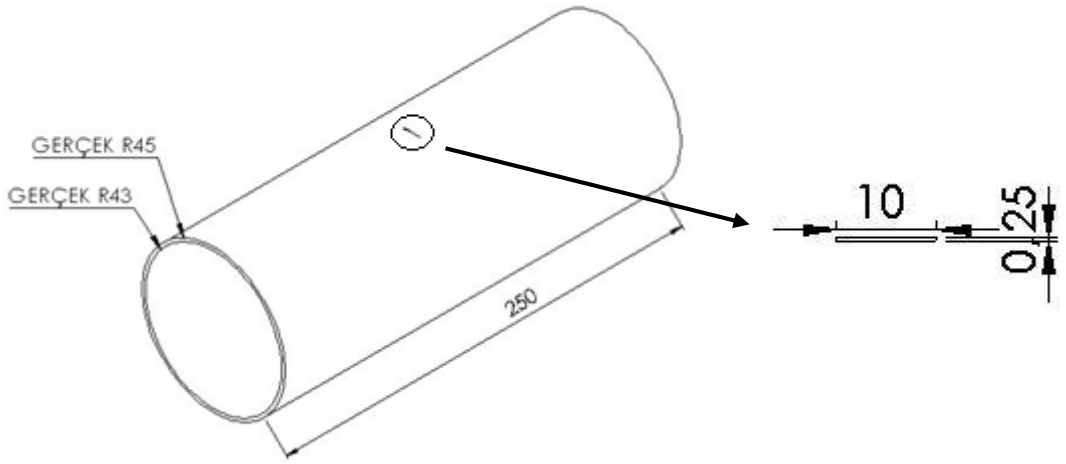
Elastiste Modülü	2077,1 MPa
Poisson Oranı	0.38
Çekme Dayanımı	44,616 MPa

Tablo 3.4 DP460 Endüstriyel Yapıştırıcıya Ait Yapıştırıcı Özellikleri [22]

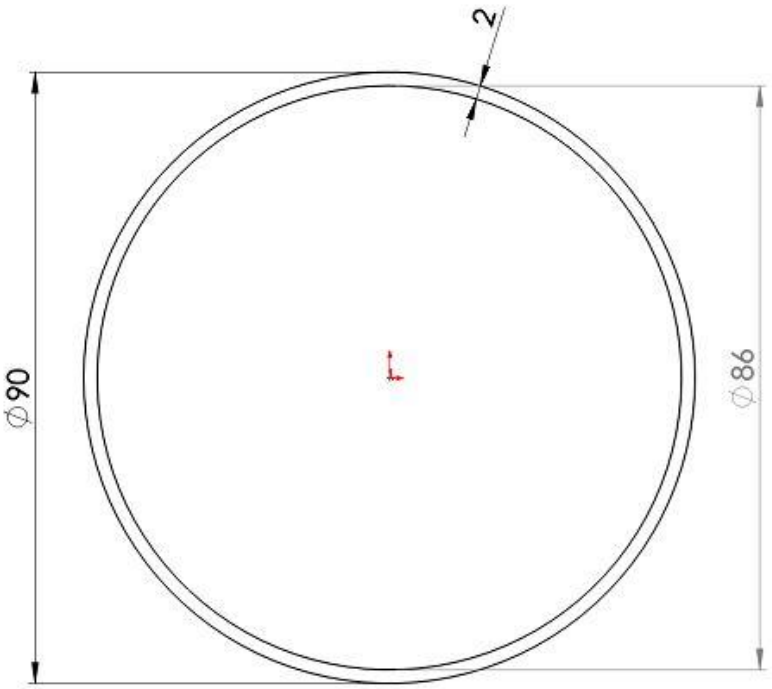
Yapıştırıcı Kalınlığı	0,25 mm
Lineer Limitteki Kayma Gerilmesi	23,99 MPa
Lineer Limitteki Kayma Gerinmesi	4,256 x 10^{-5} m.J.mm^{-2}
Kayma Dayanımı	33,35 MPa
Kayma Modülü	560 MPa

3.2. Analiz Numunelerinin Detayları

Analizleri yapılan tüm numuneler üç boyutlu olarak modellenerek tüm yorulma analizleri gerçekleştirilmiştir. Kullanılan numunelere ait ölçüler ve çeşitli bilgiler Şekil 3.1 ve 3.2' de detaylı olarak verilmiştir.



Şekil 3.1. Al 6063 Boruya Ait İzometrik Görünüş ve Çatlak Bölgesi



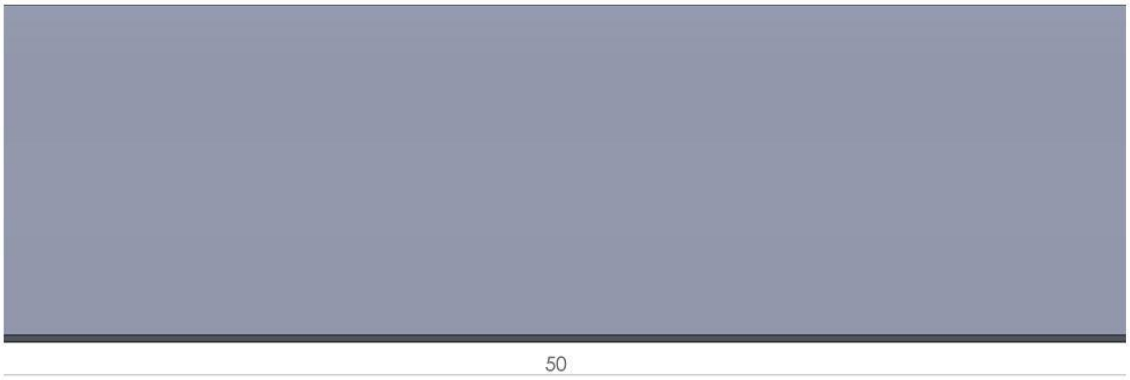
Şekil 3.2. Al 6063 Boruya Ait Ön Görünüş ve Çatlak Bölgesi

Şekil 3.1 ve 3.2 incelendiği zaman borunun iç çapının 86 mm dış çapının ise 90 mm olduğu ayrıca numune boyunun 250 mm olduğu görülmektedir. Burada seçilen ölçülerin tümü yapılan piyasa araştırması ve literatür çalışmaları doğrultusunda seçilmiştir. Ayrıca boru üzerinde hasar alanı olması amacı ile oluşturulmuş bir çatlak bölgesi bulunmaktadır. Çatlak bölgesi şekilde 10 mm olarak görünse de nümerik analizlerde çatlaklar 1, 3, 5, 7 ve 10 mm olarak çeşitlendirilmiştir. Fakat çatlak yüksekliği 0.25 mm olarak sabit tutulmuştur.

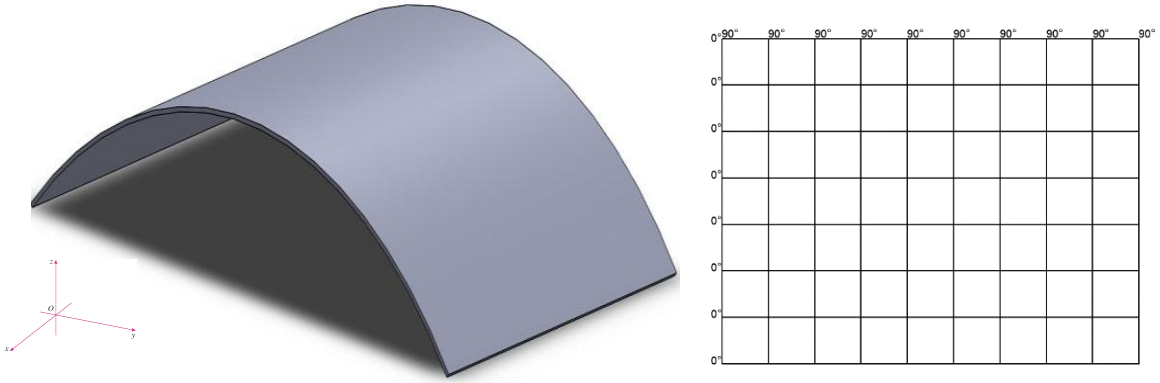


Şekil 3.3. $[0/90]_2$ Cam – Epoksi' ye Ait Çeyrek Daire Formunda Yamanın Ön Görünüşü

Şekil 3.3 incelendiği zaman 4 tabakadan oluşan bir cam – epoksi materyalinin kalınlığının 0,4 mm olduğu gözlemlenmektedir. Buda 0,4 mm seçilmesinin nedeni ise mekanik özelliklerinin alındığı 1 numaralı kaynakçada verilen kalınlık olarak alınmıştır.



Şekil 3.4. [0/90]$_2$ Cam – Epoksi' ye Ait Çeyrek Daire Formunda Yamanın Sol Görünüşü

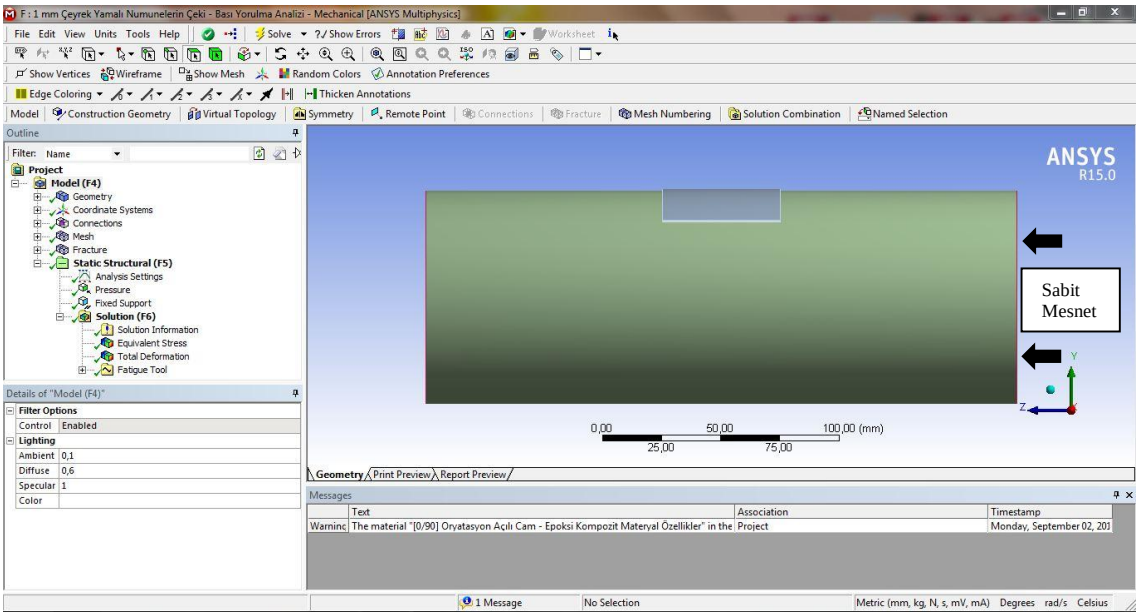


Şekil 3.5. [0/90]$_2$ Cam – Epoksi' ye Ait Çeyrek Daire Formunda Yamanın İzometrik Görünüşü Ve Fiberlerin Yönelim Açısı

3.3. Nümerik Çalışma

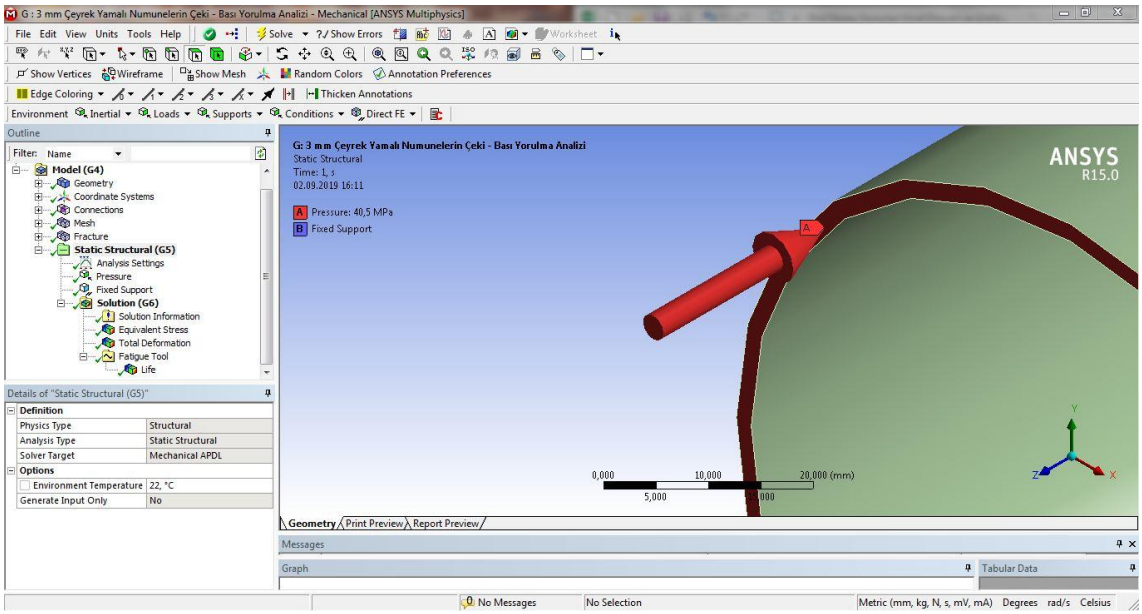
Nümerik çalışma, tez içeriği kapsamında bilgisayar ortamında gerçekleştirilmiş olup çeşitli yorulma verilerin elde edilmesi üzerine kuruludur. Bu başlık altında çalışmanın nasıl ilerlediği, elde edilen verilere, çeşitli görsel sunumlara ve elde edilen verilerin karşılaştırmalı grafiklerine yer verilmiştir. Yorulma analizleri, şekil 3.1 ve 3.2, 3.3, 3.4 ve 3.5' te verilen ölçülere göre *Solidworks 16* paket programında modellenen numuneler, *Ansys Workbench 15' de* gerçekleştirilmiştir.

Analizler, çeşitli çatlak uzunluklarına sahip alüminyum boruların bazılarının yamasız bazılarının ise çeyrek ve yarım daire formundaki 0,4 mm kalınlığa sahip cam – epoksi kompozit materyal ile DP 460 endüstriyel yapıştırıcı yardımıyla yama olarak uygulanması durumları düşünülerek modellenmiş ve gerçekleştirilmiştir. Yapılan nümerik analizlerin tümünde materyallerin bir tarafı sabit mesnet olarak programa tanımlanmıştır. Bahsi edilen durum Şekil 3.6' da görülmektedir.



Şekil 3.6. Yorulma Analizlerinde Sabit Mesnet Durumu

Ansys paket programında yapılan analizler iki aşamadan oluşmaktadır. Bir aşamada çeki – bası yorulması üzerine bir çalışma yapılmış iken, diğer aşama ise burulma yorulmasıdır. Burada, çeki – bası yorulması analizlerinde materyalin bir tarafı sabitlenmiş olup, diğer tarafına ise yüzeyden bir basınç uygulanmıştır. Uygulanan basıncın yeri Şekil 3.7' de görülmektedir.



Şekil 3.7. Çeki – Bası Yorulma Analizlerinde Basıncın Uygulanma Yeri

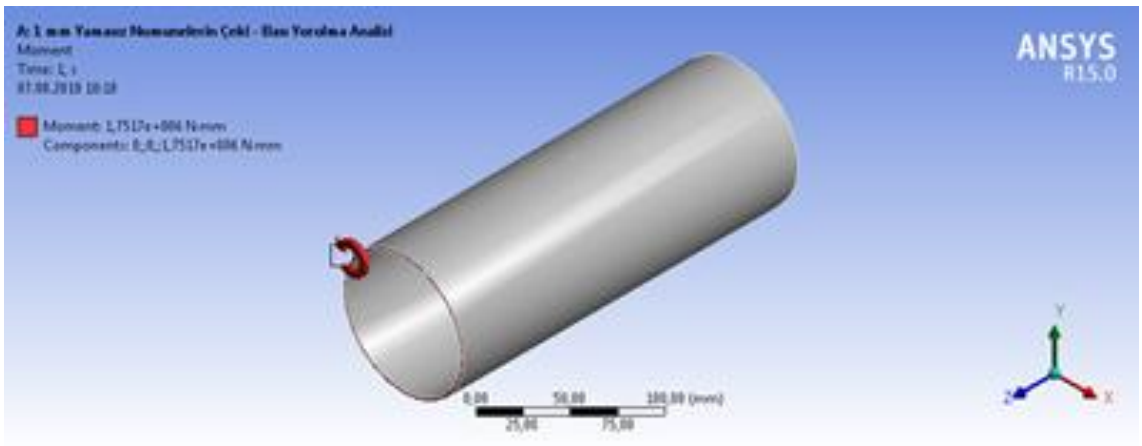
Burada uygulanan basınç için;

$\sigma_A = 90\ N/mm^2$

$Uygulanan\ Basınç = \ \sigma_a * 0{,}45 = 40{,}5\ N/mm^2$

Akma mukavemeti ve %45 değeri yapılan literatür çalışmaları üzerine kullanılmıştır.

İkinci aşamada burulma yorulması için materyalin sabit mesnet durumu Şekil 3.6 ile aynı bölge olup ve döndürme momentinin uygulandığı bölge ise Şekil 3.8 görülmektedir.



Şekil 3.8. Burulma Yorulması Analizlerinde Döndürme Momentinin Uygulanma Yeri

Burulma yorulması için Al 6063 materyali üzerine etki eden döndürme kuvveti için yapılan literatür araştırması sonucunda;

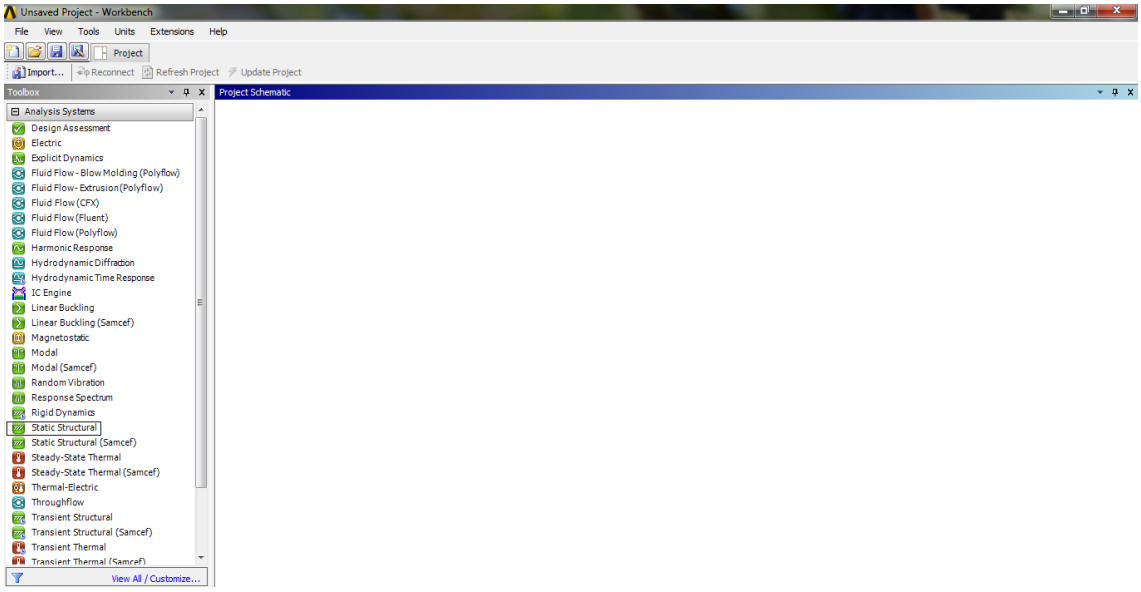
$Yüzey\ Alanı = \pi r^2 = (\pi * 45^2) - (\pi * 43^2) = 552{,}64\ mm^2$

$Döndürme\ Kuvveti = Yüzey\ alanı * r * 0{,}80$

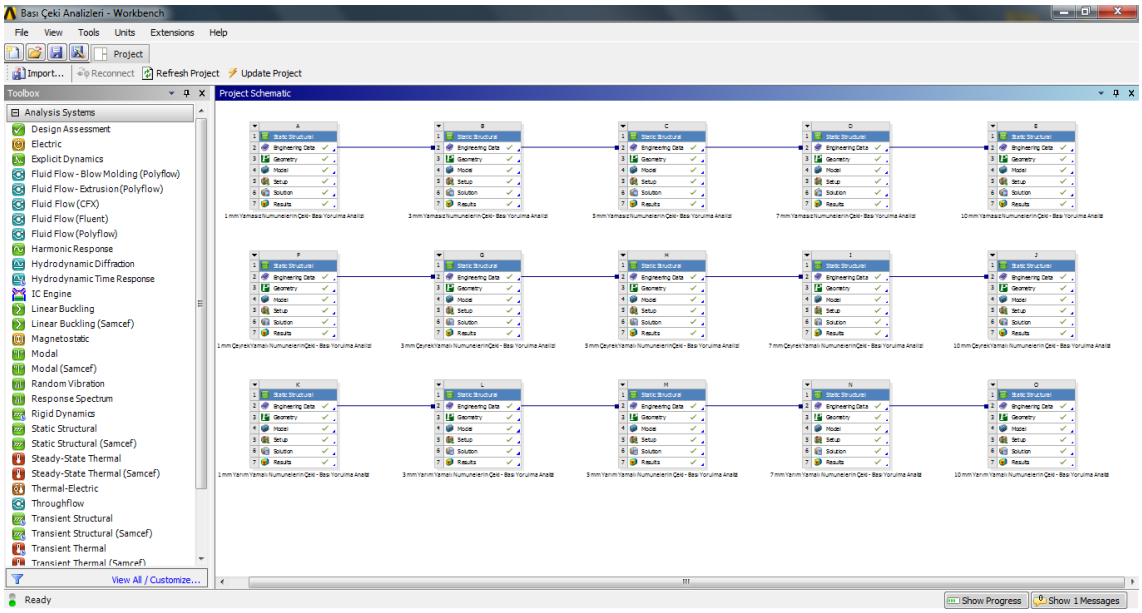
$Döndürme\ Kuvveti = 17{,}51 * \ 10^5\ N.mm$

Döndürme kuvveti bulunurken kullanılan %80 değeri yapılan literatür çalışmaları üzerine kullanılmıştır. Sonuç olarak elde edilen $17{,}51 * 10^5\ N.mm$' lik değer materyal üzerine tanımlanmıştır.

3.3.1. Çeki – Bası Yorulma Analizleri

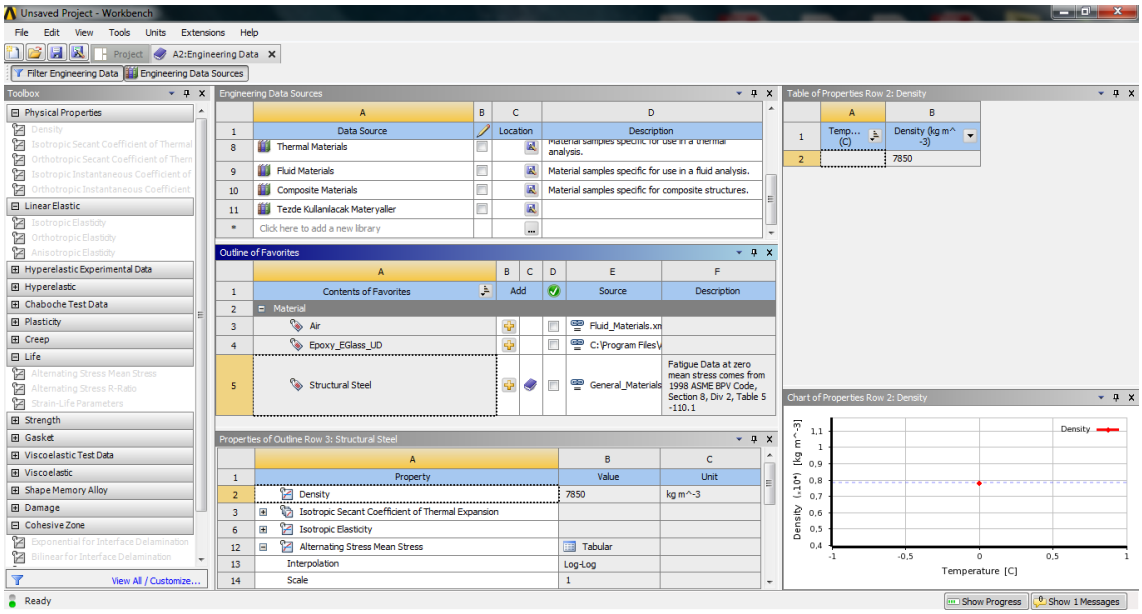


Şekil 3.9. Ansys Workbench Giriş Sayfası



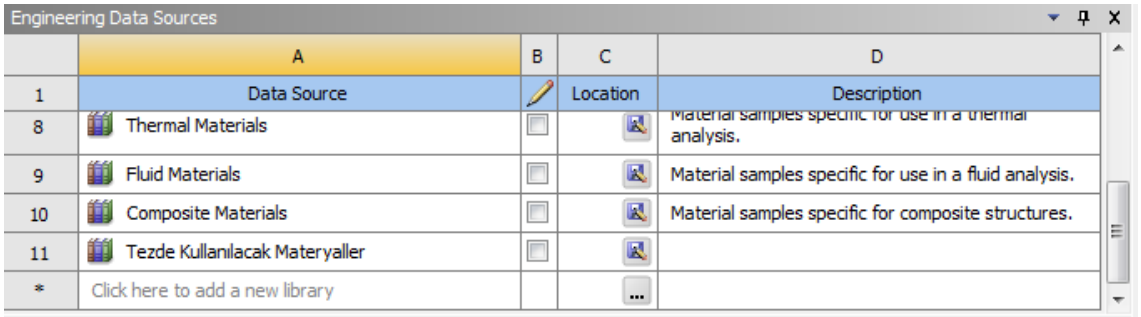
Şekil 3.10. Ansys Workbench Static Structural

Şekil 3.10 incelendiği zaman *Analysis Systems* bölümünden *Static Structural* kısmı giriş ekranına eklenir. Ardından *Engineering Data* bölümüne giriş yapılarak materyallere ait malzemeler kütüphaneye eklenir. Burada tüm çalışma daha toplu ilerlemesi açısından tüm çalışma bir *Project Schematic* alanında oluşturulmuştur. Sonrasında ise üç boyutlu olarak *Solidworks* paket programında tasarlanan model *Geometry* bölümüne aktarılır.



Şekil 3.11. Ansys Workbench Engineering Data

Materyallerin program kütüphanesine eklenmesi için Şekil 3.11' de görüldüğü üzere *Static Structural* sekmesinden *Engineering Data* sekmesine girilir. Ardından *Engineering Data Sources* kısmına girilir.



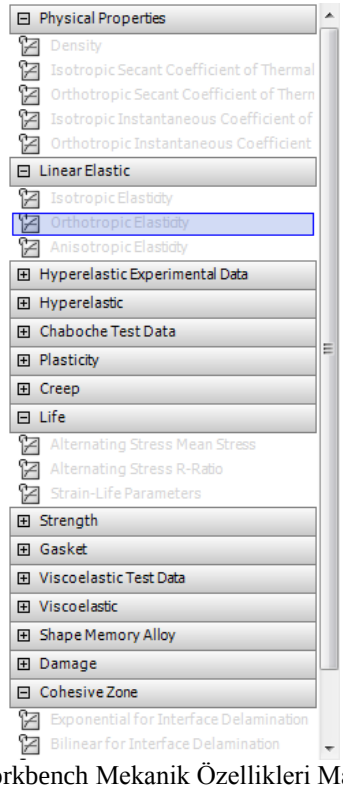
Şekil 3.12. Ansys Workbench Click here to add a new library

Şekil 3.12 incelendiği zaman *Click here to add a new library* kısmına gelinerek yeni bir dosya oluşturulur. Oluşturulan bu dosya içerisine tez konusu kapsamında kullanılacak olan tüm materyallerin çeşitli mekanik özellikleri eklenir.

	A	B	C	D
1	Contents of Engineering Data		Source	Description
2	Material			
3	[0] Oryatasyon Açlı Cam - Epoksi Kompozit Materyal Özellikler			
4	6063 T4 ALÜMİNYUM			
5	COHESİVE ZONE MODEL DP 460			
6	DP460			
*	Click here to add a new material			

Şekil 3.13. Ansys Workbench Outline of Tezde Kullanılacak Materyaller

Şekil 3.13' de ise Şekil 3.12' de oluşturulmuş olan dosya içerisinde bahsi geçen ve analizlerde kullanılacak materyaller birer birer eklenir. İsimlendirmeler ve çeşitli mekanik özellikler eklenir.



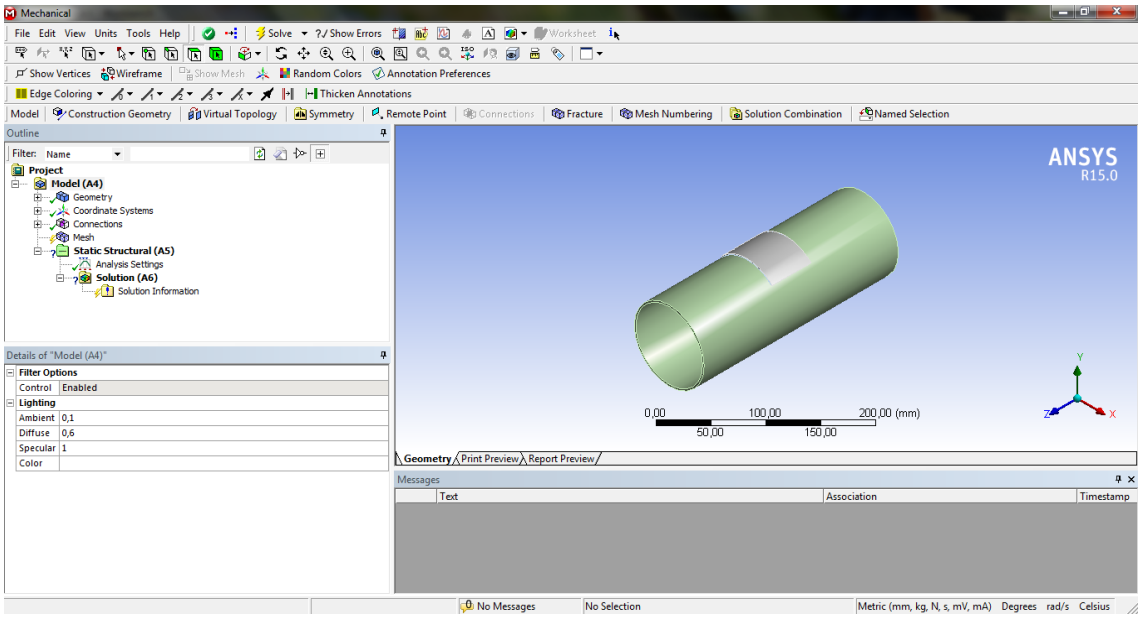
Şekil 3.14. Ansys Workbench Mekanik Özellikleri Materyale Atama Ekranı

Şekil 3.14’ de Şekil 3.13’ de oluşturulan materyallere ait çeşitli mekanik özelliklerin programa tanıtılması amacı ile çeşitli sekmeler buradan seçilir. Ardından seçilmiş olan sekmelere gerekli olan mekanik değerler manuel girilir.

	A	B	C
1	Property	Value	Unit
2	Isotropic Elasticity		
8	Alternating Stress Mean Stress	Tabular	
9	Interpolation	Semi-Log	
10	Scale	1	
11	Offset	0	MPa

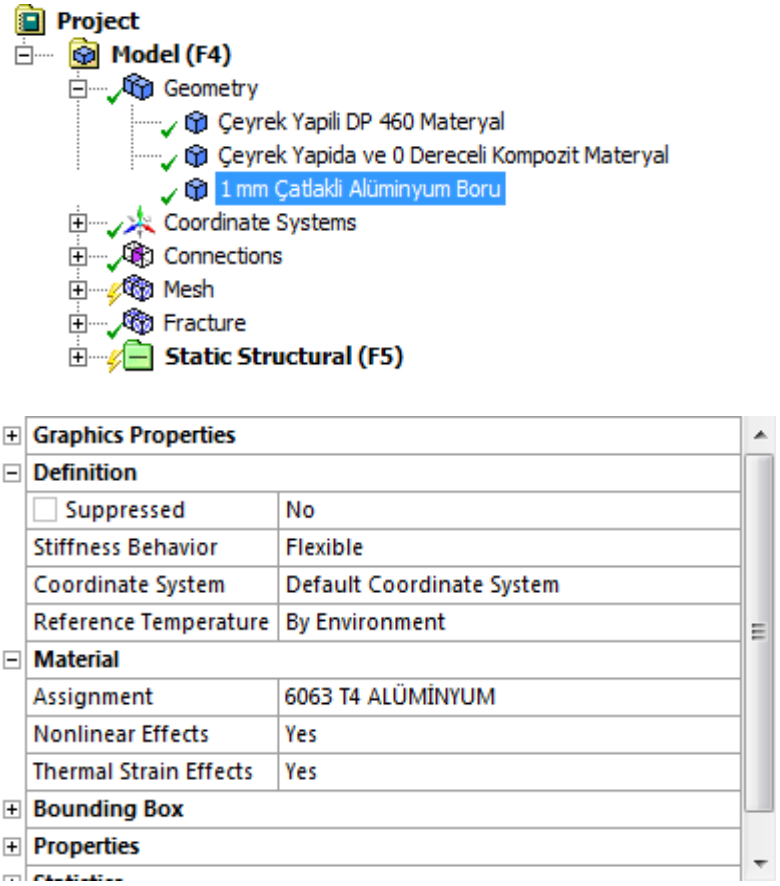
Şekil 3.15. Ansys Workbench Mekanik Özellikleri Materyale Atama Ekranı

Şekil 3.15 incelenirse eğer, materyallerin her biri için çeşitli özellikleri girebileceğimiz bir takım sekmeler bulunmaktadır. Bu sekmeler yardımı ile girilen mekanik değerler sonunda materyaller analizlerde kullanılmak üzere hazır duruma gelmektedirler.



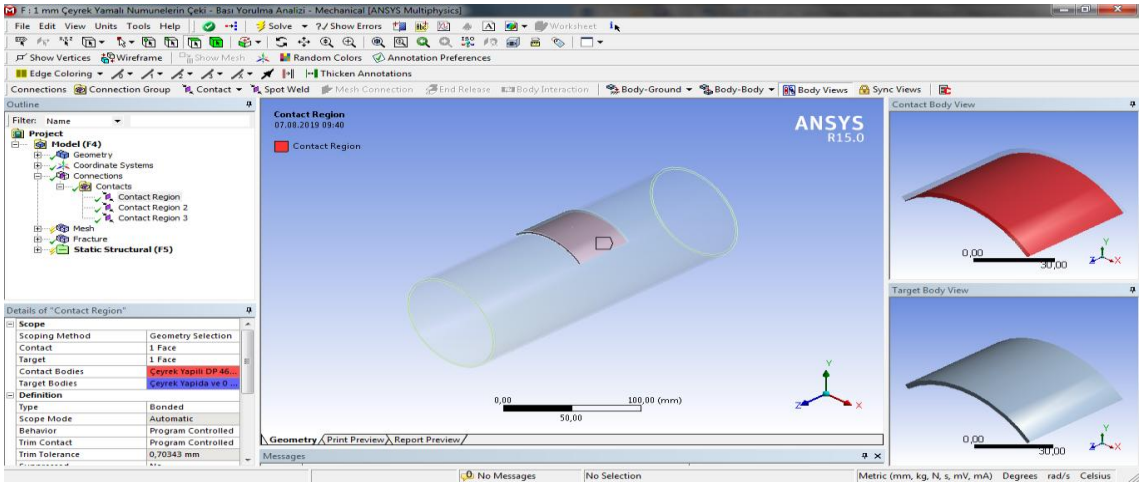
Şekil 3.16. Ansys Workbench Model Sekmesi

Şekil 3.10’ de tasarımı gerçekleştirilen model üzerinde çalışmak için bu sefer *Model* sekmesine giriş yapılır ve bu sekme sonunda Şekil 3.16’ de görülen ekrandan işlemler ve analizler devam eder. İşlemlerin detayları sonra ki aşamalarda görülmektedir.



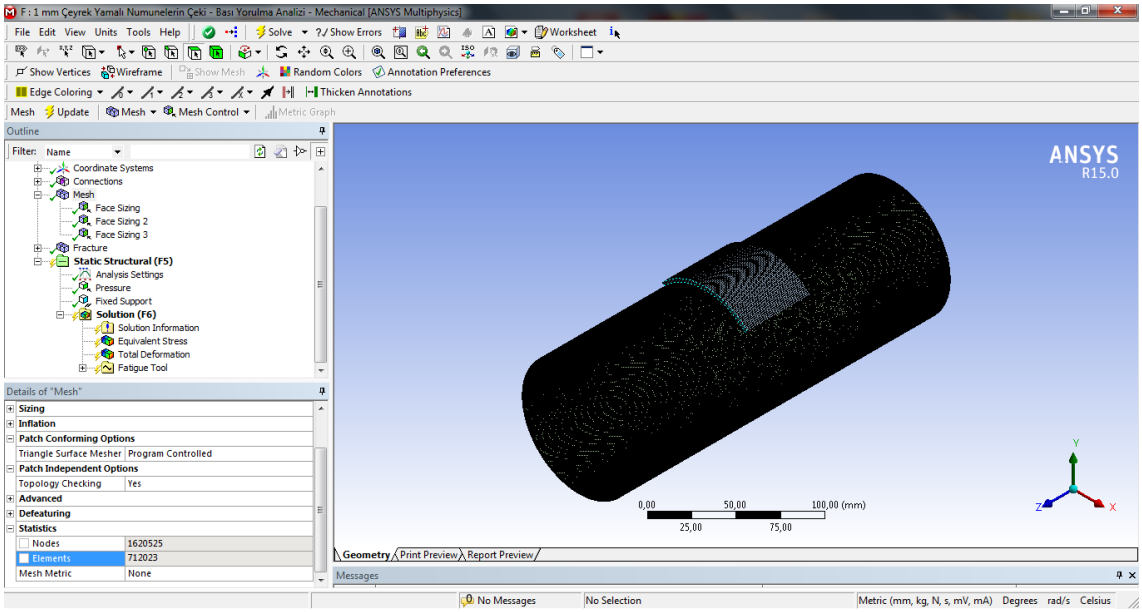
Şekil 3.17. Ansys Workbench Model Sekmesi İçinde Modele Materyal Atama İşlemi

Şekil 3.17' de görüldüğü üzere *Model* > *Geometry* > *Materyal* > *Assignment* sekmeleri takip edilerek model üzerinde bulunan tüm parçalara materyal ataması işlemi gerçekleştirilir. Burada kullanılan materyaller Şekil 3.13' de gösterildiği gibi sisteme tanımlanmıştır.

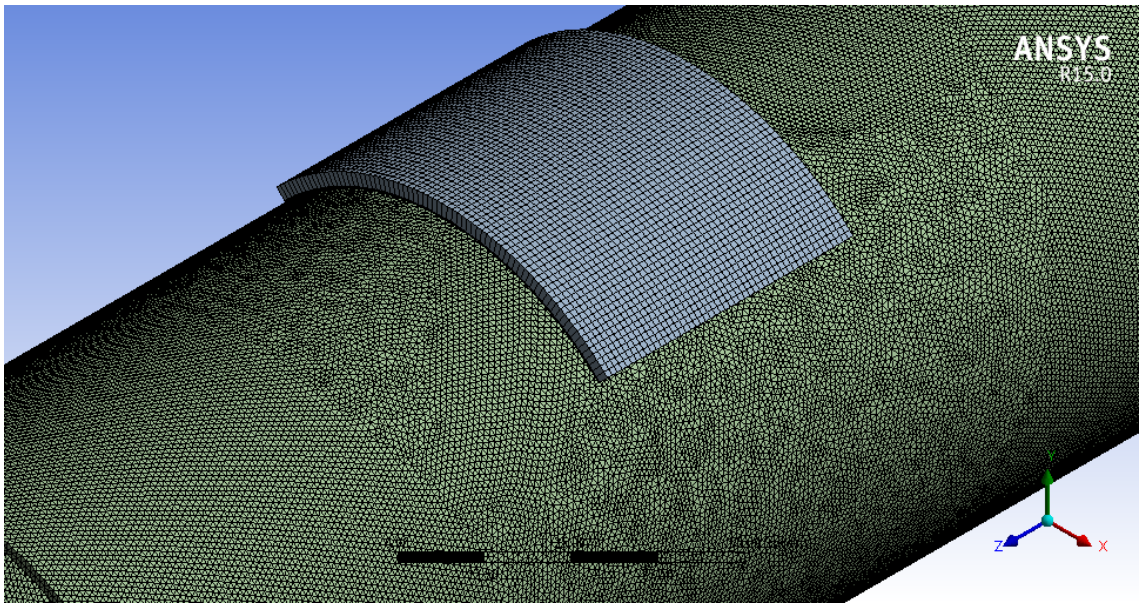


Şekil 3.18. Ansys Workbench Üzerinde Parçalar Arasında ki Temas Bölgelerinin Belirlenmesi

Şekil 3.18 incelendiği zaman *Model* > *Connections* > *Contacts* > *Contacts Region* sekmeleri ile modelde bulunan materyaller arasında temas bölgeleri oluşturulmuştur. Burada birbiri ile temas içerisinde olan parçaları belirlemek büyük önem arz etmektedir. Bir yapıştırma bağlantısı olarak modellenen ve bu bağlamda ilerleyen çalışmanın en önemli kısımlarını oluşturan aşamadır.



Şekil 3.19. Ansys Workbench Ağ Yapısı İşlemi Görünüşü



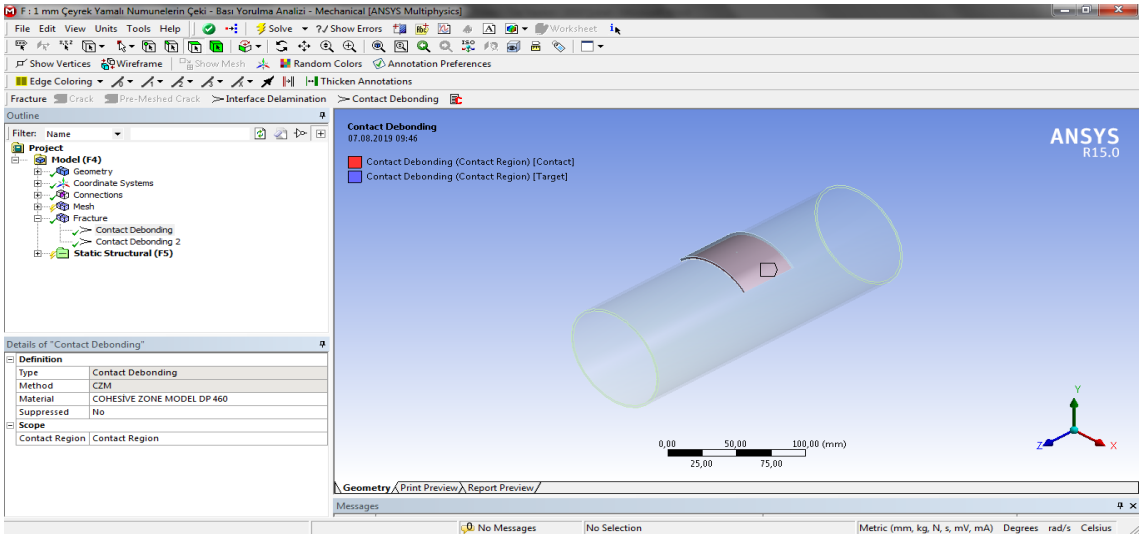
Şekil 3.20. Ansys Workbench Ağ Yapısı İşlemi Görünüşü

Şekil 3.19 ve 3.20' de görüldüğü üzere tüm parçalara *ağ yapısı* işlemi uygulanır. Toplamda üç materyal bulunduğundan dolayı üç ağ yapısı işlemi gerçekleştirilir. Ağ

yapısı uygulanan parçaların eleman boyutları ise Al 6063 boruya ve kompozit materyallerin 1 mm, yapıştırıcı materyalin ağ yapısı boyutu ise 0.25 mm olarak çeşitli literatür çalışmaları göz önüne alınarak seçilmiştir. Ancak yamasız olan numunelere tek ağ yapısı işlemi uygulanmıştır. Burada da yine ağ yapısı boyutu olarak 1 mm tercih edilmiştir. Yapılan ağ yapısı işlemi sonucunda elde edilen eleman sayıları ve düğüm noktaları sayıları Tablo 3.5' de detaylı olarak verilmiştir.

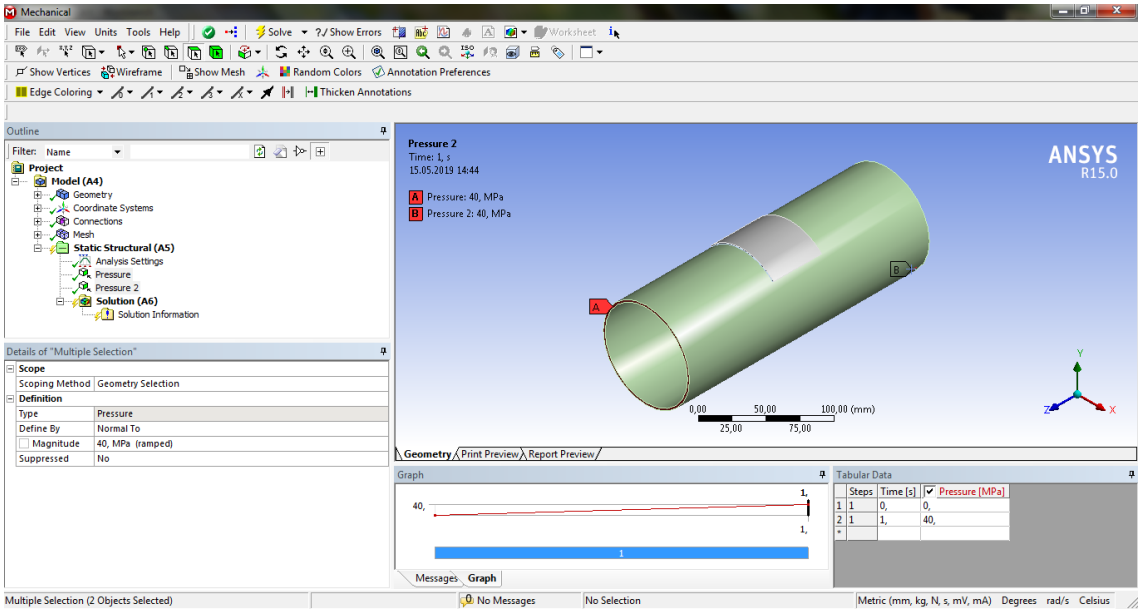
Tablo 3.5 Analizleri gerçekleştirilen numunelerin ağ yapısı işlemleri sonunda düğüm noktaları ve eleman sayıları

		Düğüm Noktaları Sayısı	Eleman Sayısı
Yamasız Numuneler	1 mm Çatlaklı	1.193.979	651.523
	3 mm Çatlaklı	1.198.924	655.243
	5 mm Çatlaklı	1.199.661	655.753
	7 mm Çatlaklı	1.199.149	655.502
	10 mm Çatlaklı	1.199.588	655.129
Çeyrek Daire Formundaki Kompozit Yamalı Numuneler	1 mm Çatlaklı	1.217.890	655.051
	3 mm Çatlaklı	1.222.835	658.771
	5 mm Çatlaklı	1.225.504	660.683
	7 mm Çatlaklı	1.223.090	659.052
	10 mm Çatlaklı	1.223.499	658.657
Yarım Daire Formundaki Kompozit Yamalı Numuneler	1 mm Çatlaklı	1.235.435	657.583
	3 mm Çatlaklı	1.240.380	661.303
	5 mm Çatlaklı	1.241.117	661.813
	7 mm Çatlaklı	1.240.605	661.562
	10 mm Çatlaklı	1.241.044	661.189

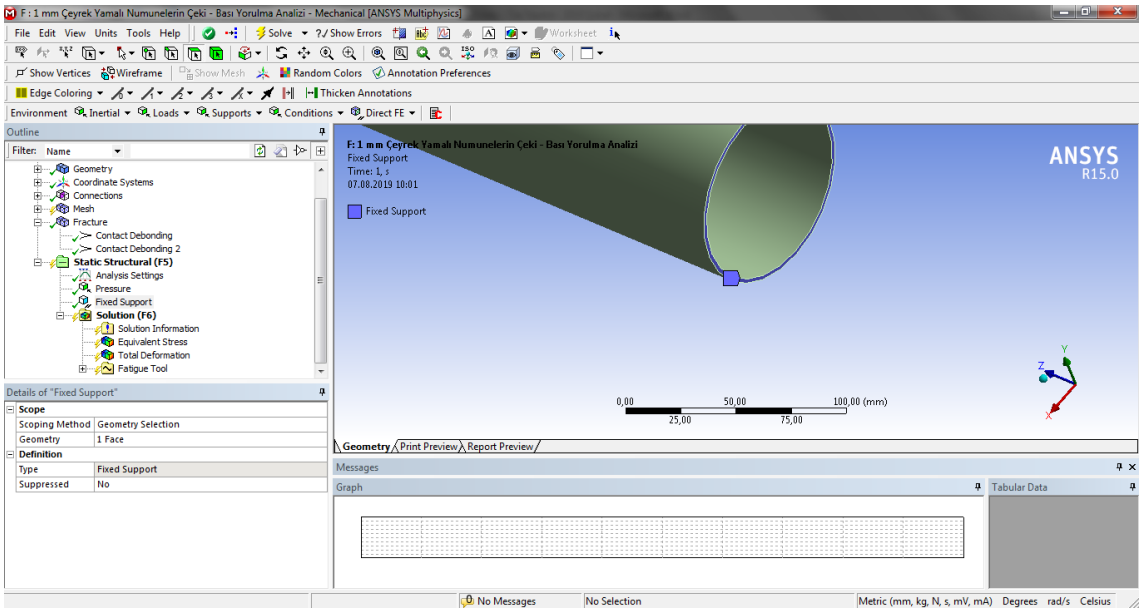


Şekil 3.21. Temas Bölgelerine Materyal Ataması

Şekil 3.21 incelendiği zaman *Model* > *Fracture* > *Contact Debonding* > *Material* ve *Model* > *Fracture* > *Contact Debonding* > *Contact Region* yolları takip edilerek parçalar arasında Şekil 3.18' de oluşturulmuş olan temas bölgelerine materyal ataması yapılır. Burada kullanılan materyal, tez çalışması kapsamında DP460 olarak daha önce sisteme tanımlanmıştır.



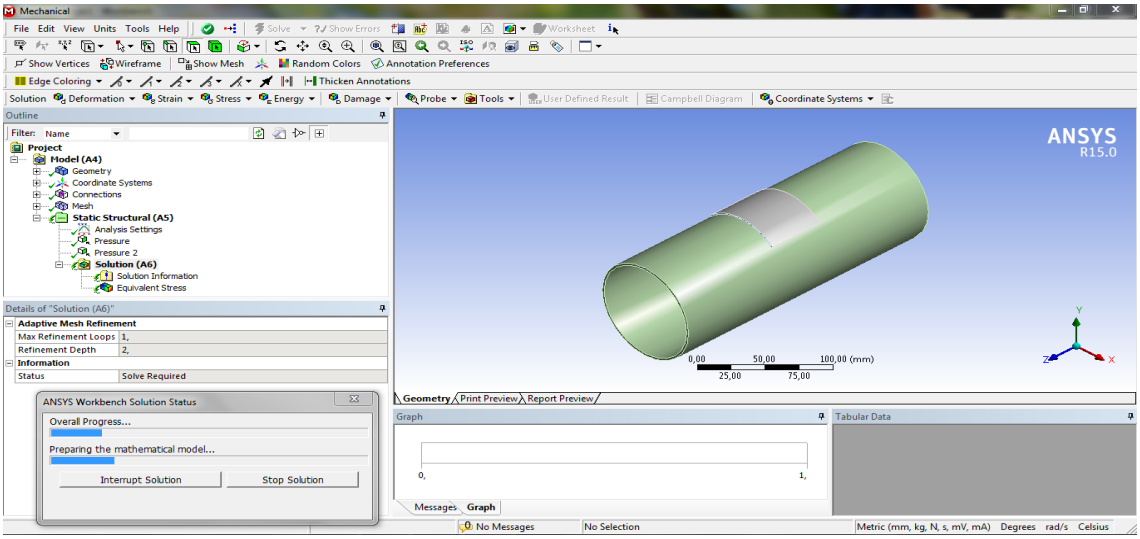
Şekil 3.12 Al 6063 Alüminyum Borunun Yanal Alanlarına Uygulanan 40,5 MPa' lık Basınç



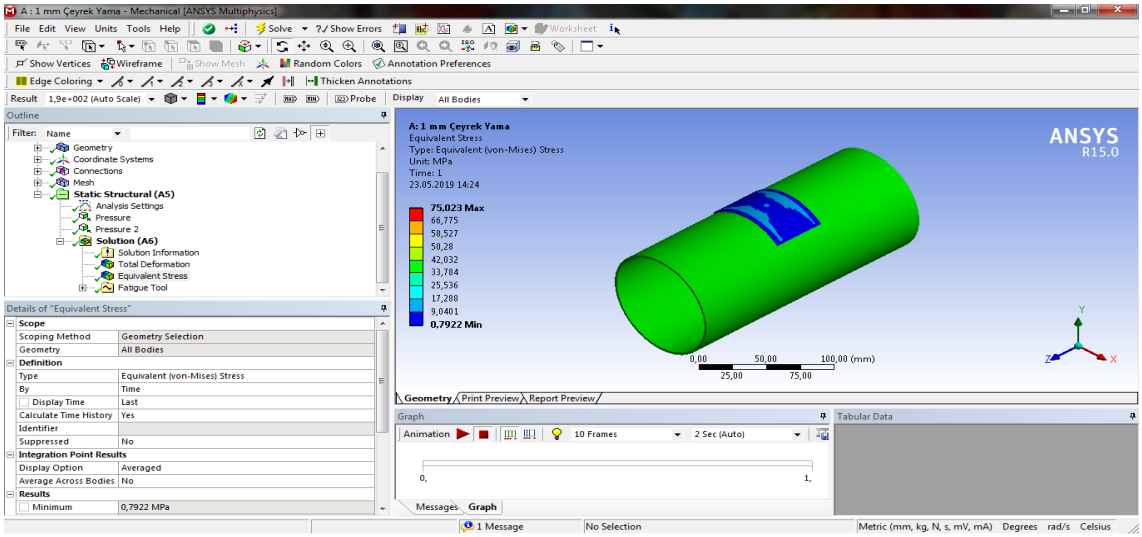
Şekil 3.23 Al 6063 Alüminyum Borunun Yanal Alanlarına Uygulanan 40,5 MPa' lık Basınç

Şekil 3.22 ve 3.23 incelenirse, nümerik analizler için model üzerine uygulanan yük miktarı daha önceden de belirtildiği üzere akma kuvvetinin yüzde 45' i olacak şekilde

40,5 MPa olarak sisteme tanımlanmıştır. Sabit mesnet olarak tanımlanan kısımda şekilde görülmektedir.

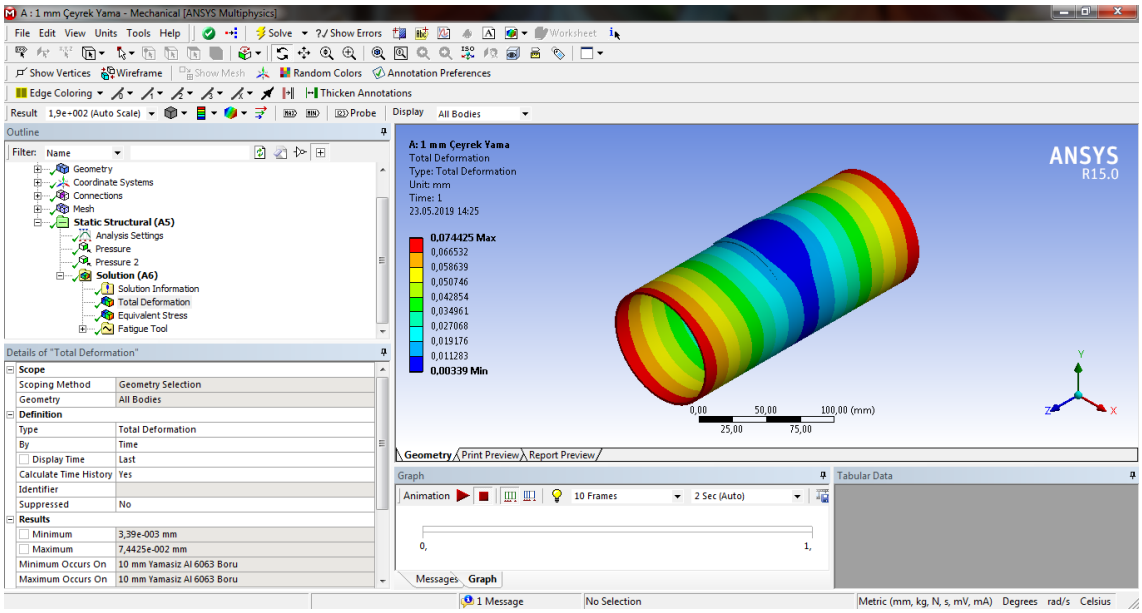


Şekil 3.24. Al 6063 Alüminyum Borunun Equivalent Gerilme Analizi 1

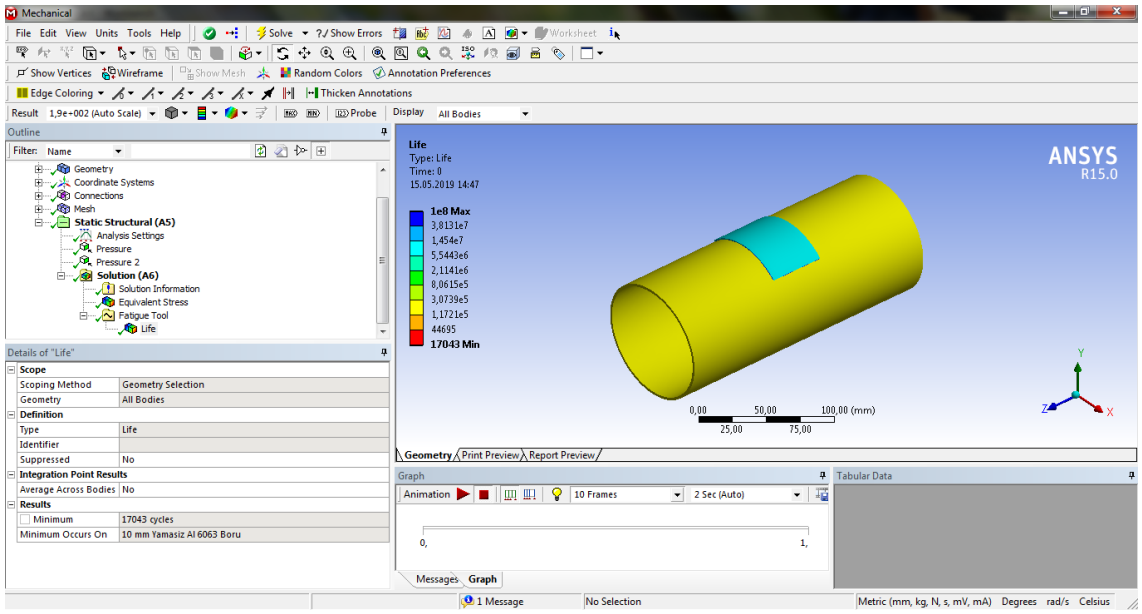


Şekil 3.25. Al 6063 Alüminyum Borunun Equivalent Gerilme Analizi 2

Şekil 3.24' de *Solution* sekmesinden sisteme bir *Equivalent Gerilme* sekmesi tanımlanması ile birlikte problemin çözümüne geçilmektedir. Buradan elde edilecek veriler tez konusu kapsamında yorulmanın belirlenmesi amacı ile kullanılacaktır. Elde edilen verilerin görsel olarak Şekil 3.25 incelenebilir. Ayrıca *Solution* sekmesinde *Deformasyon* sekmesi de tanımlanarak sisteme uygulanan basınç ile numune üzerinde oluşacak deformasyon mm cinsinden bulunabilir. Bunun için Şekil 3.26 incelenebilir.



Şekil 3.26. Al 6063 Alüminyum Boru Üzerine Etkiyen Basınç Sonunda Oluşan Deformasyon

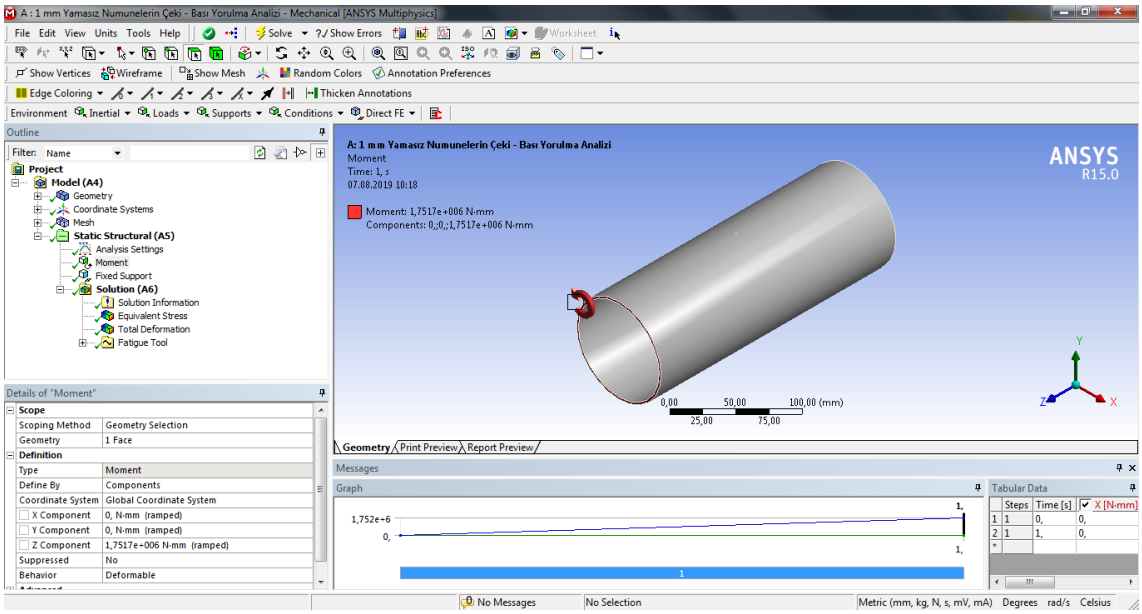


Şekil 3.27. Al 6063 Alüminyum Borunun Çeki – Bası Yorulma Analizi

Şekil 3.27' da görüldüğü üzere sistemin Şekil 3.24 ve Şekil 3.24' de elde edilen Gerilme verileri kullanılarak yapılan bir yorulma analizi bulunmaktadır. Solution sekmesinden bir *Fatigue Tool* ve *Fatigue Tool* sekmesinden de bir *Life* yani ömür sekmesi eklenmiştir. Bu aşamadan sonra *Solve* seçeneği seçilerek sistemin yorulma ömrü bulunması sağlanmaktadır.

3.3.2. Burulma Yorulması Analizleri

Burulma yorulması üzerine gerçekleştirilen analizler ile çeki – bası yorulmasında yapılan analiz adımları büyük ölçüde benzerlikler göstermektedir. Çeki – bası yorulması ile burulma yorulmasını birbirinden ayıran kısımları ise uygulanan kuvvetin büyüklüğü ve birimidir. Bu farkları görebilmek için Şekil 3.22 incelenebilir.



Şekil 3.28. Al 6063 Alüminyum Borunun Burulma Yorulmasına Ait Moment Uygulaması

Şekil 3.28 incelendiği takdirde çeki – bası yorulma analizlerinden farklı olarak uygulanan basınç kuvveti burada bir döndürme momenti olarak karşımıza çıkıyor. Burada x ve y eksenlerinde herhangi bir kuvvet uygulanmazken, z – ekseni etrafında ve modelin üst yüzey alanı üzerinden uygulanan momentin değeri, $17{,}51 \times 10^5$ *N.mm* olarak daha önceden belirlenmiş olup bu değer üzerinden tüm analizler gerçekleştirilmiştir. Bu ayrım dışında kalan tüm işlemler çeki – bası analizleri için verilen adımlar üzerinden devam etmiştir.

3.3.3. Nümerik Çalışma Sonuçları

Ansys Workbench 15.0 paket programı kullanılarak elde edilen yorulma sonuçlarının verildiği bu bölümde sonuçlar içerisinde yorulma ömürleri, deformasyon miktarı ve Gerilme değeri detaylı olarak sunulmuştur.

3.3.3.1. Çeki – Bası Yorulma Analizlerinin Nümerik Sonuçları

Tablo 3.6 Yamasız ve çeşitli çatlak boyutlarına sahip modellerin analizlerine ait veri tablosu

Çatlak Boyutu	Yorulma Ömrü (Çevrim)	Max. Def. (mm)	Max. Von Mises (MPa)
1 mm	11333	0,14465	84,442
3 mm	1703,7	0,14650	157,10
5 mm	1502	0,14711	165,04
7 mm	992,45	0,14759	191,21
10 mm	521,08	0,14869	238,31

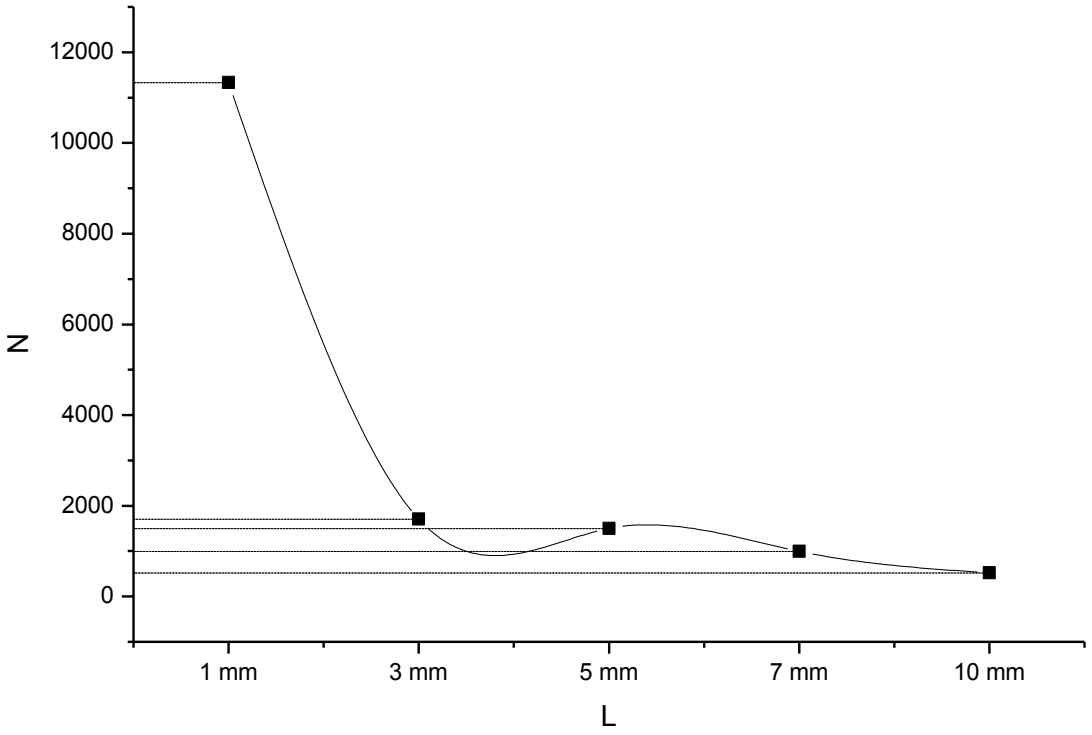
Tablo 3.7 Çeyrek kompozit yamalı ve çeşitli çatlak boyutlarına sahip modellerin analizlerine ait veri tablosu

Çatlak Boyutu	Yorulma Ömrü (Çevrim)	Max. Def. (mm)	Max. Von Mises (MPa)
1 mm	15365	0,14721	77,416
3 mm	4872	0,14498	111,37
5 mm	6735	0,14974	100,45
7 mm	4307	0,14965	116,30
10 mm	2944	0,14937	131,53

Tablo 3.8 Yarım kompozit yamalı ve çeşitli çatlak boyutlarına sahip modellerin analizlerine ait veri tablosu

Çatlak Boyutu	Yorulma Ömrü (Çevrim)	Max. Def. (mm)	Max. Von Mises (MPa)
1 mm	14746	0,14695	78,365
3 mm	4807	0,14746	122,65
5 mm	5333	0,14794	108,19
7 mm	2543	0,14795	137,40
10 mm	2337	0,14798	140,77

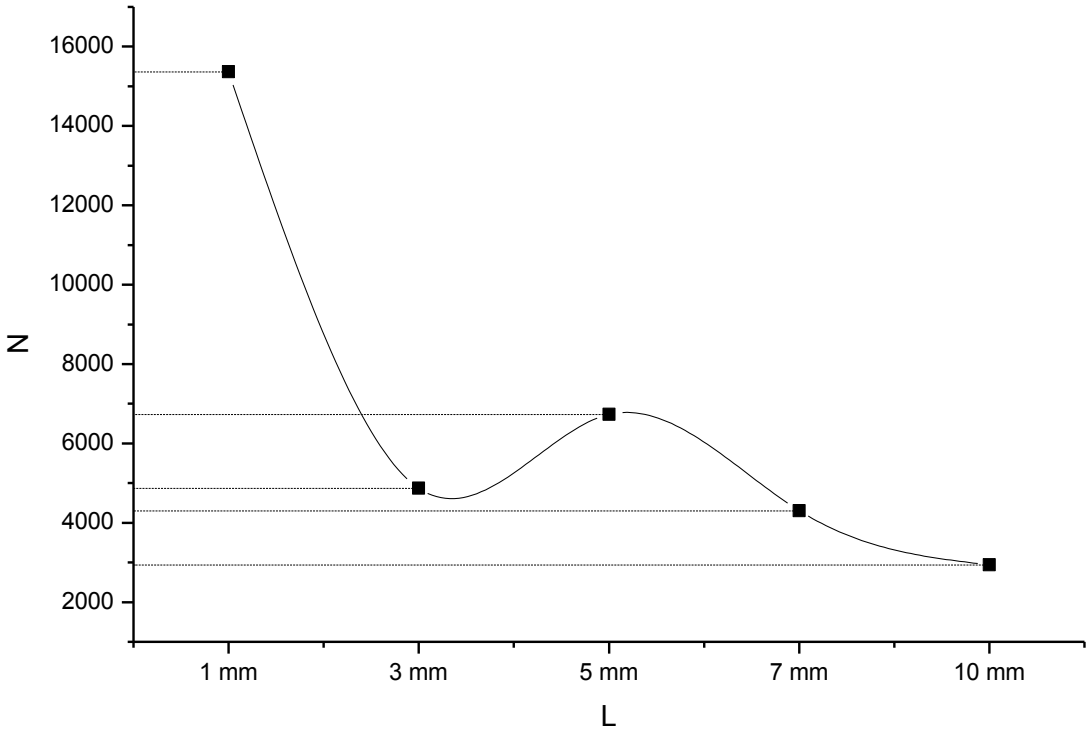
Tablo 3.6, 3.7 ve 3.8' de verilen bütün veriler doğrultusunda nümerik olarak yapılan çeki – bası yorulma analizlerine ait çeşitli bakış açılarına sahip grafikler verilmiştir. Sonuçları daha anlaşılır bir biçimde ortaya koymak için numunelerin özelliklerindeki değişimler dikkate alınarak oluşturulan bu grafiklerde *N, çevrim sayısını ifade ederken, L ise çatlak boyunu ifade etmektedir.*



Şekil 3.29. Yamasız ve Farklı Ölçülerde Çatlaklara Sahip Alüminyum Numunelere Ait Yorulma Ömürleri

Şekil 3.29' da yamasız ve farklı çatlak uzunluklarına sahip alüminyum numunelerinin yorulma ömürlerine ait grafik görülmektedir. Grafikte görüldüğü üzere çatlak uzunluğu ve yorulma ömrü arasında bir ilişkinin olduğu net bir biçimde görülmektedir.

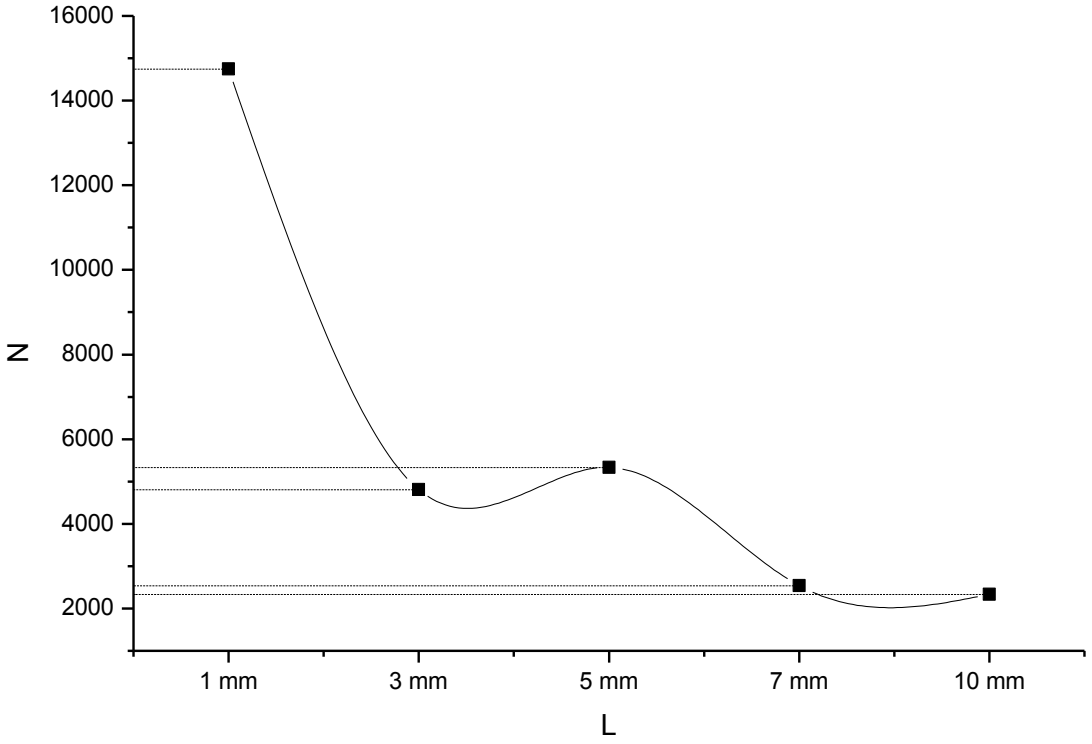
Çatlak uzunluğu ve yorulma ömrü arasında ki ilişkinin ters orantılı olduğu görülmektedir. Görüldüğü üzere, en yüksek yorulma ömrü 1 mm çatlak uzunluğuna sahip numunede iken en düşük yorulma ömrünün de 10 mm çatlak uzunluğuna sahip numunede olduğu görülmektedir. Ayrıca özel bir durum olarak 3 mm ve 5 mm çatlak uzunlukları arasında bulunan bölgede yorulma ömrü açısından bir yükselme söz konusudur. Genel olarak incelendiğinde, çatlak boyu ile ömür arasında ki ters orantı 3 mm ve 5 mm çatlak uzunluklarında 4 mm çatlak uzunluğuna yakın bir noktadan sonra 5 mm çatlak uzunluğuna kadar doğru orantılı olacak şekilde değişiklik göstermiştir. Analizler sonucunda numunelerde ortaya çıkan hasarın başlangıcı, çatlak bölgelerinin köşe noktalarındadır.



Şekil 3.30. Çeyrek Daire Formunda Kompozit Yama ile Yamanmış ve Farklı Ölçülerde Çatlaklara Sahip Alüminyum Numunelere Ait Yorulma Ömürleri

Şekil 3.30' de yamasız ve farklı çatlak uzunluklarına sahip alüminyum numunelerinin, çeyrek daire formunda $[0/90]_2$ cam – epoksi kompozit ile yamalanması sonucunda ve nümerik olarak yapılan çeki – bası yorulmasına ait analiz sonuçlarına göre oluşturulan yorulma ömürlerine ait grafik görülmektedir. Grafikte görüldüğü üzere çatlak uzunluğu ve yorulma ömrü arasında bir ilişkinin olduğu net bir biçimde görülmektedir.

Çatlak uzunluğu ve yorulma ömrü arasında ki ilişkinin ters orantılı olduğu görülmektedir. Görüldüğü üzere, en yüksek yorulma ömrü 1 mm çatlak uzunluğuna sahip numunede iken en düşük yorulma ömrünün de 10 mm çatlak uzunluğuna sahip numunede olduğu görülmektedir. Ayrıca özel bir durum olarak 3 mm ve 5 mm çatlak uzunlukları arasında bulunan bölgede yorulma ömrü açısından bir yükselme söz konusudur. Genel olarak çatlak boyu ile ömür arasında ki ters orantı 3 mm ve 5 mm çatlak uzunluklarında doğru orantılı olacak şekilde değişiklik göstermiştir. Analizler sonucunda numunelerde ortaya çıkan hasarın başlangıcı, çatlak bölgelerinin köşe noktalarındadır.

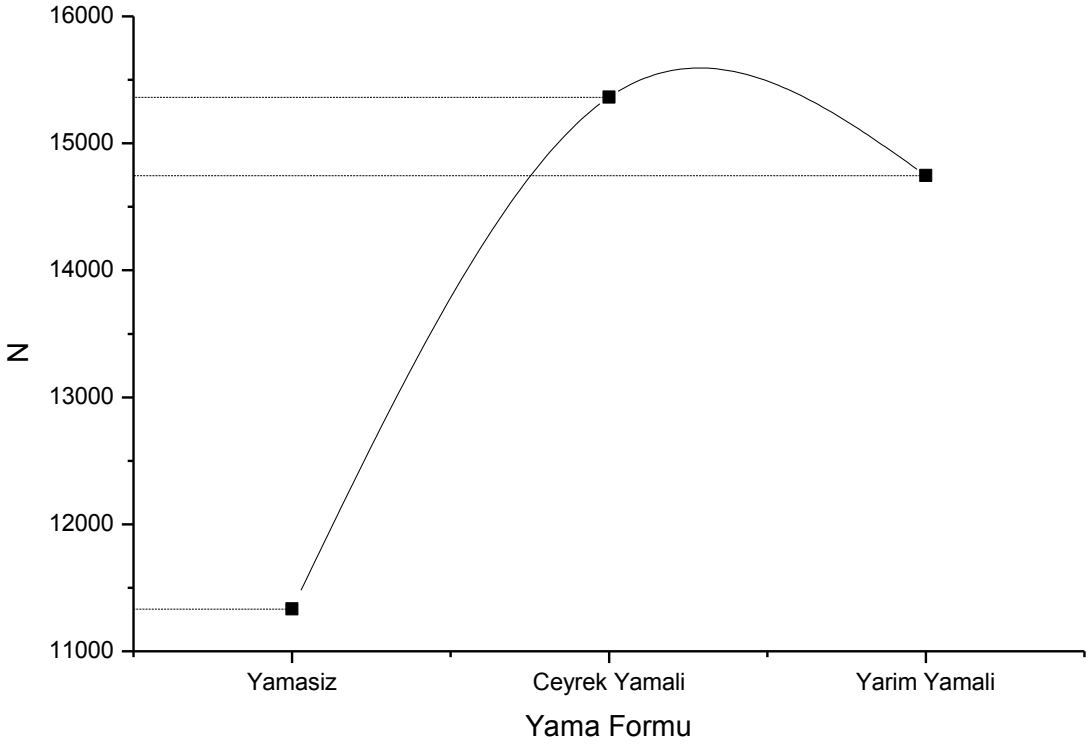


Şekil 3.31. Yarım Daire Formunda Kompozit Yama ile Yamanmış ve Farklı Ölçülerde Çatlaklara Sahip Alüminyum Numunelere Ait Yorulma Ömürleri

Şekil 3.31' de yamasız ve farklı çatlak uzunluklarına sahip alüminyum numunelerinin, yarım daire formunda $[0/90]_2$ cam – epoksi kompozit ile yamalanması sonucunda ve nümerik olarak yapılan çeki – bası yorulmasına ait analiz sonuçlarına göre oluşturulan yorulma ömürlerine ait grafik görülmektedir. Grafikte görüldüğü üzere çatlak uzunluğu ve yorulma ömrü arasında bir ilişkinin olduğu net bir biçimde görülmektedir.

Çatlak uzunluğu ve yorulma ömrü arasında ki ilişkinin ters orantılı olduğu görülmektedir. Görüldüğü üzere, en yüksek yorulma ömrü 1 mm çatlak uzunluğuna sahip numunede iken en düşük yorulma ömrünün de 10 mm çatlak uzunluğuna sahip numunede olduğu görülmektedir. Ayrıca özel bir durum olarak 3 mm ve 5 mm çatlak uzunlukları arasında bulunan bölgede yorulma ömrü açısında bir yükselme söz konusudur. Genel olarak çatlak boyu ile ömür arasında ki ters orantı 3 mm ve 5 mm çatlak uzunluklarında doğru orantılı olacak şekilde değişiklik göstermiştir.

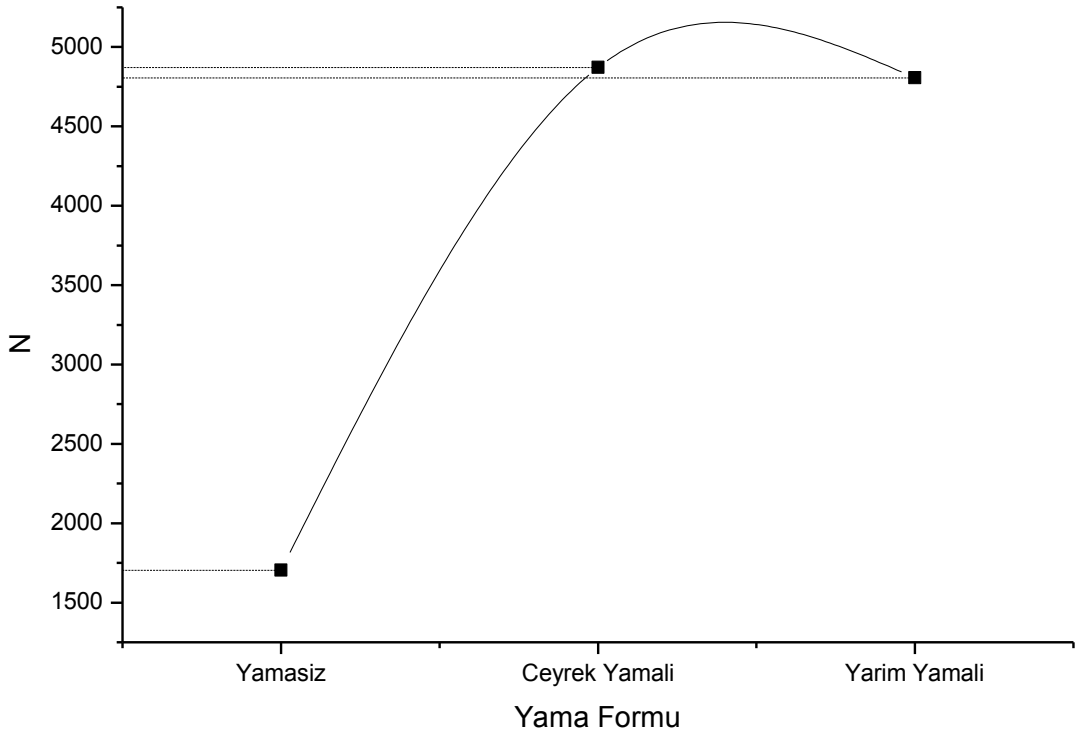
Analizler sonucunda numunelerde ortaya çıkan hasarın başlangıcı, çatlak bölgelerinin köşe noktalarındadır.



Şekil 3.32. 1 mm Çatlağa Sahip Olan Alüminyum Numunelerin Yamasız, Çeyrek ve Yarım Daire Formunda Kompozit Yamalanması Modellerine Ait Yorulma Ömürlerinin Karşılaştırılması

Şekil 3.32' da 1 mm çatlak uzunluğuna sahip, yamasız, çeyrek daire ve yarım daire formunda $[0/90]_2$ cam – epoksi kompozit ile yamalanan, alüminyum numunelerin nümerik olarak yapılan çeki – bası yorulmasına ait analiz sonuçlarına göre oluşturulan yorulma ömürlerine ait grafik görülmektedir. Grafikte görüldüğü üzere, yamalı numuneler, yamasız numunelere göre daha yüksek bir yorulma ömrüne sahiptir. Ancak yama örtme boyu durumu biraz farklılık göstermektedir. Çeyrek daire formu ile yarım daire formu arasında kalan bölgede bir tepe noktası görülmektedir. Tepe noktası, çeyrek daire formunun örtme boyunun neredeyse yarısı kadar fazla durumda en yüksek yorulma ömrüne denk gelmektedir. Ardından yarım daire formuna kadar tekrar bir düşüş söz konusudur. Bu düşüş çeyrek daire formuna yakın olsa da daha aşağısındadır. Kısacası bu durumda çeyrek daire formu ile yamalanan numuneler, yarım daire formu ile yamalanan numunelere göre daha yüksek bir yorulma ömrüne sahiptirler.

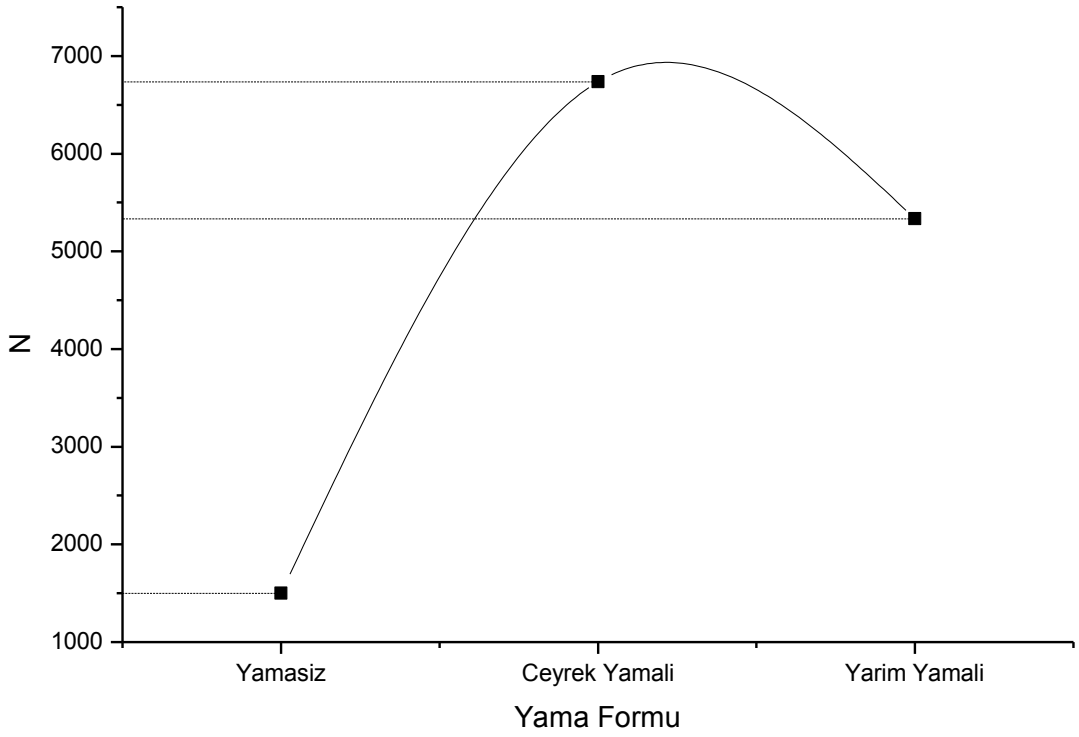
Son olarak, analizler sonucunda numunelerde ortaya çıkan hasarın başlangıcı, çatlak bölgelerinin köşe noktalarındadır.



Şekil 3.33. 3 mm Çatlağa Sahip Olan Alüminyum Numunelerin Yamasız, Çeyrek ve Yarım Daire Formunda Kompozit Yamalanması Modellerine Ait Yorulma Ömürlerinin Karşılaştırılması

Şekil 3.33' de 3 mm çatlak uzunluğuna sahip, yamasız, çeyrek daire ve yarım daire formunda $[0/90]_2$ cam – epoksi kompozit ile yamalanan, alüminyum numunelerin nümerik olarak yapılan çeki – bası yorulmasına ait analiz sonuçlarına göre oluşturulan yorulma ömürlerine ait grafik görülmektedir. Grafikte görüldüğü üzere, yamalı numuneler, yamasız numunelere göre daha yüksek bir yorulma ömrüne sahiptir. Ancak yama örtme boyu durumu biraz farklılık göstermektedir. Çeyrek daire formu ile yarım daire formu arasında kalan bölgede bir tepe noktası görülmektedir. Tepe noktası, çeyrek daire formunun örtme boyunun neredeyse yarısı kadar fazla durumda en yüksek yorulma ömrüne denk gelmektedir. Ardından yarım daire formuna kadar tekrar bir düşüş söz konusudur. Bu düşüş çeyrek daire formuna yakın olsa da daha aşağısındadır. Kısacası bu durumda çeyrek daire formu ile yamalanan numuneler, yarım daire formu ile yamalanan numunelere göre daha yüksek bir yorulma ömrüne sahiptirler.

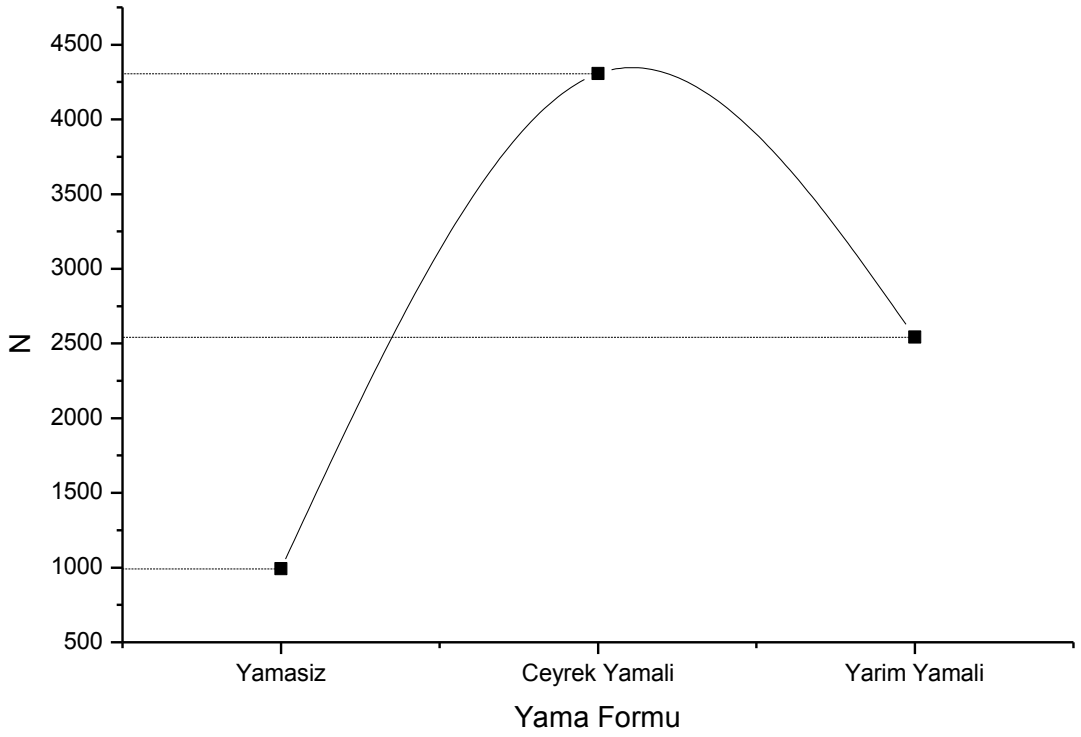
Son olarak, analizler sonucunda numunelerde ortaya çıkan hasarın başlangıcı, çatlak bölgelerinin köşe noktalarındadır.



Şekil 3.34. 5 mm Çatlağa Sahip Olan Alüminyum Numunelerin Yamasız, Çeyrek ve Yarım Daire Formunda Kompozit Yamalanması Modellerine Ait Yorulma Ömürlerinin Karşılaştırılması

Şekil 3.34' de 5 mm çatlak uzunluğuna sahip, yamasız, çeyrek daire ve yarım daire formunda $[0/90]_2$ cam – epoksi kompozit ile yamalanan, alüminyum numunelerin nümerik olarak yapılan çeki – bası yorulmasına ait analiz sonuçlarına göre oluşturulan yorulma ömürlerine ait grafik görülmektedir. Grafikte görüldüğü üzere, yamalı numuneler, yamasız numunelere göre daha yüksek bir yorulma ömrüne sahiptir. Ancak yama örtme boyu durumu biraz farklılık göstermektedir. Çeyrek daire formu ile yarım daire formu arasında kalan bölgede bir tepe noktası görülmektedir. Tepe noktası, çeyrek daire formunun örtme boyunun neredeyse yarısı kadar fazla durumda en yüksek yorulma ömrüne denk gelmektedir. Ardından yarım daire formuna kadar tekrar bir düşüş söz konusudur. Bu düşüş çeyrek daire formuna yakın olsa da daha aşağısındadır. Kısacası bu durumda çeyrek daire formu ile yamalanan numuneler, yarım daire formu ile yamalanan numunelere göre daha yüksek bir yorulma ömrüne sahiptirler.

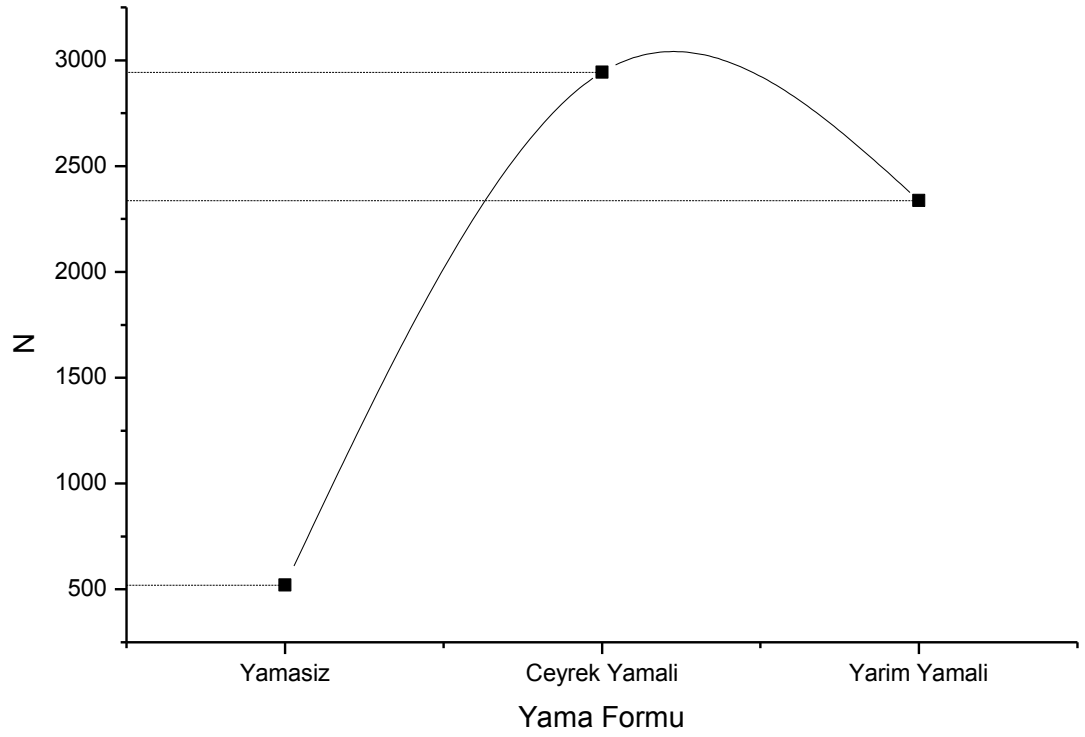
Son olarak, analizler sonucunda numunelerde ortaya çıkan hasarın başlangıcı, çatlak bölgelerinin köşe noktalarındadır.



Şekil 3.35. 7 mm Çatlağa Sahip Olan Alüminyum Numunelerin Yamasız, Çeyrek ve Yarım Daire Formunda Kompozit Yamalanması Modellerine Ait Yorulma Ömürlerinin Karşılaştırılması

Şekil 3.35' da 7 mm çatlak uzunluğuna sahip, yamasız, çeyrek daire ve yarım daire formunda $[0/90]_2$ cam – epoksi kompozit ile yamalanan, alüminyum numunelerin nümerik olarak yapılan çeki – bası yorulmasına ait analiz sonuçlarına göre oluşturulan yorulma ömürlerine ait grafik görülmektedir. Grafikte görüldüğü üzere, yamalı numuneler, yamasız numunelere göre daha yüksek bir yorulma ömrüne sahiptir. Ancak yama örtme boyu durumu biraz farklılık göstermektedir. Çeyrek daire formu ile yarım daire formu arasında kalan bölgede bir tepe noktası görülmektedir. Tepe noktası, çeyrek daire formunun örtme boyunun neredeyse yarısı kadar fazla durumda en yüksek yorulma ömrüne denk gelmektedir. Ardından yarım daire formuna kadar tekrar bir düşüş söz konusudur. Bu düşüş çeyrek daire formuna yakın olsa da daha aşağısındadır. Kısacası bu durumda çeyrek daire formu ile yamalanan numuneler, yarım daire formu ile yamalanan numunelere göre daha yüksek bir yorulma ömrüne sahiptirler.

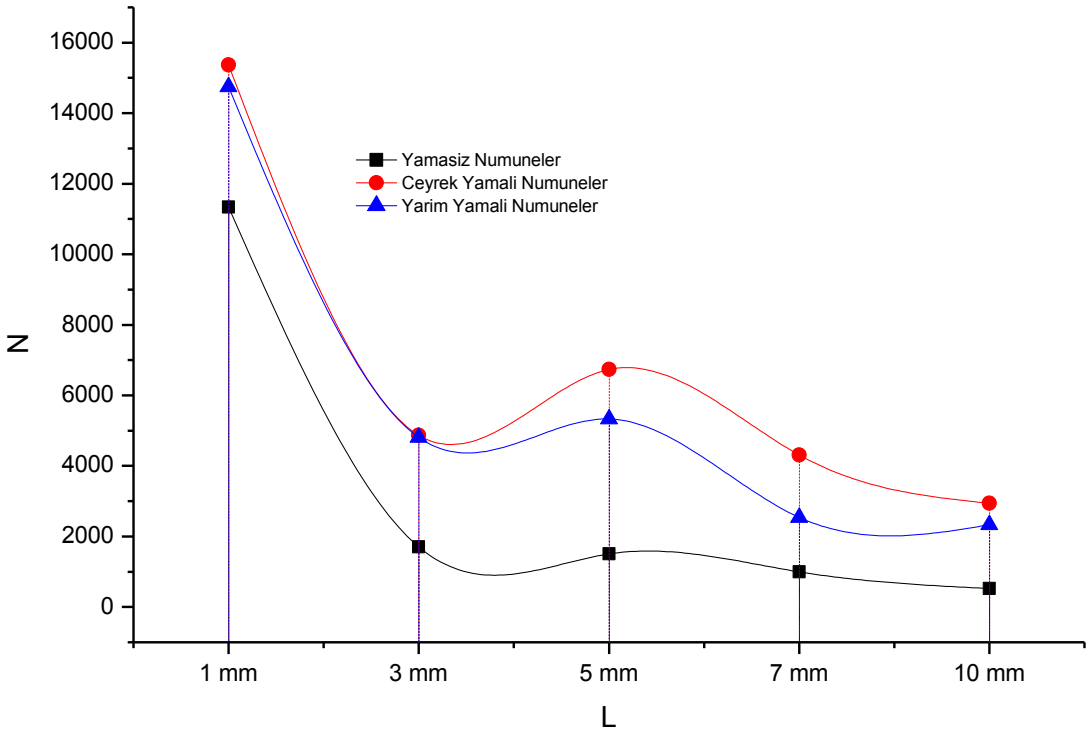
Son olarak, analizler sonucunda numunelerde ortaya çıkan hasarın başlangıcı, çatlak bölgelerinin köşe noktalarındadır.



Şekil 3.36. 10 mm Çatlağa Sahip Olan Alüminyum Numunelerin Yamasız, Çeyrek ve Yarım Daire Formunda Kompozit Yamalanması Modellerine Ait Yorulma Ömürlerinin Karşılaştırılması

Şekil 3.36' da 10 mm çatlak uzunluğuna sahip, yamasız, çeyrek daire ve yarım daire formunda $[0/90]_2$ cam – epoksi kompozit ile yamalanan, alüminyum numunelerin nümerik olarak yapılan çeki – bası yorulmasına ait analiz sonuçlarına göre oluşturulan yorulma ömürlerine ait grafik görülmektedir. Grafikte görüldüğü üzere, yamalı numuneler, yamasız numunelere göre daha yüksek bir yorulma ömrüne sahiptir. Ancak yama örtme boyu durumu biraz farklılık göstermektedir. Çeyrek daire formu ile yarım daire formu arasında kalan bölgede bir tepe noktası görülmektedir. Tepe noktası, çeyrek daire formunun örtme boyunun neredeyse yarısı kadar fazla durumda en yüksek yorulma ömrüne denk gelmektedir. Ardından yarım daire formuna kadar tekrar bir düşüş söz konusudur. Bu düşüş çeyrek daire formuna yakın olsa da daha aşağısındadır. Kısacası bu durumda çeyrek daire formu ile yamalanan numuneler, yarım daire formu ile yamalanan numunelere göre daha yüksek bir yorulma ömrüne sahiptirler.

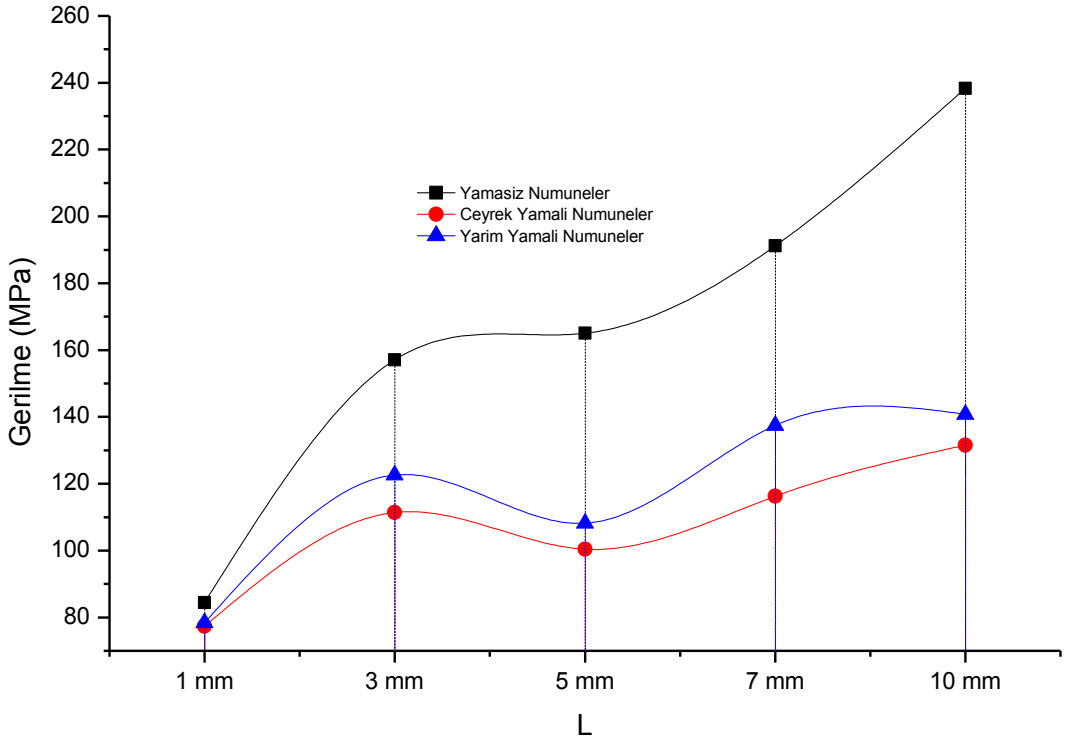
Son olarak, analizler sonucunda numunelerde ortaya çıkan hasarın başlangıcı, çatlak bölgelerinin köşe noktalarındadır.



Şekil 3.37. 1, 3, 5, 7 ve 10 mm Çatlağa Sahip Olan Alüminyum Numunelerin Yamasız, Çeyrek ve Yarım Daire Formunda Kompozit Yamalanması Modellerine Ait Yorulma Ömürlerinin Karşılaştırılması

Şekil 3.29, 3.30, 3.31, 3.32, 3.33, 3.34, 3.35 ve 3.36' da bahsi geçen tüm sonuçların bir grafik altında toplandığı Şekil 3.37' de görüldüğü üzere en yüksek yorulma ömürleri 1 mm çatlak uzunluğuna sahip numunelerde görülmüştür. En düşük yorulma ömürleri ise 10 mm çatlak uzunluğuna sahip numunelerde görülmüştür.

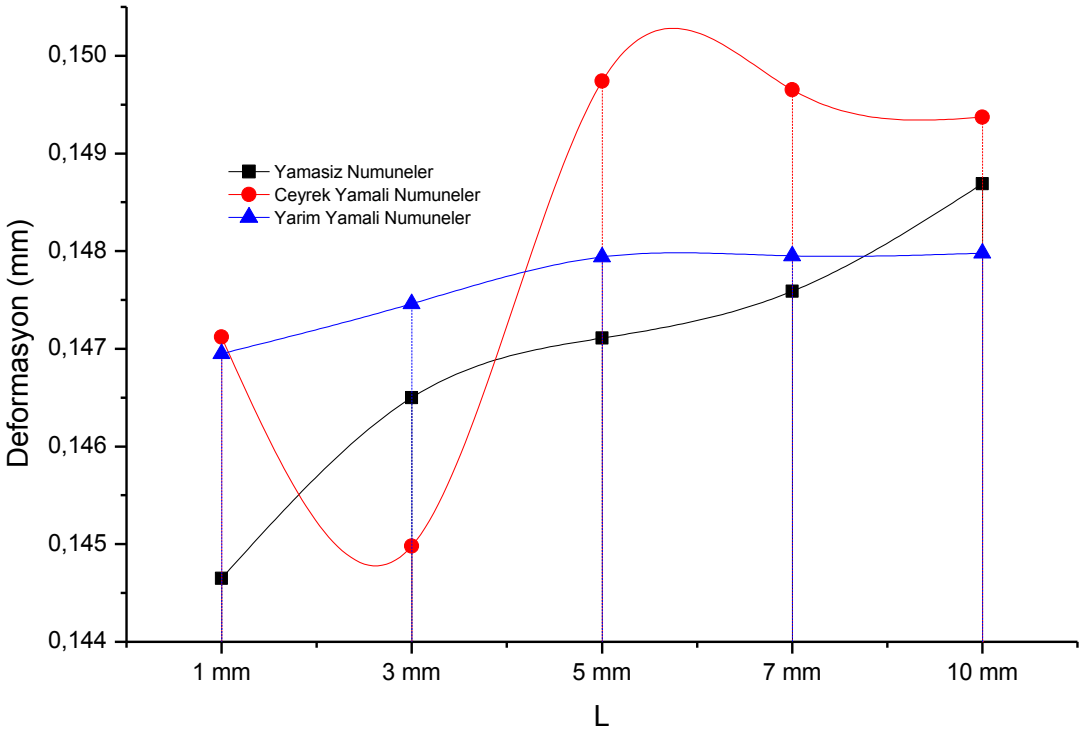
Ayrıca daha önceden bahsedildiği üzere çeyrek daire formunda yamaların, yarım daire formunda ki yamalara göre yorulma ömrüne katkısı daha fazladır.



Şekil 3.38. 1, 3, 5, 7 ve 10 mm Çatlağa Sahip Olan Alüminyum Numunelerin Yamasız, Çeyrek ve Yarım Daire Formunda Kompozit Yamalanması Modellerine Ait Max. Gerilme Sonuçlarının Mukayese Edilmesi

Şekil 3.38' de görüldüğü üzere 1, 3, 5, 7 ve 10 mm çatlak uzunluklarına sahip numunelerin nümerik analizleri sonucunda numuneler üzerine etki eden max. gerilme değerleri MPa olarak bir grafik altında toplanmıştır.

Burada görüldüğü gibi en yüksek Gerilme değeri 10 mm çatlak uzunluğuna sahip numunelerde görülmektedir. En düşük Gerilme değeri ise 1 mm çatlak uzunluğuna sahip numunelerde görülmektedir.



Şekil 3.39. 1, 3, 5, 7 ve 10 mm Çatlağa Sahip Olan Alüminyum Numunelerin Yamasız, Çeyrek ve Yarım Daire Formunda Kompozit Yamalanması Modellerine Ait Max. Deformasyon Sonuçlarının Mukayese Edilmesi

Şekil 3.39' da görüldüğü üzere 1, 3, 5, 7 ve 10 mm çatlak uzunluklarına sahip numunelerin nümerik analizleri sonucunda numuneler üzerine etki eden max. deformasyon değerleri mm olarak bir grafik altında toplanmıştır. Burada görüldüğü gibi en yüksek deformasyon değeri 10 mm çatlak uzunluğuna sahip numunelerde görülmektedir.

En düşük deformasyon değeri ise yamasız numuneler için 1 mm çatlak uzunluğuna sahip numunelerde, çeyrek yamalı numunelerde ise 3 mm çatlak uzunluğunda iken yarım yamalı numunelerde ise yine 1 mm çatlak uzunluğuna sahip numunelerde görülmektedir.

3.3.3.2. Burulma Yorulma Analizlerinin Nümerik Sonuçları

Tablo 3.9 Yamasız ve çeşitli çatlak boyutlarına sahip modellerin analizlerine ait veri tablosu

Çatlak Boyutu	Yorulma Ömrü (N)	Max. Def. (mm)	Max. Von Mises (MPa)
1 mm	1223,8	0,71038	177,94
3 mm	291,01	0,71055	309,26
5 mm	172,76	0,71087	380,56
7 mm	129,12	0,71133	428,72
10 mm	66,918	0,71207	564,31

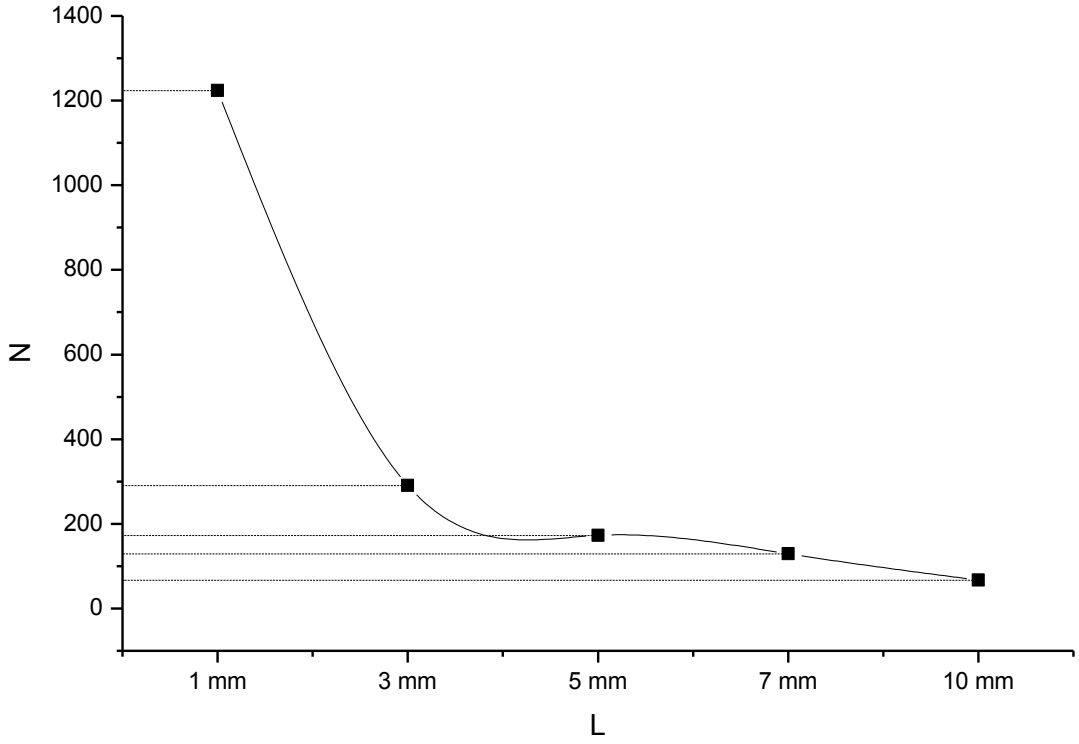
Tablo 3.10 Çeyrek kompozit yamalı ve çeşitli çatlak boyutlarına sahip modellerin analizlerine ait veri tablosu

Çatlak Boyutu	Yorulma Ömrü (N)	Max. Def. (mm)	Max. Von Mises (MPa)
1 mm	1954	0,72475	148,46
3 mm	456	0,72473	252,94
5 mm	332	0,72471	292,70
7 mm	234	0,72467	336,92
10 mm	150	0,72460	403,85

Tablo 3.11 Yarım kompozit yamalı ve çeşitli çatlak boyutlarına sahip modellerin analizlerine ait veri tablosu

Çatlak Boyutu	Yorulma Ömrü (N)	Max. Def. (mm)	Max. Von Mises (MPa)
1 mm	2360	0,71549	140,39
3 mm	520	0,71546	238,48
5 mm	355	0,71545	284,36
7 mm	286	0,71541	311,63
10 mm	167	0,71534	386,37

Tablo 3.9, 3.10 ve 3.11' de verilen bütün veriler doğrultusunda nümerik olarak yapılan burulma yorulması analizlerine ait çeşitli bakış açılarına sahip grafikler verilmiştir. Sonuçları daha anlaşılır bir biçimde ortaya koymak için numunelerin özelliklerindeki değişimler dikkate alınarak oluşturulan grafiklerde *N, çevrim sayısını ifade ederken, L ise çatlak boyunu ifade etmektedir.*

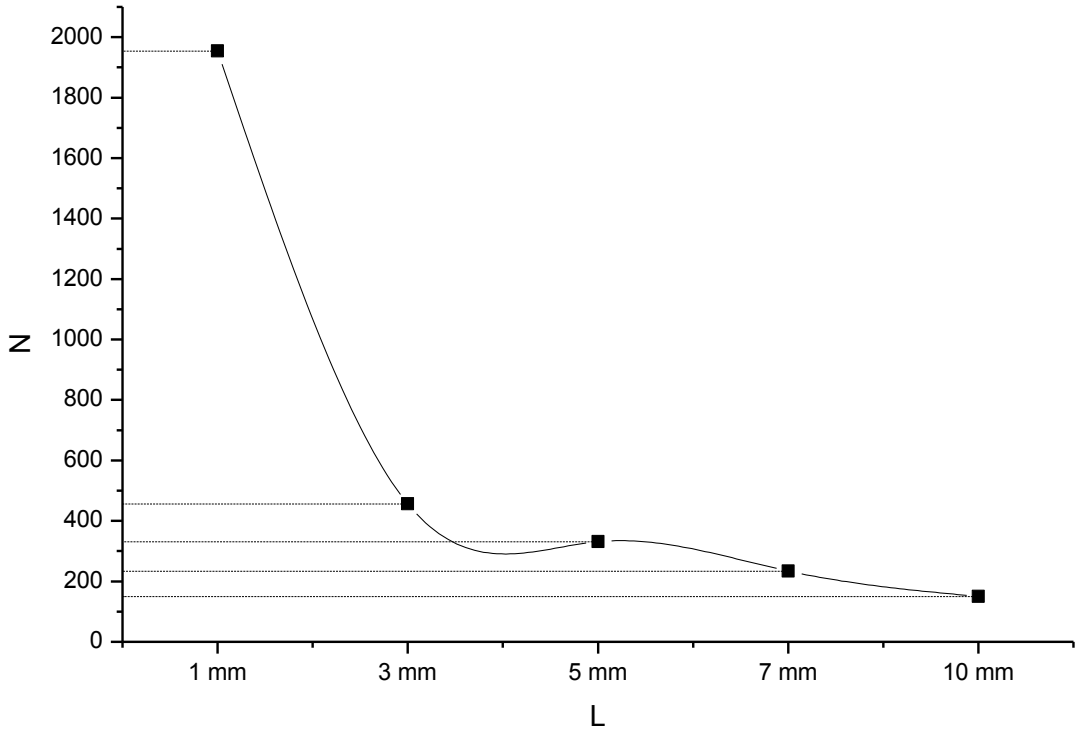


Şekil 3.40. Yamasız ve Farklı Ölçülerde Çatlaklara Sahip Alüminyum Numunelerine Ait Yorulma Ömürleri

Şekil 3.40' de yamasız ve farklı çatlak uzunluklarına sahip alüminyum numunelerinin yorulma ömürlerine ait grafik görülmektedir. Grafikte görüldüğü üzere çatlak uzunluğu ve yorulma ömrü arasında bir ilişkinin olduğu net bir biçimde görülmektedir.

Çatlak uzunluğu ve yorulma ömrü arasında ki ilişkinin ters orantılı olduğu görülmektedir. Grafiği incelediğimizde, en yüksek yorulma ömrü 1 mm çatlak uzunluğuna sahip numunede iken en düşük yorulma ömrünün de 10 mm çatlak uzunluğuna sahip numunede olduğu görülmektedir.

Analizler sonucunda, numunelerde ortaya çıkan hasarın başlangıcı, çatlak bölgelerinin köşe noktalarındadır.

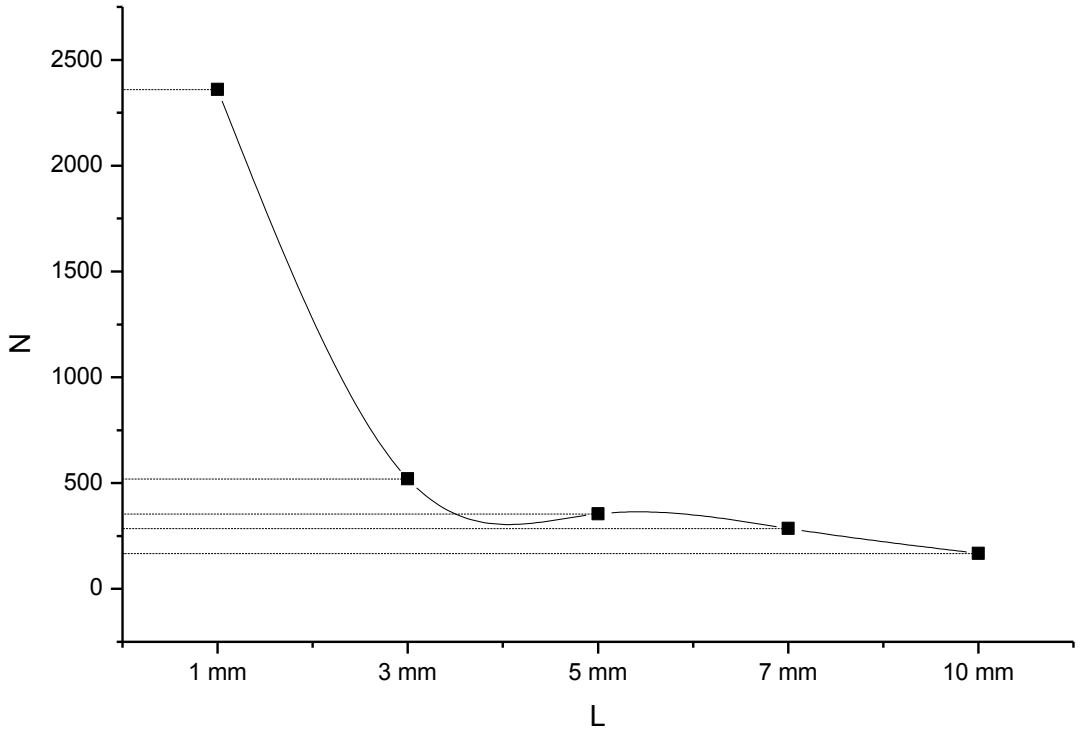


Şekil 3.41. Çeyrek Daire Formunda Kompozit Yama ile Yamanmış ve Farklı Ölçülerde Çatlaklara Sahip Alüminyum Numunelerine Ait Yorulma Ömürleri

Şekil 3.41' de yamasız ve farklı çatlak uzunluklarına sahip alüminyum numunelerinin, çeyrek daire formunda $[0/90]_2$ cam – epoksi kompozit ile yamalanması sonucunda ve nümerik olarak yapılan burulma yorulmasına ait analiz sonuçlarına göre oluşturulan yorulma ömürlerine ait grafik görülmektedir. Grafikte görüldüğü üzere çatlak uzunluğu ve yorulma ömrü arasında bir ilişkinin olduğu net bir biçimde görülmektedir.

Çatlak uzunluğu ve yorulma ömrü arasında ki ilişkinin ters orantılı olduğu görülmektedir. Görüldüğü üzere, en yüksek yorulma ömrü 1 mm çatlak uzunluğuna sahip numunede iken en düşük yorulma ömrünün de 10 mm çatlak uzunluğuna sahip numunede olduğu görülmektedir.

Analizler sonucunda numunelerde ortaya çıkan hasarın başlangıcı, çatlak bölgelerinin köşe noktalarındadır.

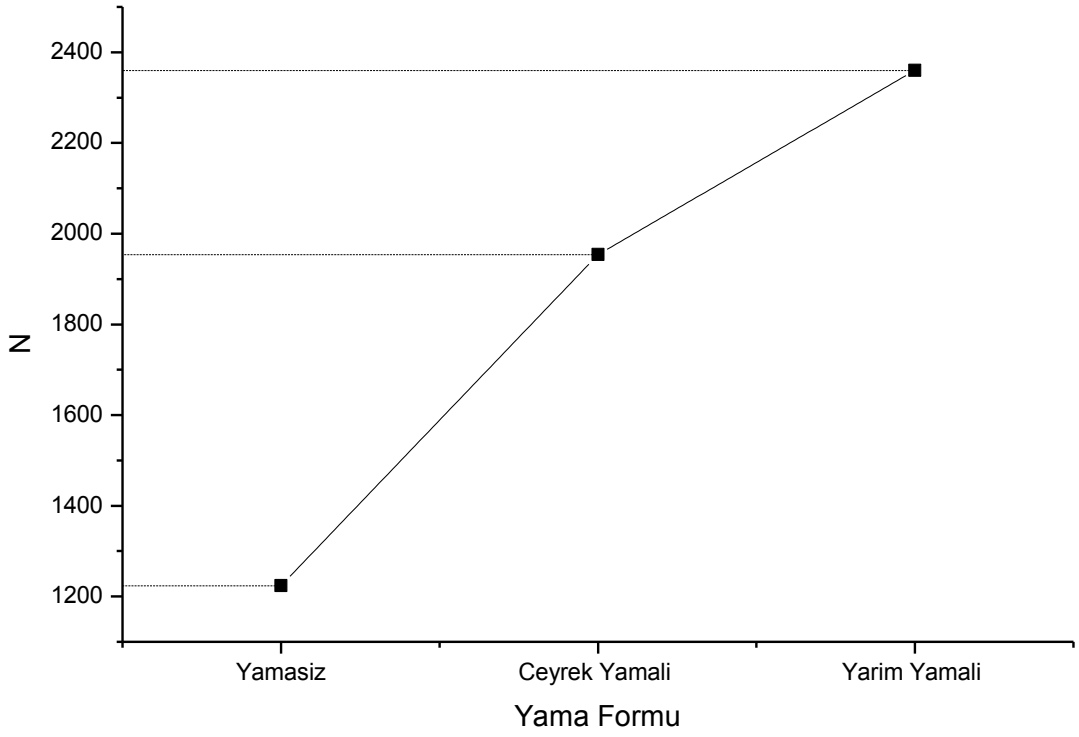


Şekil 3.42. Yarım Daire Formunda Kompozit Yama ile Yamanmış ve Farklı Ölçülerde Çatlaklara Sahip Alüminyum Numunelere Ait Yorulma Ömürleri

Şekil 3.42' de yamasız ve farklı çatlak uzunluklarına sahip alüminyum numunelerinin, yarım daire formunda $[0/90]_2$ cam – epoksi kompozit ile yamalanması sonucunda ve nümerik olarak yapılan burulma yorulmasına ait analiz sonuçlarına göre oluşturulan yorulma ömürlerine ait grafik görülmektedir. Grafikte görüldüğü üzere çatlak uzunluğu ve yorulma ömrü arasında bir ilişkinin olduğu net bir biçimde görülmektedir.

Çatlak uzunluğu ve yorulma ömrü arasında ki ilişkinin ters orantılı olduğu görülmektedir. Görüldüğü üzere, en yüksek yorulma ömrü 1 mm çatlak uzunluğuna sahip numunede iken en düşük yorulma ömrünün de 10 mm çatlak uzunluğuna sahip numunede olduğu görülmektedir.

Analizler sonucunda numunelerde ortaya çıkan hasarın başlangıcı, çatlak bölgelerinin köşe noktalarında gerçekleşmiştir.

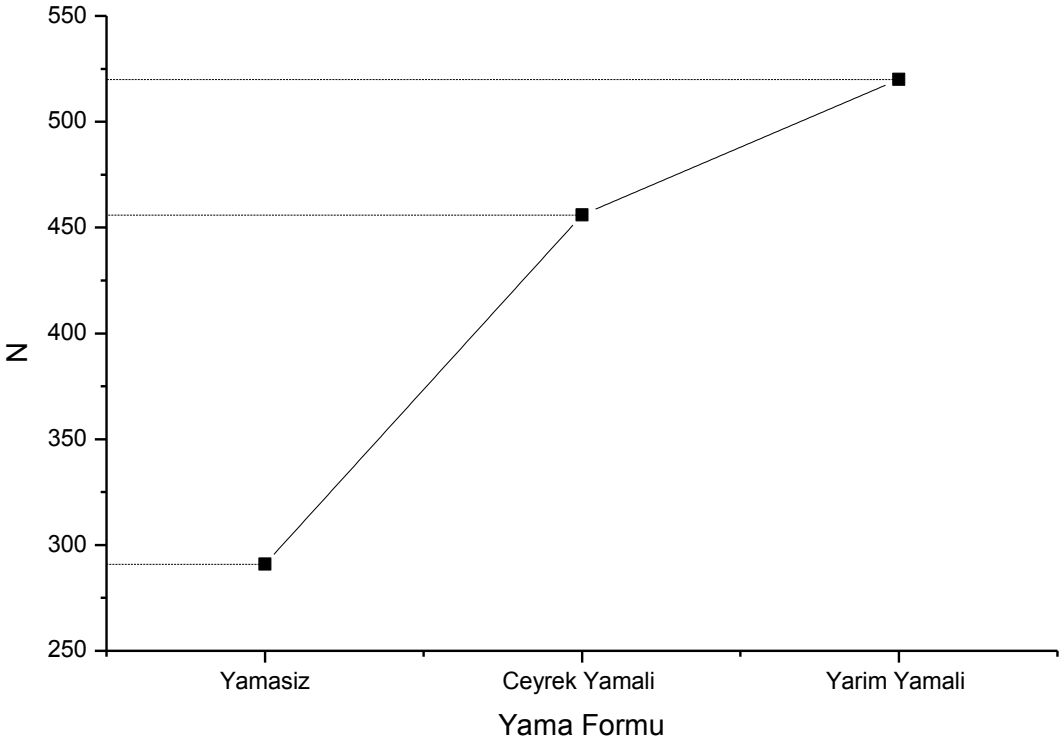


Şekil 3.43. 1 mm Çatlağa Sahip Olan Alüminyum Numunelerin Yamasız, Çeyrek ve Yarım Daire Formunda Kompozit Yamalanması Modellerine Ait Yorulma Ömürlerinin Karşılaştırılması

Şekil 3.43' de 1 mm çatlak uzunluğuna sahip, yamasız, çeyrek daire ve yarım daire formunda $[0/90]_2$ cam – epoksi kompozit ile yamalanan, alüminyum numunelerin nümerik olarak yapılan burulma yorulmasına ait analiz sonuçlarına göre oluşturulan yorulma ömürlerine ait grafik görülmektedir.

Grafikte görüldüğü üzere, yamalı numuneler, yamasız numunelere göre daha yüksek bir yorulma ömrüne sahiptir. Ancak yama örtme boyu biraz farklılık göstermektedir. Bu durumda çeyrek daire formu ile yamalanan numuneler, yarım daire formu ile yamalanan numunelere göre daha düşük bir yorulma ömrüne sahiptirler.

Son olarak, analizler sonucunda numunelerde ortaya çıkan hasarın başlangıcı, çatlak bölgelerinin köşe noktalarında gerçekleşmiştir.

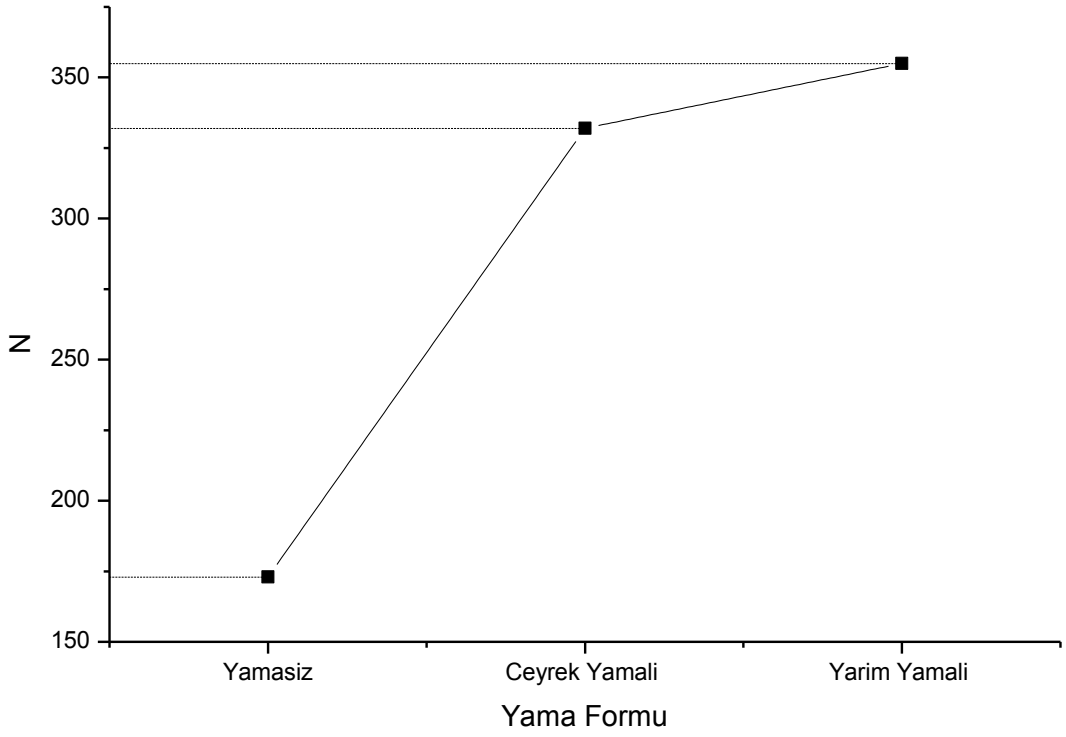


Şekil 3.44. 3 mm Çatlağa Sahip Olan Alüminyum Numunelerin Yamasız, Çeyrek ve Yarım Daire Formunda Kompozit Yamalanması Modellerine Ait Yorulma Ömürlerinin Mukayese Edilmesi

Şekil 3.44' de 3 mm çatlak uzunluğuna sahip, yamasız, çeyrek daire ve yarım daire formunda $[0/90]_2$ cam – epoksi kompozit ile yamalanan, alüminyum numunelerin nümerik olarak yapılan burulma yorulmasına ait analiz sonuçlarına göre oluşturulan yorulma ömürlerine ait grafik görülmektedir.

Grafikte görüldüğü üzere, yamalı numuneler, yamasız numunelere göre daha yüksek bir yorulma ömrüne sahiptir. Ayrıca bu durumda çeyrek daire formu ile yamalanan numuneler, yarım daire formu ile yamalanan numunelere göre daha düşük bir yorulma ömrüne sahiptirler.

Son olarak, analizler sonucunda numunelerde ortaya çıkan hasarın başlangıcı, çatlak bölgelerinin köşe noktalarında gerçekleşmiştir.

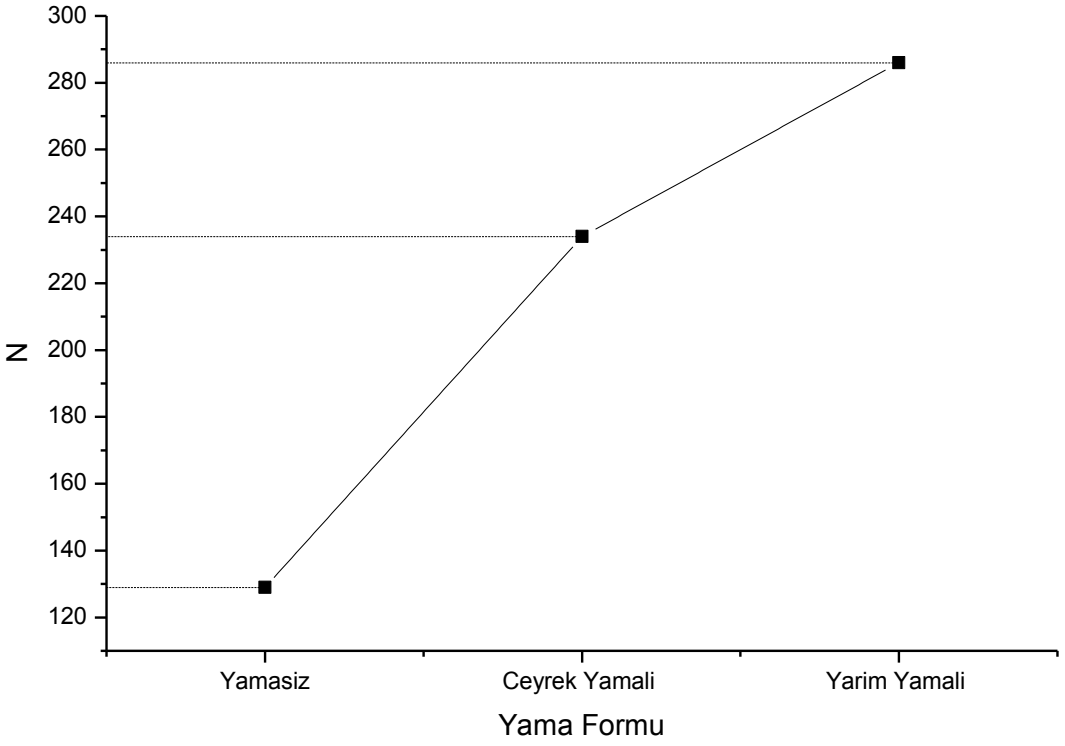


Şekil 3.45. 5 mm Çatlağa Sahip Olan Alüminyum Numunelerin Yamasız, Çeyrek ve Yarım Daire Formunda Kompozit Yamalanması Modellerine Ait Yorulma Ömürlerinin Karşılaştırılması

Şekil 3.45' de 5 mm çatlak uzunluğuna sahip, yamasız, çeyrek daire ve yarım daire formunda $[0/90]_2$ cam – epoksi kompozit ile yamalanan, alüminyum numunelerin nümerik olarak yapılan burulma yorulmasına ait analiz sonuçlarına göre oluşturulan yorulma ömürlerine ait grafik görülmektedir.

Grafikte görüldüğü üzere, yamalı numuneler, yamasız numunelere göre daha yüksek bir yorulma ömrüne sahiptir. Ayrıca bu durumda çeyrek daire formu ile yamalanan numuneler, yarım daire formu ile yamalanan numunelere göre daha düşük bir yorulma ömrüne sahiptirler.

Son olarak, analizler sonucunda numunelerde ortaya çıkan hasarın başlangıcı, çatlak bölgelerinin köşe noktalarında gerçekleşmiştir.

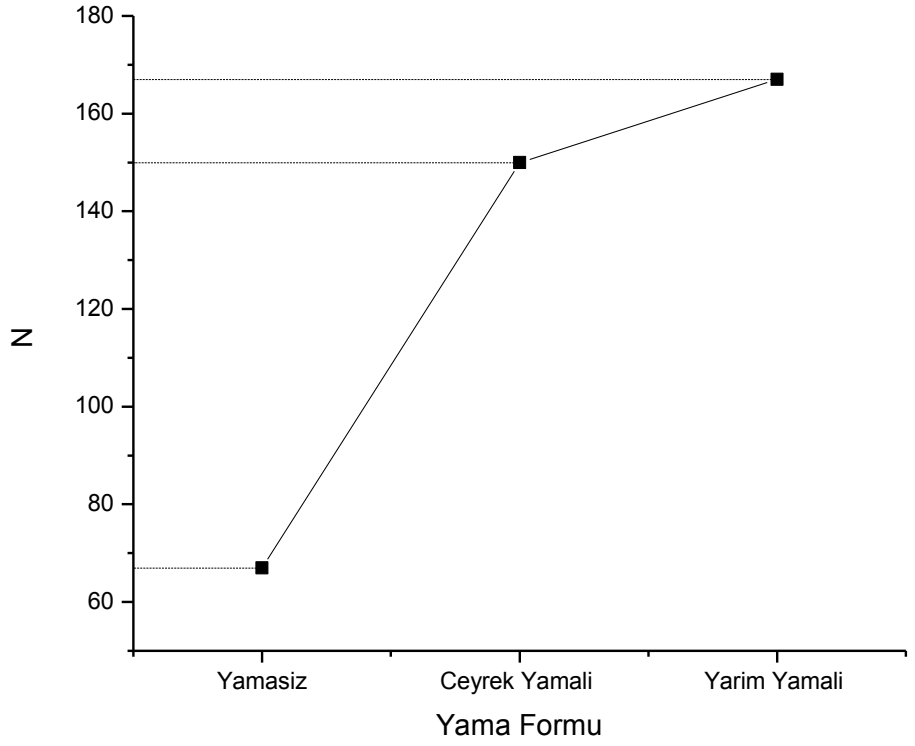


Şekil 3.46. 7 mm Çatlağa Sahip Olan Alüminyum Numunelerin Yamasız, Çeyrek ve Yarım Daire Formunda Kompozit Yamalanması Modellerine Ait Yorulma Ömürlerinin Karşılaştırılması

Şekil 3.46' da 7 mm çatlak uzunluğuna sahip, yamasız, çeyrek daire ve yarım daire formunda $[0/90]_2$ cam – epoksi kompozit ile yamalanan, alüminyum numunelerin nümerik olarak yapılan burulma yorulmasına ait analiz sonuçlarına göre oluşturulan yorulma ömürlerine ait grafik görülmektedir.

Grafikte görüldüğü üzere, yamalı numuneler, yamasız numunelere göre daha yüksek bir yorulma ömrüne sahiptir. Ayrıca bu durumda çeyrek daire formu ile yamalanan numuneler, yarım daire formu ile yamalanan numunelere göre daha düşük bir yorulma ömrüne sahiptirler.

Son olarak, analizler sonucunda numunelerde ortaya çıkan hasarın başlangıcı, çatlak bölgelerinin köşe noktalarında gerçekleşmiştir.

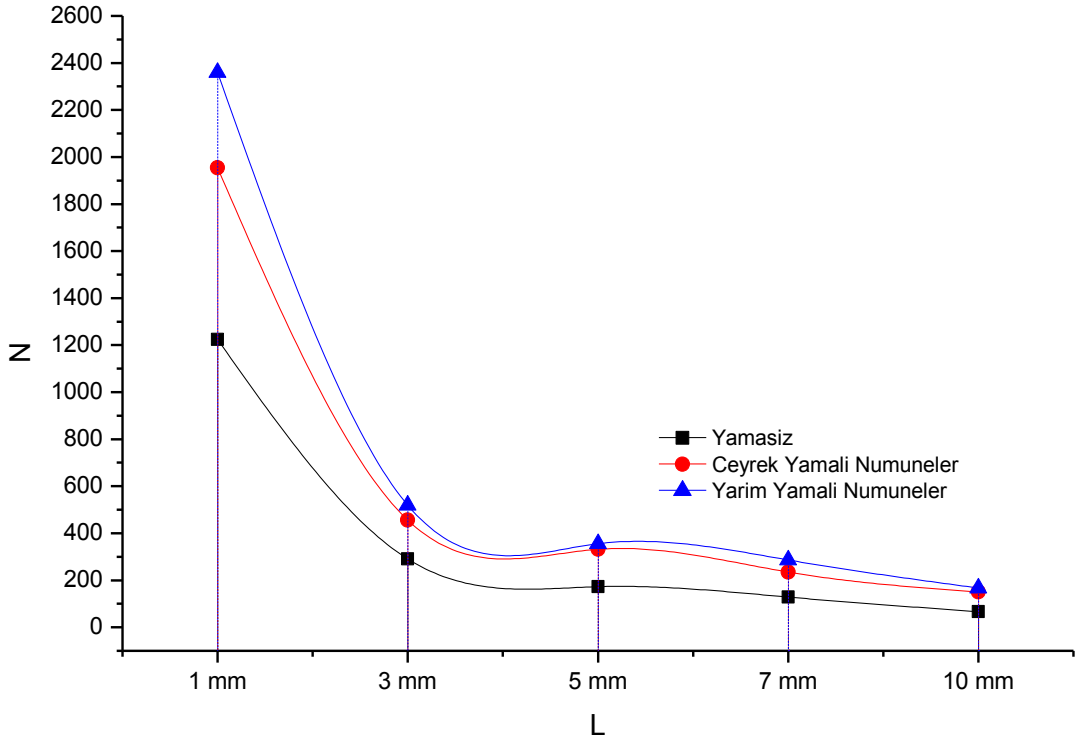


Şekil 3.47. 10 mm Çatlağa Sahip Olan Alüminyum Numunelerin Yamasız, Çeyrek ve Yarım Daire Formunda Kompozit Yamalanması Modellerine Ait Yorulma Ömürlerinin Karşılaştırılması

Şekil 3.47' de 10 mm çatlak uzunluğuna sahip, yamasız, çeyrek daire ve yarım daire formunda $[0/90]_2$ cam – epoksi kompozit ile yamalanan, alüminyum numunelerin nümerik olarak yapılan burulma yorulmasına ait analiz sonuçlarına göre oluşturulan yorulma ömürlerine ait grafik görülmektedir.

Grafikte görüldüğü üzere, yamalı numuneler, yamasız numunelere göre daha yüksek bir yorulma ömrüne sahiptir. Ayrıca bu durumda çeyrek daire formu ile yamalanan numuneler, yarım daire formu ile yamalanan numunelere göre daha düşük bir yorulma ömrüne sahiptirler.

Son olarak, analizler sonucunda numunelerde ortaya çıkan hasarın başlangıcı, çatlak bölgelerinin köşe noktalarında gerçekleşmiştir.

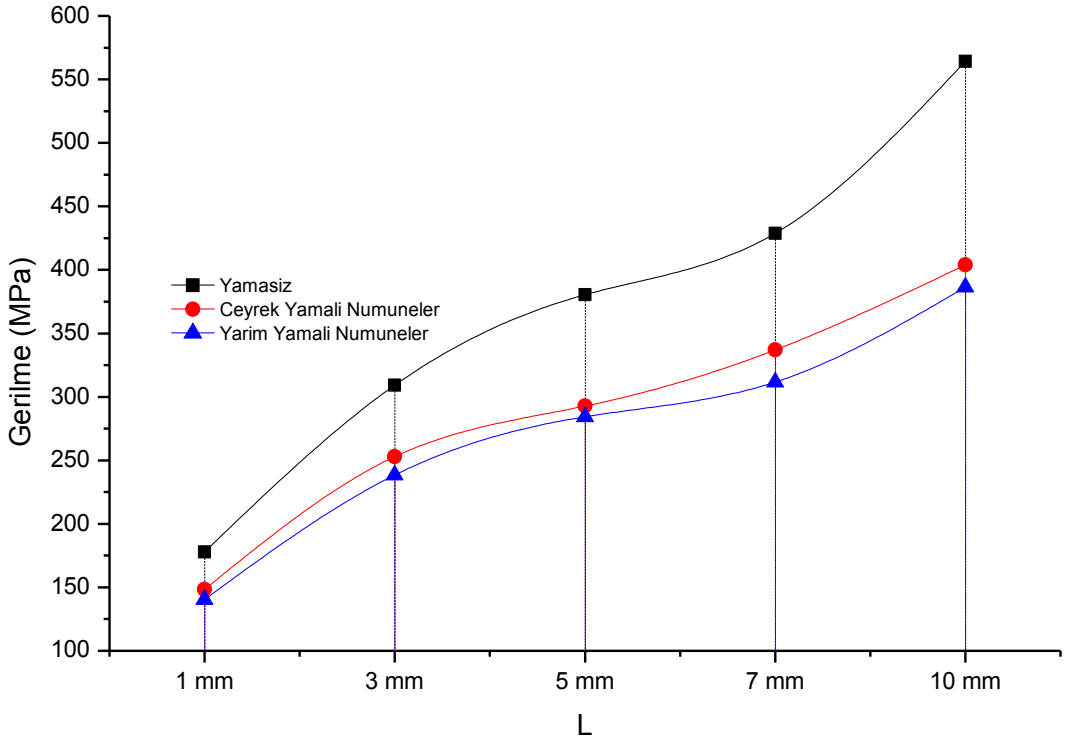


Şekil 3.48. 1, 3, 5, 7 ve 10 mm Çatlağa Sahip Olan Alüminyum Numunelerin Yamasız, Çeyrek ve Yarım Daire Formunda Kompozit Yamalanması Modellerine Ait Yorulma Ömürlerinin Mukayese Edilmesi

Şekil 3.40, 3.41, 3.42, 3.43, 3.44, 3.45, 3.46 ve 3.47' de bahsi geçen tüm sonuçların bir grafik altında toplandığı Şekil 3.48' de görüldüğü üzere en yüksek yorulma ömürleri 1 mm çatlak uzunluğuna sahip numunelerde görülmüştür.

En düşük yorulma ömürleri ise 10 mm çatlak uzunluğuna sahip numunelerde görülmüştür.

Ayrıca daha önceden bahsedildiği üzere çeyrek daire formunda yamaların, yarım daire formunda ki yamalara göre yorulma ömrüne katkısı daha azdır.

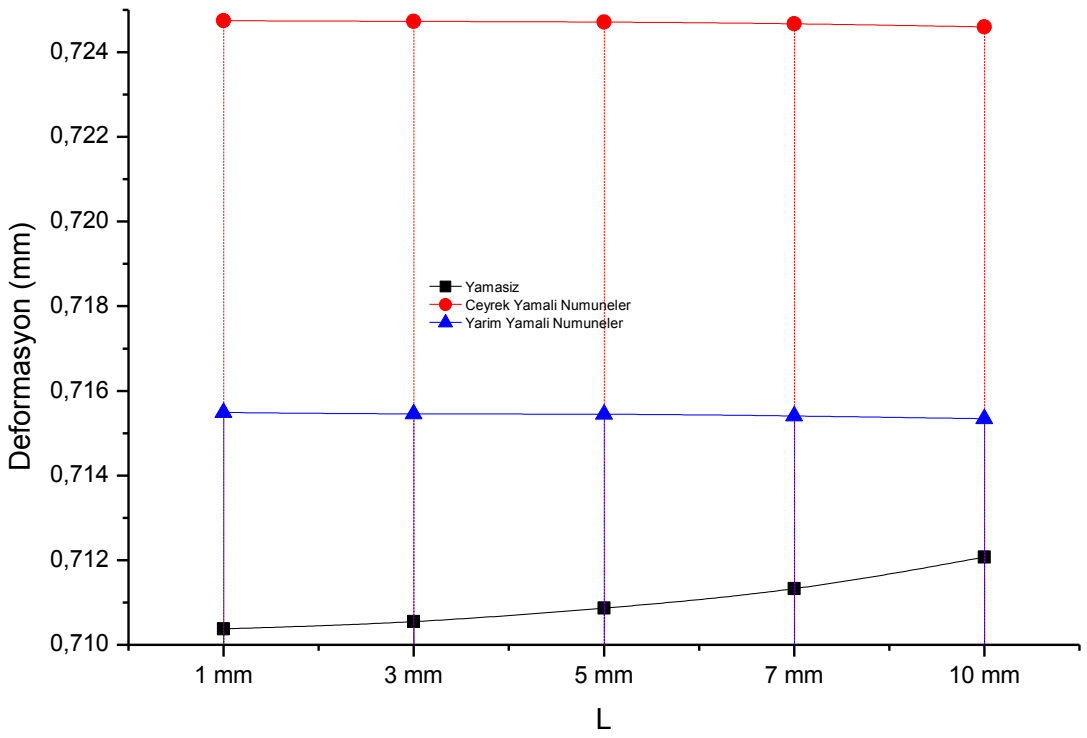


Şekil 3.49. 1, 3, 5, 7 ve 10 mm Çatlağa Sahip Olan Alüminyum Numunelerin Yamasız, Çeyrek ve Yarım Daire Formunda Kompozit Yamalanması Modellerine Ait Max. Gerilme Sonuçlarının Mukayese Edilmesi

Şekil 3.49' da görüldüğü üzere 1, 3, 5, 7 ve 10 mm çatlak uzunluklarına sahip numunelerin nümerik analizleri sonucunda numuneler üzerine etki eden max. gerilme değerleri MPa olarak bir grafik altında toplanmıştır.

Burada görüldüğü gibi en yüksek gerilme değeri 10 mm çatlak uzunluğuna sahip numunelerde görülmektedir.

En düşük gerilme değeri ise 1 mm çatlak uzunluğuna sahip numunelerde ortaya çıkmıştır.



Şekil 3.50. 1, 3, 5, 7 ve 10 mm Çatlağa Sahip Olan Alüminyum Numunelerin Yamasız, Çeyrek ve Yarım Daire Formunda Kompozit Yamalanması Modellerine Ait Max. Deformasyon Sonuçlarının Mukayese Edilmesi

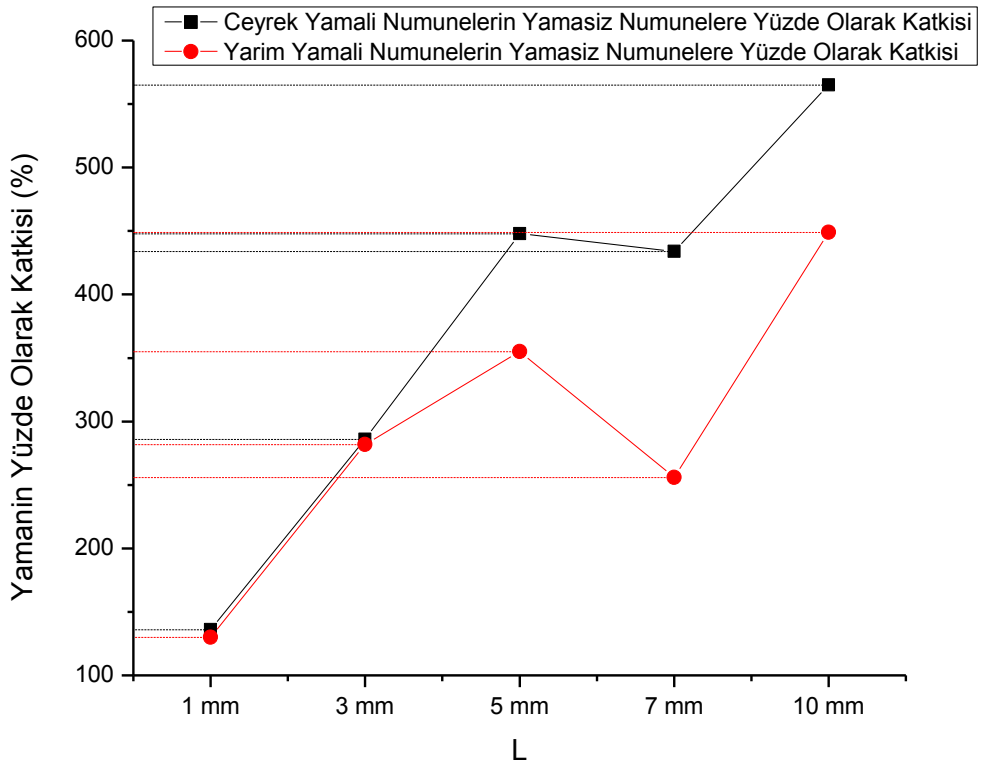
Şekil 3.50' de görüldüğü üzere 1, 3, 5, 7 ve 10 mm çatlak uzunluklarına sahip numunelerin nümerik analizleri sonucunda numuneler üzerine etki eden max. deformasyon değerleri mm olarak bir grafik altında toplanmıştır. Burada görüldüğü gibi en yüksek deformasyon değeri 10 mm çatlak uzunluğuna sahip numunelerde görülmektedir. En düşük deformasyon değeri 1 mm çatlak uzunluğuna sahip numunelerde görülmektedir.

3.3.4. Yamalı ve Yamasız Numune Analiz Sonuçlarının Yüzde Olarak Farkları

Cam – epoksi materyali ile çeyrek ve yarım daire biçiminde modellenen, sabit mesnet durumunda nümerik olarak yapılan çeki – bası yorulma analizlerinde yamalı ve yamasız durumlarda ortaya doğal olarak belli farklar çıkmıştır. Bu farklar yüzde hesabıyla Tablo 3.12' de verilmiştir. Tabloda verilen veriler incelendiği zaman çeyrek ya da yarım daire formunda olan kompozitlerin çeki – bası ve burulma yorulmalarında nasıl bir fark yarattığını görebilmekteyiz.

Tablo 3.12 Yamalı ve yamasız numunelerin, çeki – bası yorulma analizi sonucunda ortaya çıkan farklar

	Yamasız ve Çeyrek Kompozit Yamalı Numunelerin Yorulma Ömürlerinde ki Fark (%)	Yamasız ve Yarım Kompozit Yamalı Numunelerin Yorulma Ömürlerinde ki Fark (%)
1 mm	136	130
3 mm	286	282
5 mm	448	355
7 mm	434	256
10 mm	565	449



Şekil 3.51. Yamalı ve yamasız numunelerin, çeki – bası yorulma analizi sonucunda ortaya çıkan numuneler üzerindeki etkileri

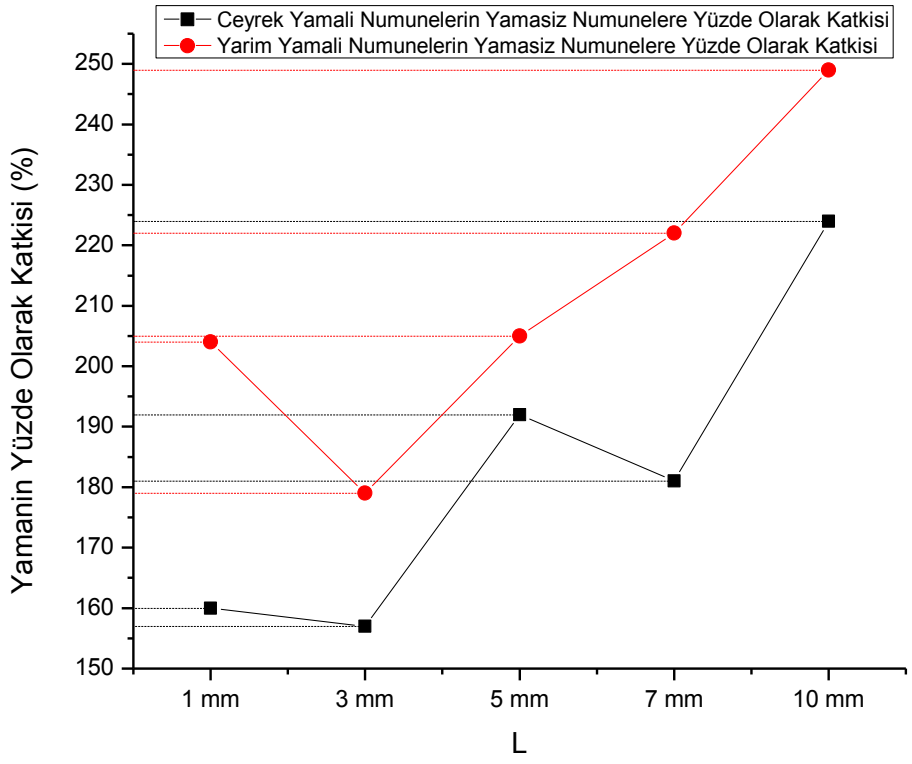
Çeki – bası olarak düşünülen ve buna göre modellenen tüm numunelerin yorulma analizlerinin sonuçları değerlendirildiği zaman Tablo 3.12' de görüldüğü üzere yamasız numunelerin çeyrek ve yarım daire formunda yamalanması ile olan karşılaştırılmaları görülmektedir. Tablo 3.12' e göre oluşturulan Şekil 3.51' de görüldüğü gibi çeyrek daire formunda ki katkı her zaman yarım daire formuna göre daha fazladır. 1 mm ve 3 mm çatlak uzunluklarında genel olarak yamalar birbirine yakın katkılar sağlarken, 5 mm' den

başlayarak katkı oranları arasında bir artış söz konusudur. Tablo 3.12 ve Şekil 3.51' de görüldüğü gibi en yüksek katkı 10 mm' lik çatlak uzunluğunda ortaya çıkmıştır.

Farklı bir bakış açısından bakıldığında da çeyrek daire formunda yamalanan numuneler içerisinde en yüksek katkı %565 ile 10 mm çatlak uzunluğuna sahip numunede gerçekleşmiştir. Yarım daire formunda yamalanan numuneler içerisinde ise en yüksek katkı yine % 449 ile 10 mm çatlak uzunluğuna sahip numunede gerçekleşmiştir.

Tablo 3.13 Yamalı ve yamasız numunelerin, burulma yorulma analizi verileri sonucunda ortaya çıkan farkları

	Yamasız ve Çeyrek Kompozit Yamalı Numunelerin Yorulma Ömürlerinde ki Fark (%)	**Yamasız ve Yarım Kompozit Yamalı Numunelerin Yorulma Ömürlerinde ki Fark (%)**
1 mm	160	204
3 mm	157	179
5 mm	192	205
7 mm	181	222
10 mm	224	249

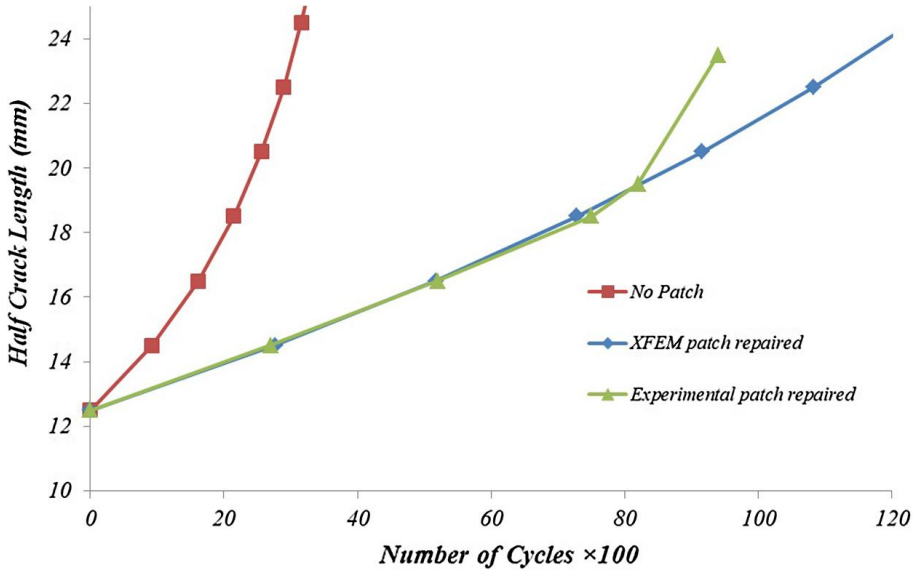


Şekil 3.52. Yamalı ve yamasız numunelerin, burulma yorulma analizi sonucunda ortaya çıkan numuneler üzerindeki etkileri

Burulma olarak düşünülen ve buna göre modellenen tüm numunelerin yorulma analizlerinin sonuçları değerlendirildiği zaman Tablo 3.13' de görüldüğü üzere yamasız numunelerin çeyrek ve yarım daire formunda yamalanması ile olan karşılaştırılmaları görülmektedir. Tablo 3.13' e göre oluşturulan Şekil 3.52' de görüldüğü gibi çeyrek daire formunda ki katkı her zaman yarım daire formuna göre daha azdır. Tablo 3.13 ve Şekil 3.52' de görüldüğü gibi en yüksek katkı 10 mm' lik çatlak uzunluğunda ortaya çıkmıştır.

Farklı bir bakış açısından bakıldığında da çeyrek daire formunda yamalanan numuneler içerisinde en yüksek katkı %224 ile 10 mm çatlak uzunluğuna sahip numunede gerçekleşmiştir. Yarım daire formunda yamalanan numuneler içerisinde ise en yüksek katkı yine % 249 ile 10 mm çatlak uzunluğuna sahip numunede gerçekleşmiştir.

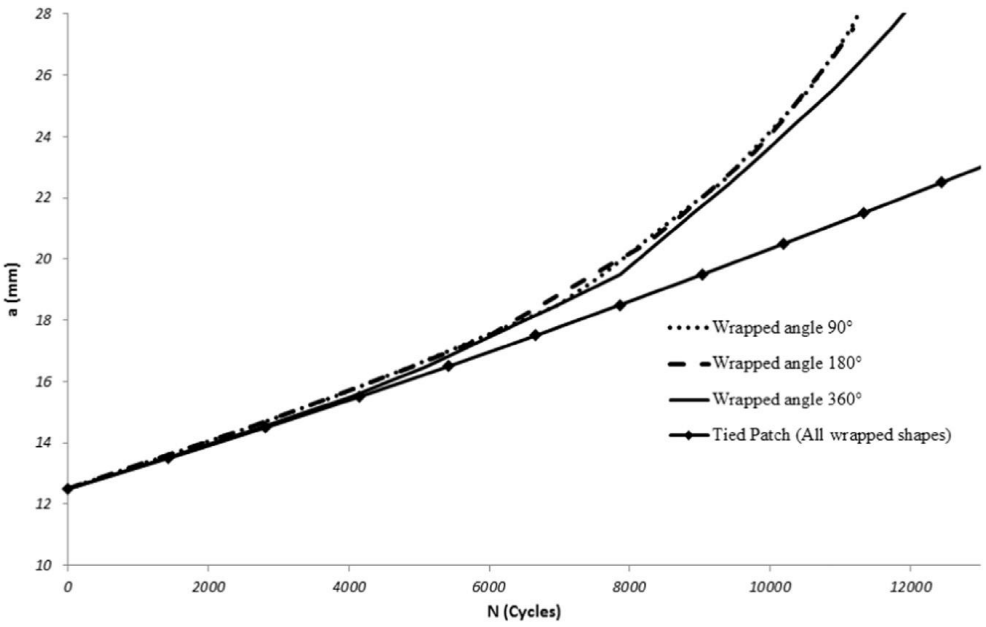
Tez çalışması kapsamında yapılan tüm analizler, oluşturulan tablolar ve grafikler yardımı ile elde edilen bulgular, çalışmanın ana konuları olan yama ve yama örtme boyunun numunelerin yorulma ömrüne olan etkilerinin araştırılması için yapılmıştır. Çalışmamız nümerik esaslı olup bulguların doğruluğu açısından değerlendirilirse, literatürde yapılan başka çalışmalar ile benzeştiğini görmekteyiz. İlk olarak yamanın numune üzerine olan etkilerine nümerik olarak bakıldığında, yamanın genel olarak numunenin yorulma ömrü üzerine olumlu etki sağladığı verisine ulaşılmıştır. Bu veriler ile ilgili tüm çalışma bölüm üçte detaylı olarak ele alınmıştır. Literatüre bakıldığı zaman elde edilen verileri destekler nitelikte birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalara birkaç örnek verilirse; İlk olarak Kabir M.Z ve arkadaşları [29] çalışması verilebilir.



Şekil 3.53. Kompozit Yama Uygulaması Sonucunda Onarılmış Bir Alüminyum Borunun Deneysel Ve Nümerik Olarak Yorulma Çatlak Büyüme Grafiği [29]

Şekil 3.53’ de görüldüğü üzere çalışma deneysel ve nümerik olarak iki aşamalıdır. Temelde çatlaklı bir alüminyum borunun yorulma sürecindeki çatlak ilerlemesini araştırmış olup, sonuçlar incelendiği zaman yama uygulaması sonucunda çatlak ilerlemesinin yamasız numuneye oranla oldukça yavaşlamış olduğu sonucuna varılmıştır. Şekil 3.51 ve 3.52’ de verilen sonuçlar ile karşılaştırdığımız zaman ulaştığımız, yamanın yorulma ömrü üzerine olumlu etkisi bu çalışma ile birbirini destekler niteliktedir.

Başka bir örnek verilecek olursa, Kabir M.Z. ve arkadaşlarının[30] yaptığı çalışma, çalışmamız ile benzerlikler göstermekte olup, genel hatları ile çatlaklı alüminyum boruya yapılan yama uygulamasında, yama örtme boyunun değişmesi durumlarında ki yorulma ömrü araştırılmıştır. Çalışmanın sonuçlarının değerlendirildiği bölümde elde edilen bulgular ile çalışmamızın bulguları birbiri ile genel hatları ile örtüşmektedir.



Şekil 3.54. Çatlaklı Borudaki Farklı Yama Onarım Şekilleri İçin a-N Eğrisi [30]

Şekil 3.54’ de görüldüğü üzere yama örtme boyu ile numunenin yorulma ömrü arasında genel olarak ters orantılı bir durum mevcuttur. Şekil 3.37 ve 3.48’ de verilen sonuçlar ile karşılaştırdığımız zaman ulaştığımız, yama örtme boyunun yorulma ömrü üzerine etkisi bu çalışma ile birbirini destekler niteliktedir.

Elbette çalışmaların sonucunda elde edilen bulgularda bazı farklılıklar vardır. Kullanılan materyaller, boyutlar, yama materyali vb. parametrelerden kaynaklı ortaya çıkan bu durum çalışmaların geniş olarak değerlendirilmesi ile önemini kaybetmektedir. Çalışmaların sonuçları parametrelerden bağımsız değerlendirildiği zaman sonuçlarda benzeşmeler olduğu kanısına varılmıştır. Sonuç olarak çalışmamızın sonucunda literatürü doğrular ve yer yer onları geliştiren sonuçlara ulaşılmıştır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada AL – 6063 içi boş bir alüminyum boruda çatlak olacak şekilde modellenmiş ve DP 460 yapıştırıcı materyal kullanılarak $[0/90]_2$ cam – epoksi materyali ile yamanmıştır.

İçi boş alüminyum borudaki çatlak bölgeleri 1, 3, 5, 7 ve 10 mm uzunluğa ve 0.25 mm yüksekliğe sahip olacak şekilde merkezde modellenmiştir. Ardından bu modeller üzerinde çeki – bası ve burulma yorulmaları için nümerik analizler gerçekleştirilmiştir.

Yapılan nümerik analizler için Ansys Workbench 15 kullanılmış olup tüm veriler bu paket program üzerinden elde edilmiştir. Ulaşılmak istenilen tüm yorulma, gerilme ve deformasyon verileri önceki bölümde detaylı olarak verilmiştir.

4.1. Çeki – Bası Yorulma Analizlerinin Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Yapılan çeki – bası yorulmaları üzerine yapılan değerlendirmeler doğrultusunda sonuç olarak, numunelere yama uygulanması sonucunda yorulma ömrünün kesinlikle arttığı görülmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli nokta çatlak uzunluğunun artmasıyla yama etkisinin arttığı saptanmıştır.

Burada artan yorulma ömrü, bizlere malzemenin yamanarak tekrar kullanılmasının mümkün olduğunu ve bundan dolayı kurumların hem kendi ekonomilerine hem de ülke ekonomilerine fayda sağlayacağını göstermektedir. Hasarlı materyallerin yerine ve önemine göre kompozit yama ile yamanarak kullanılması uygundur.

Ancak çeki – bası gibi tek eksenli bir yüke maruz kalan materyallerin kullanıldığı bölgelerde, yamanın örtme boyu olarak değerlendirilirse materyal çeyrek daire formundan biraz daha büyük bir boy ile yamanırsa en yüksek dayanıma kavuşacaktır.

4.2. Burulma Yorulması Analizlerinin Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Burulma yorulmaları üzerine yapılan değerlendirmeler doğrultusunda sonuç olarak, numunelerin yorulma ömürlerinin kesinlikle arttığı görülmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli nokta çatlak boyunun fazla olması dolayı yamanın etkisinin arttığı görülmüştür.

Burada artan yorulma ömrü, bizlere malzemenin yamanarak tekrar kullanılmasının mümkün olduğunu ve bundan dolayı kurumların hem kendi ekonomilerine hem de ülke ekonomilerine fayda sağlayacağını göstermektedir.

Hasarlı materyallerin yerine ve önemine göre kompozit yama ile yamanarak kullanılması uygundur. Ancak burulma gibi dönme yüküne maruz kalan materyallerin kullanıldığı bölgelerde, yamanın örtme boyu değerlendirilirse materyal ne kadar uzun bir örtme boyuna sahip yama ile yamanırsa o kadar yüksek dayanıma kavuşacaktır.

KAYNAKLAR

[1]. Vatangül E. (2008). Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi ve Ansys 10 Programı ile Isıl Gerilme Analizi (Bitirme Projesi), Dokuz Eylül Üniversitesi Karaman Y. (2017). Kompozit Yama ile Yapıştırılarak Yamanmış Eliptik Delikli Alüminyum Plakaların Eğme Davranışına Etkisinin Sayısal İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi), Batman Üniversitesi

[2]. Saylık A. (2016). Kompozit Yama ile Tamir Edilmiş Çentikli Alüminyum Levhaların Gerilme Analizi (Yüksek Lisans Tezi), Fırat Üniversitesi

[3]. Parlamış A. (2016). Hasara Uğramış Pim Bağlantılı Kompozitlerin Yama ile Tamir Performansının Araştırılması (Yüksek Lisans Tezi), Fırat Üniversitesi

[4]. Günaydın B. (2010). Kompozit Yama ile Onarılmış Yüzey Çentikli Filaman Sarım Borularda Yorulma Davranışları (Doktora Tezi), Selçuk Üniversitesi

[5]. Özdemir T. E. (2009). Kaynaklı Çelik Konstrüksiyonlarda Oluşan Kısa Yorulma Çatlakları (Yüksek Lisans Tezi), Celal Bayar Üniversitesi

[6]. Baklacıoğlu T. (2005). Sonlu Elemanlar Metodu ile Çatlaklı Yapılarda Yorulma Ömrünün Belirlenmesi (Yüksek Lisans Tezi), Anadolu Üniversitesi

[7]. Canbolat C. (2018). 2024 AL Levhalarda Cam – Elyaf Kompozit Yama ile Tamiri (Yüksek Lisans Tezi), Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

[8]. 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

[9]. Soy U. (2005). Bilgisayar Destekli Modelleme Yardımıyla AL 2024 – T3 Alaşımlı Plakların Kompozit Yama ile Yapıştırmalı Tamiri (Yüksek Lisans Tezi), Sakarya Üniversitesi

[10]. Olgun B. Ö. (2008). Kompozit Yama ile Tamir Edilmiş Çatlaklı Filaman Sarım Borularda Kırılma Analizi (Yüksek Lisans Tezi), Selçuk Üniversitesi

[11]. Çay M. (2016). Bünyesinde Çatlak Bulunduran Levhaların Boron – Epoksi Yama ile Tamirinin İki Farklı Yapıştırıcının Birlikte Kullanılmasının Kayma Gerilmelerine Etkisinin İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi

[12]. Erkek B. (2018). Yama ve Yapıştırıcı Kullanılarak Tamir Edilmiş Kompozit Levhaların Burkulma Davranışı Üzerine Termal Yaşlanma Etkilerinin Araştırılması (Yüksek Lisans Tezi), Dicle Üniversitesi

[13]. Ahlatlı O. (2018). Eliptik Hasarlı Kompozit Levhaların Tamirinde Yama Boyutları ve Yama Tabaka Sayısının Eğilme Gerilme Davranışına Etkisinin Deneysel ve Nümerik Olarak Araştırılması (Yüksek Lisans Tezi), Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

[14]. 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

[15]. Alyanak İ., Şen F. (2015). Paralel Çift Pim Uygulanmış ve Yapıştırılmış Karma Bağlantı Kompozit Plakaların Çekme Yükü Altında Gerilme Analizi, Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2(2015), 11 – 23

[16]. Demir S. (2012). Yorulma Mukavemet Faktörü ve İzotropik Isıl Değişimlerine Bağlı Tek rotor Tahrikli Çoklu Vida Bağlantılı Flanşların

Ansys Workbench 13.0 ile Yorulma Analizi (Yüksek Lisans Tezi), Dumlupınar Üniversitesi

[17]. Sunar Ö. (2015). Yaprak Yaylarda Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Yorulma Analizi (Yüksek Lisans Tezi), Celal Bayar Üniversitesi

[18]. Pektaş S. H. (2006). Fren Mekanizması Yorulma Testinin FEA Metoduyla Simülasyonu (Yüksek Lisans Tezi), Dokuz Eylül Üniversitesi

[19]. Gündüz Y. (2013). Yama ile Tamir Edilmiş Çatlak İçeren Pim Bağlantılı Kompozitlerde Kırılma Davranışının Sayısal Analizi (Yüksek Lisans Tezi), Fırat Üniversitesi

[20]. SolidWorks Material Librariy

[21]. Aydın, M. D., Akpınar, S., Özel, A., Erdoğan, S. (2015). Kayma Yüküne Maruz Yapıştırma Bağlantılarından Yapısal Yapıştırıcıların Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi, Mühendis ve Makina, cilt 56, sayı 668, s. 48 – 55.

[22]. 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.

[23]. Eskizeybek V. (2006). Paslanmaz Çelik Elyaf Takviyeli Alüminyum Kompozitlerde Yorulma Çatlak İlerlemesi (Yüksek Lisans Tezi), Selçuk Üniversitesi

[24]. Ghovanlou M.K., Jahed H., Khajepour Amir. (2014). Cohesive Zone Modeling Of Fatigue Crack Growth In Brazed Joints, Engineerring Fracture Mechanics, Vol. 120, 43 – 59.

[25]. Salih S., Davey K., Zou Z. (2018). Frenquency Dependent Cohesive Zone Model For Fatigue, International Journal Of Solids And Structures, Vol 152, 228 – 237.

[26]. Roth S., Kuna M. (2017). Prediction Of Size Dependent Fatiguq Failure Modes By Means Of Cyclic Cohesive Zone Model, International Journal Of Fatigue, Vol. 100, 58 – 67.

[27]. Qian Z., Huang H. (2019). Coupling Fatigue Cohesive Zone And Magnetomechanical Model For Crack Detection In Coanting Interface, NDT and E International, Vol. 105, 25 – 34.

[28]. Saraç İ. (2018). Tek Tesirli Yapıştırma Bağlantılarında Epoksi Yapıştırıcı İçerisinde Nanopartikül Kullanılmasının Bağlantının Statik ve Yorulma Mukavemetine Etkisinin Araştırılması (Doktora Tezi), Batman Üniversitesi

[29]. Kabir M.Z., Deylami A., Zarrinzadeh H. (2017). Experimental and Numerical Fatigue Crack Growth Of An Aluminium Pipe Repaired By Composite Patch, Engineering Structures, Vol. 133, 24 – 32.

[30]. Kabir M.Z., Deylami A., Zarrinzadeh H. (2017). Crack growth and debonding analysis of an aluminum pipe repaired by composite patch under fatigue loading, Thin – Walled Structures, Vol. 112, 140 – 148.

[31]. Liu J., Qin M., Zhao Q., Chen L., Liu P., Gao J. (2017). Fatigue performances of the cracked aluminum-alloy pipe repaired with a shaped CFRP patch, Thin – Walled Structures, Vol. 111, 155 – 164.

[32]. Lam C., Cheng J., Yam C. (2011). Finite Element Study of Cracked Steel Circular Tube Repaired By FRP Parching, Procedia Engireering, Vol. 14, 1106 – 1113.

[33]. Ghaffari M. A., Toudeshky H. (2013). Fatigue Crack Propagation Analysis of Repaired Pipes With Composite Patch Under Cyclic Pressure, Journal of Pressure Vessel Technology, Vol. 135, 031402 – 2.

[34]. Chien H. (2018). Nonlinear Buckling Analysis of a Cylindrical Shell Structures, Journal of Mechanical Engineering Research Developments, Vol. 42, 74 – 80.

[35]. Kabir M., Nazari A. (2011). The Study of Ultimate Strength in Notched Cylinders Subjected To Axial Comporession, Journal of Constructional Steel Research, Vol. 67, 1442 – 1452.

[36]. Zarate B., Caicedo J., Yu J. Ziehl P. (2012). Bayesian Model Updating and Prognosis of Fatigue Crack Growth, Vol. 45, 53 – 61.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	**:**	Bilal Yıldız
Uyruğu	**:**	T.C
Doğum Yeri ve Tarihi	**:**	İstanbul / Beyoğlu – 18.09.1990
Telefon	**:**	(534) 979 – 3565
e-mail	**:**	bllyildiz@hotmail.com.tr

EĞİTİM

Derece		**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	:	**Kılıçarslan Lisesi, Merkez, Kütahya**	**2006**
Üniversite	:	**İnönü Üniversitesi, Merkez, Malatya**	**2015**

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
2018 - …	**Sar – Van Yapı Denetim**	**Makine Mühendisi**
08/2015 – 12.2015	**AB Endüstriel**	**Makine Mühendisi**
01/2013 – 08/2013	**ALKA**	**Saha Mühendisi**

UZMANLIK ALANI

YABANCI DİLLER

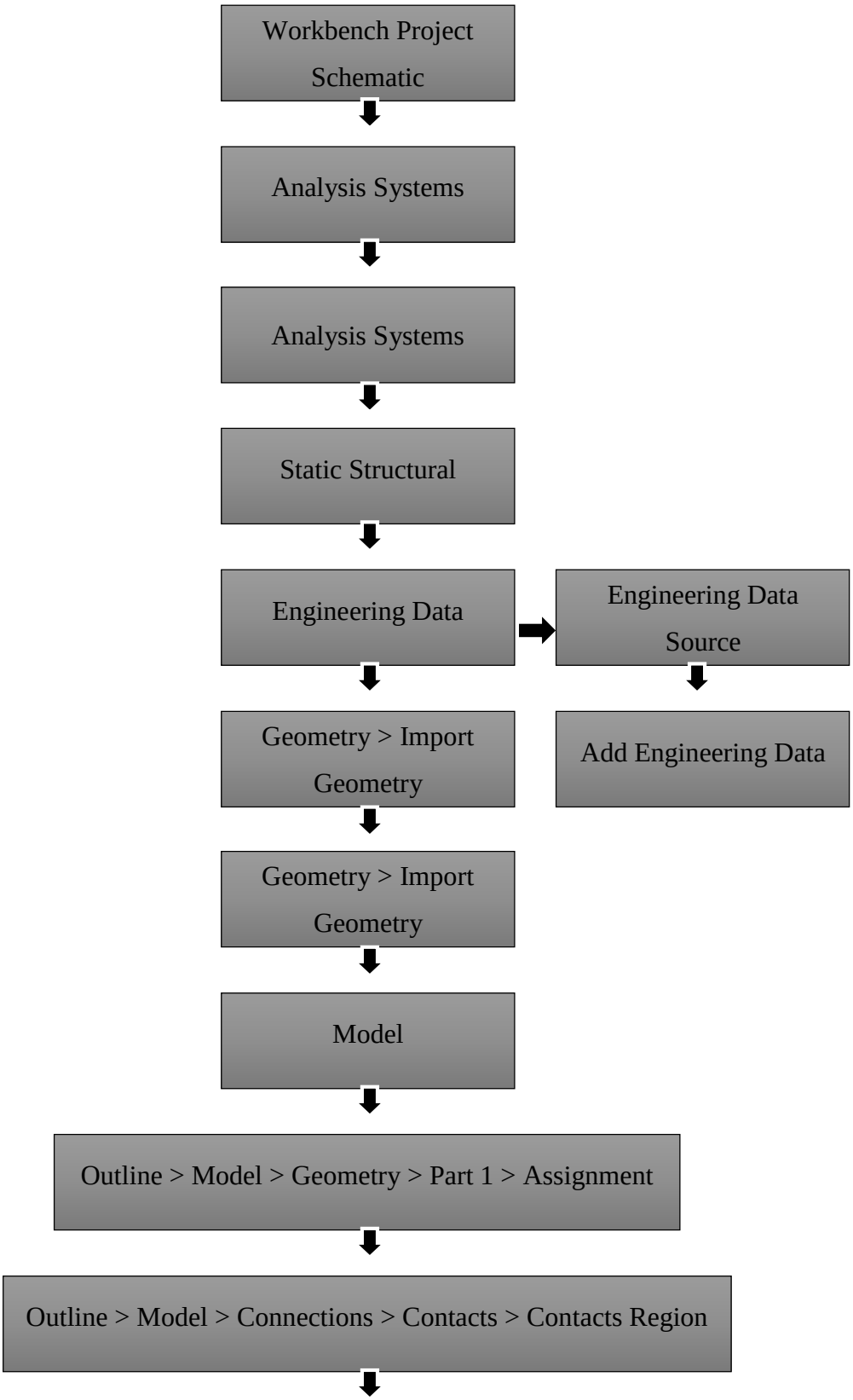
İngilizce

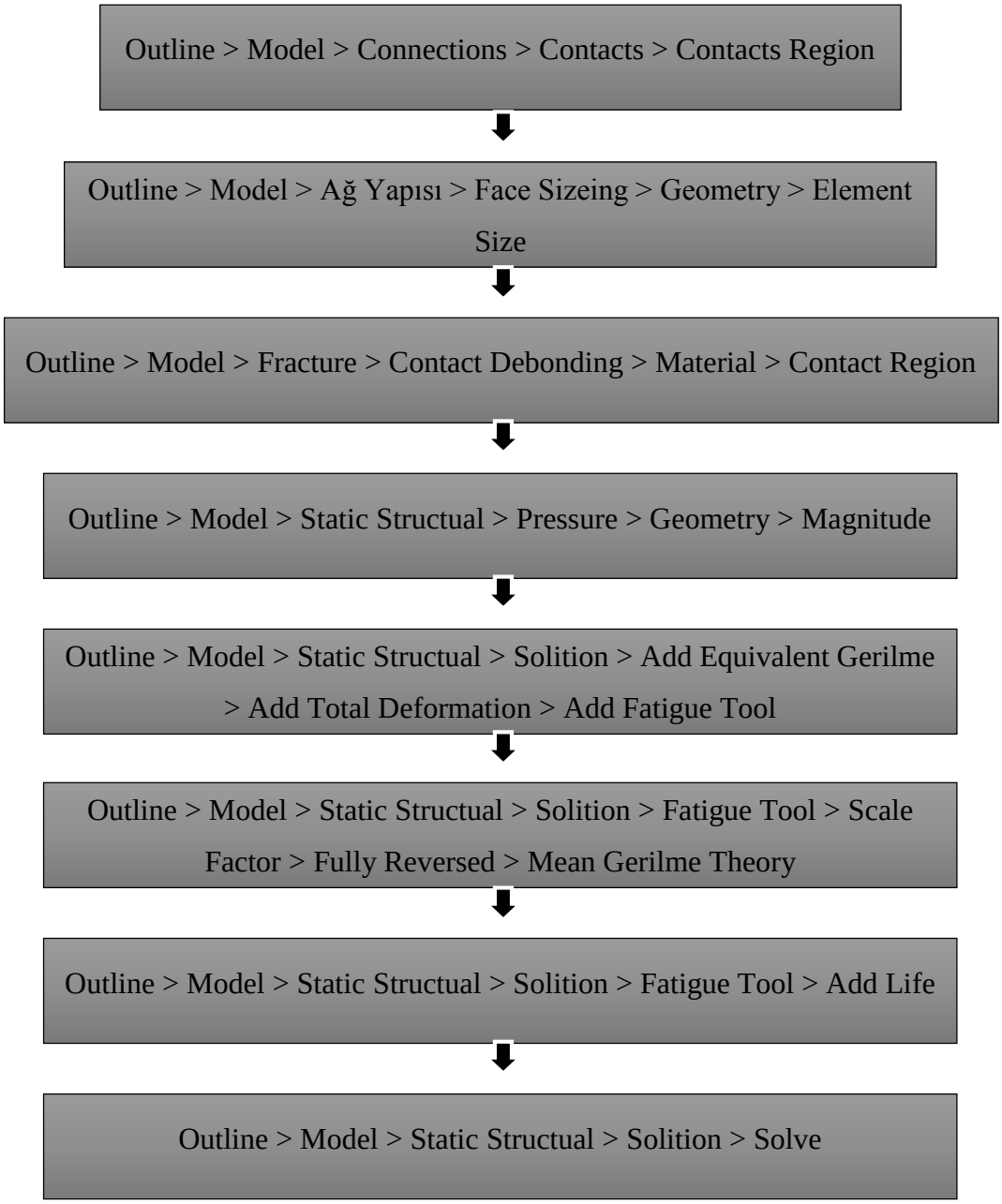
BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR

1. IMSTEC 2017 – 2. Uluslararası Malzeme Bilimi ve Teknolojisi Konferansı / Kapadokya *"The Numerical Failure Analysis of Pipe Used In Plumbing"*, 2017
2. IETS 2018 – 1. International Engineering and Technology Symposium / Batman University *" Daire Testere Makinesinde Kullanılan Milin Nümerik Hasar Analizi ", 2018*
3. IETS 2018 – 1. International Engineering and Technology Symposium / Batman University *" Motorlarda Kullanılan Kam Milinin Nümerik Hasar Analizi ", 2018*
4. IETS 2018 – 1. International Engineering and Technology Symposium / Batman University *" Yaprak Yayların Nümerik Metotlar Yardımıyla Hasar Analizi ", 2018*

ANSYS WORKBENCH 15 YORULMA ANALİZİ AKIŞ DİYAGRAMI




Outline > Model > Connections > Contacts > Contacts Region
Outline > Model > Ağ Yapısı > Face Sizeing > Geometry > Element Size
Outline > Model > Fracture > Contact Debonding > Material > Contact Region
Outline > Model > Static Structual > Pressure > Geometry > Magnitude
Outline > Model > Static Structual > Solition > Add Equivalent Gerilme > Add Total Deformation > Add Fatigue Tool
Outline > Model > Static Structual > Solition > Fatigue Tool > Scale Factor > Fully Reversed > Mean Gerilme Theory
Outline > Model > Static Structual > Solition > Fatigue Tool > Add Life
Outline > Model > Static Structual > Solition > Solve