



T.C.

**BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ÇİFT TAKVİYE LEVHALI T TİPİ
BAĞLANTILARDA TAKVİYE
PARAMETRELERİNİN BAĞLANTI
MUKAVEMETİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MUHAMMED FATİH YILDIZ

**Danışman
Prof. Dr. Bahattin İŞCAN**

KASIM 2021

BATMAN

Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Prof. Dr. Bahattin İŞCAN danışmanlığında MUHAMMED FATİH YILDIZ tarafından hazırlanan “Çift Takviye Levhalı T tipi Bağlantılarda Takviye Parametrelerinin Bağlantı Mukavemetine Etkisi ” adlı tez çalışması 05.11./2021 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Erol KILIÇKAP

Danışman

Prof. Dr. Bahattin İŞCAN

Üye

Prof. Dr. Hamit ADİN

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Doç. Dr. Tarık ARAL
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü 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/ethical conduct and Batman University Institute of Natural and Applied Sciences' Thesis and Seminar Writing Guide. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all materials and results that are not original to this work.

İmza

MUHAMMED FATİH YILDIZ

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

ÇİFT TAKVİYE LEVHALI T TİPİ BAĞLANTILARDA TAKVİYE PARAMETRELERİNİN BAĞLANTI MUKAVEMETİNE ETKİSİ

MUHAMMED FATİH YILDIZ

BATMAN ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: Prof. Dr. Bahattin İŞCAN

2021, 43 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Erol KILIÇKAP

Prof. Dr. Hamit ADİN

Prof. Dr. Bahattin İŞCAN

Yapıştırma bağlantılarında, kullanılan yapıştırıcıların mekanik davranışları son zamanlarda önem kazanmıştır. Bu çalışmada epoksi yapıştırıcı olan herhangi bir katkı maddesi olmadan çift tesirli bindirme oluşturulmuş ve bağlantılara çekme ve eğilme dayanımları yapıp, indirme uzunluğu 10, 20, 30 mm, radyus uzunluğu 5, 10, 15 mm ve tabaka kalınlığı olarak 0.5, 1 ve 1,5 mm alınarak deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda DP460 epoksi yapıştırıcı ve yapıştırılan malzeme olarak AL5754 Alüminyum plaka kullanılmıştır. Deneylerin sonucunda tabaka kalınlığı arttıkça numunelerin hasar yükü ve uzama miktarının arttığı gözlenmiştir. Ayrıca büküm yarıçapı uzunluğunun artışı numunelerin hasar yüküne ve uzama miktarına etki ettiği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çekme dayanımı, Eğilme dayanımı, T tipi bağlantı, Yapıştırma bağlantıları,

ABSTRACT

MS THESIS

THE EFFECT OF SUPPORT PANEL GEOMETRY PARAMETERS ON THE JOINT STRENGTH OF T JOINTS

MUHAMMED FATİH YILIDZ

**INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES
OF BATMAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF IN MECHANICAL ENGINEERING**

Advisor: Prof. Dr. Bahattin İŞCAN

2021,43 Pages

Jury

Prof. Dr. Erol KILIÇKAP

Prof. Dr. Hamit ADİN

Prof. Dr. Bahattin İŞCAN

The mechanical behavior of the adhesives used in bonding joints has recently gained importance. In this study, a double-acting overlap was created without any epoxy adhesive additives, tensile and bending strengths were made on the connections, lowering lengths of 10, 20, 30 mm, radius length of 5, 10, 15 mm and layer thickness of 0.5, 1 and 1.5 mm experimental studies were carried out. In the experimental studies, DP460 epoxy adhesive and AL5754 Aluminum plate were used as the adhered material. As a result of the experiments, it was observed that the damage load and elongation amount of the samples increased as the layer thickness increased. It has also been observed that the increase in the bending radius length affects the damage load and the amount of elongation of the samples.

Keywords: Adhesive joints, Bending strength, T joints, Tensile strength

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında bana yardımcı olan, yönlendirme ve bilgi akışında destek olan çok değerli hocam Prof. Dr. Bahattin İŞCAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Batman Üniversitesi'nde yaptığım çekme ve basma deneyleri sırasında yardımı, bilgi aktarımı ve deney cihazının kullanılmasında bana destek olan Dr. Tolga TOPKAYA hocama teşekkür ederim.

MUHAMMED FATİH YILDIZ

BATMAN-2021

İÇİNDEKİLER

TEZ BİLDİRİMİ	i
ÖZET	ii
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Bilgisi.....	2
2. YAPIŞTIRICILAR.....	6
2.1. Yapıştırıcıların Pozitif ve Negatif Yönleri.....	6
2.1.1. Pozitif Yönleri.....	6
2.1.2. Negatif Yönleri	6
2.2. Yapıştırıcıları Çeşitleri.....	7
2.2.1. Kimyevi türleri bakımından yapıştırıcılar (epoksi, anaerobik vb.).....	7
3. YAPIŞTIRMA BAĞLANTILARI	14
3.1. Yapıştırma Yüzeyinin Hazırlanması.....	14
3.2. Yapıştırma Bağlantılarına Etki Eden Durumlar.....	15
3.3. Yapıştırma Geometrisi	17
3.4. Yapıştırma Bağlantılarında Oluşan Hasar Tipleri	18
3.5. Yapıştırma Bağlantılarında Yükleme Durumları.....	20
3.6. Gerilme Yığılmalarını Düzeltici Tasarımlar	21
3.7. Konstrüksiyon Önerileri	22
4. MATERYAL VE METOD	23
4.1. Deneysel Çalışma	24
4.1.1. Kullanılan Yapıştırıcı Malzemesi	25
4.1.2. Numunelerin Hazırlanması	26
4.1.3. Deneysel Ön İşlem.....	27
5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI.....	30
5.1. Çekme Deney Sonuçları ve Tartışma	30
5.2. Eğilme Deneyi sonuçları ve Tartışma.....	38
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	42

6.1 Sonuçlar	42
5.2 neriler	43
KAYNAKLAR	44
ÖZGEÇMİŐ	46

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Havacılık Sektöründe Epoksi Kullanım Alanı	9
Şekil 2.2 Çatlak ve Kırıkların Tamirinde Epoksi Kullanımı	9
Şekil 2.3. Sıcak Eriyik Tabancası	11
Şekil 3.1. Yapıştırma Bağında Yapışma Mekanizması	14
Şekil 3.2. Yüzeylerin pürüzlü form durumları	15
Şekil 3.3. Yapıştırma Bağlantılarında Farklı Kuvvet Uygulamaları	16
Şekil 3.4. Yapıştırma Bağlantı Geometrileri	18
Şekil 3.5. Temel Hasar Tipleri	19
Şekil 3.6. Yapıştırma Bağlantılarındaki Gerilme Tipleri	20
Şekil 3. 7. Yapıştırma Bağlantılarında Gerilme Dağılımları	21
Şekil 3.8. Gerilme Yığılımları	21
Şekil 3.9. Konstrüktif Tedbirler	22
Şekil 3.11. Konstrüksiyon Önerileri	22
Şekil 4.1. Shimadzu AG-X 5 kN Universal Test Cihazı	23
Şekil 4.2. Yapıştırılan malzemenin (AL-5754) Gerilme- Şekil Değiştirme Diyagramı	25
Şekil 4.3. Yapıştırıcı malzemenin (DP460) Gerilme- Şekil değiştirme Diyagramı	25
Şekil 4.4. Epoksi Yapıştırıcısı ve Uygulama Aparatı	26
Şekil 4.5. Çekme Deneyi Parçasının Modeli	28
Şekil 4.6. Deney Numunelerinin Hazırlık Aşaması	29
Şekil 5.1. Takviye levhası kalınlığının çekme davranışına etkisi	21
Şekil 5.2. Büküm radiusunun çekme davranışına etkisi	21
Şekil 5.3. 10 mm yatay bindirme uzunluğuna sahip numunelerde düşey bindirme uzunluğunun hasar yüküne etkisi	22
Şekil 5.4. 20 mm yatay bindirme uzunluğuna sahip numunelerde düşey bindirme uzunluğunun hasar yüküne etkisi	22
Şekil 5.5. 30 mm yatay bindirme uzunluğuna sahip numunelerde düşey bindirme uzunluğunun hasar yüküne etkisi	23
Şekil 5.6. 10 mm düşey bindirme uzunluğuna sahip numunelerde yatay bindirme uzunluğunun hasar yüküne etkisi	25
Şekil 5.7. 20 mm düşey bindirme uzunluğuna sahip numunelerde yatay bindirme uzunluğunun hasar yüküne etkisi	25
Şekil 5.8. 30 mm düşey bindirme uzunluğuna sahip numunelerde yatay bindirme uzunluğunun hasar yüküne etkisi	26
Şekil 5.9. 115-a, 225-a, 335-a Numunelerinin Uygulanan Kuvvet- Şekil Değişimi Grafiği	39
Şekil 5.10. 1110-a, 2210-a, 3310-a Numunelerinin Uygulanan Kuvvet- Şekil Değişimi Grafiği	40
Şekil 5.11. 1115-a, 2215-a, 3315-a Numunelerinin Uygulanan Kuvvet- Şekil Değişimi Grafiği	41

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1	Anaerobik Yapıştırıcılar için Ticari Örnekler	7
Tablo 2.2	Siyanoakrilat Yapıştırıcılar için Ticari Örnekler	8
Tablo 4.1	AL5754 Alüminyum Sacın Mekanik Özellikleri	24
Tablo 4.2	AL5754 Sacın Kimyasal Oluşumu.....	24
Tablo 4.3	AL5754 Sacın Fiziksel Özellikleri.....	24
Tablo 4.4	DP460 Yapıştırıcı Malzemesinin Mekanik Özellikleri	25
Tablo 4.5	Deney Numunelerine Ait Sayısal Bilgiler.....	28
Tablo 4.6	Deney Numunelerinin Kalınlık ve Radius Değerleri	28
Tablo 5.1	Eğilme Deneyi Numunelerine Ait Bilgiler.....	38
Tablo 5.2	Eğilme Deneyi Numunelerinin Maksimum Kuvvet- Şekil Değişim Değerleri	41

1. GİRİŞ

Sanayide alanlarında yapıştırıcıların kullanılması yeni olmakla beraber, gerçekleşen fiziksel ve kimyevi büyümeler neticesinde gün geçtikçe çoğalmaktadır. Günümüzde farklı sanayi kuruluşlarında yapıştırıcılar kullanılmaktadır.

Yapıştırıcı olarak kullanılan ilk malzemenin tarihi M.Ö. 4000 senelerine kadar uzanmaktadır. Arkeologların yaptığı çalışmalar sonucunda ilkel kabilelerin kırılan çömlekleri, ağaç öz suyundan yaptıkları yapıştırıcı reçine ile birleştirdikleri görülmüştür. Ayrıca yapılan başka arkeolojik araştırmalar, M.Ö.1500–1000 yıllarında, ahşap yapıştırma işlemlerinde yapıştırıcıların kullanıldığını ortaya çıkmıştır. 1700’lü yıllarda yapıştırıcıların yaygın olarak kullanılmasıyla beraber yapıştırıcıların tarihinde çok hızlı değişiklikler olmuştur. Bu yıllarda hayvan derisinden yapıştırıcı üreten ilk ticari fabrika Hollanda’da kurulmuştur. 1750’li yıllarda, İngiltere’de balıktan elde edilmiş hayvansal yapıştırıcının patenti alınmıştır.

1900’lü yıllardan bu yana tutkal üretimi, sanayi devriminin bir parçasıydı. Birçok yapıştırıcının daha kolay formüllerle elde edilmesi sağlandı. Bu süre zarfında ilk bilardo topları, plastik polimerlerin selüloz nitratla sentezlenmesiyle ortaya çıkmıştır. Kasein yapıştırıcılar, eski zamanlarda su geçirmez bir yapıştırıcı olarak kullanılmıştır. Bu yapıştırıcılar korozyona çok çabuk uğramazlar. Kasein yapıştırıcılar süt proteinlerinden yapılan yapıştırıcı türüdür. Bu yapıştırıcının yapım süreci peynir yapma süreciyle aynıdır. Yapışkan bir bağ, genellikle iki ya da daha fazla parçanın, yapışkan işlevini sağlayan bir kompozit malzeme ile çözünmeyen bir şekilde birleştirilmesiyle elde edilir. Malzemelerin boşluklarında incecik katman oluşturan bağlayıcılar, kimyasal bir reaksiyon sonucunda iri moleküller salındığında genellikle polimerleşirler. Ayrıca dirençleri ve yapışma kuvvetleri nedeniyle iş parçasının yüzeyine etki eden dış kuvvetlere de tepki verirler.

Yapıştırırmadaki işlemlerin düşük fiyatı, perçin, kaynak işleri, kristalize olmaması, stres konsantrasyonu oluşturmaması, erime noktası altında yapışma olması, pürüzsüz ve temiz yüzey edilmesinden dolayı tercih edilmektedirler. Bununla birlikte uygulama işlemleri, işlemin mukavemetinin çalışma koşullarına ve düşük kesme gerilmelerine bağlı olması nedeniyle bunları engellemek için spesifik yapımlar gereklidir. Yüksek sıcaklıktaki değerlerde (200 derece ve üzerindeki) direnç olumsuz yönde etkilenmektedir.

Yapıştırma işlemleri, kullanılmadan önce işlem yapılacak koşullar iyi bir biçimde analiz edilmelidir. Yapılan işlemin mukavemeti, maruz kalacağı yüke, uygun yapıştırıcı seçimine, yapıştırıcının performansına, yapışma yüzeylerinin ön işlemlerine ve yapışma işleminin doğru bir şekilde gerçekleştirilip gerçekleştirilmediğine bağlıdır.

1.1. Literatür Bilgisi

Kline (1982), yapıştırıcı ile birleştirmede gerilme dağılımı üzerine yapıştırıcı kalınlığının etkisini incelemiştir. Kalınlık boyunca gerilmelerin değişimini lineer kabul ederek, kalınlık etkisini de içeren yapıştırıcı tabakasındaki değişken bağlantı parametrelerinin etkisini araştırmıştır.

Ramani ve Zaho (1999), tarafından yapılan çalışmada, yapıştırma bağlantısı hazırlanırken uygulanan basınç, ısıtma ve soğutma oranı, yüzey hazırlama yöntemi, fırında kalma süresinin bağlantı dayanımında büyük etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Yapıştırma işlemi sonrasında imal edilen malzemelerin bağlantıları arasında gerilim meydana gelir. Bu gerilimler ara yüzeylerde olur. Bu yüzeylerde meydana gelen içteki gerilim, yapışma bağlantısına olumsuz yönde etkilendiğini belirtmişlerdir.

Canyurt ve Meran (1997), bir epoksi bağlayıcıya bağlanmış sıkı dokunmuş kompozitlerin yorulma davranışlarını incelemiştir. Değişik tasarımlarda deney parçaları oluşturularak eksenel yorulma yükü testleri yapılarak incelemiştir. Testlerin araştırması sonucunda uzunluk ve kalınlık yapıştırma bağlantılarına etki ettiğini gözlemlemiştir.

Khalili ve diğerleri (2001), çalışmalarında perçinleme ve cıvata ile birleştirme gibi mekanik bağlantı yöntemlerindeki yüksek gerilme yığılmaları ile yapıştırıcı bağlantılarının gerilme yığılmalarını kıyasladığında yapıştırıcı bağlantılarının gösterdiği gerilme dağılımlarının daha düzenli olduğunu tespit etmişlerdir.

Higchi vd (2003), yaptıkları çalışma sonucunda t tipi alüminyum malzemeye, dalga gerilmesi ve gerilme dağılımı bir epoksi bağlayıcı uygulayarak bir darbe eğilme momenti uygulayarak sayısal ve deneysel olarak incelemiştir. Yüzey aralarındaki tepe gerilimi, elastisite modülünün artışıyla arttığı gözlemlenmiştir. Malzemeye etki eden bağ uzunluğu flanş uzunluğuna eşit olduğunda malzemenin elastisite modülünün azalmasıyla, tepe geriliminin arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca yapıştırma kalınlığının azalmasıyla gerilme değeri artmıştır.

Colombi ve Poggi (2005), yapıştırıcı ile takviye edilmiş bir cıvata bağlantısında oluşan hasarı nümerik olarak sonlu elemanlar metodu ile incelemiştir.

Yapıştırıcıların özelliklerine bağlı olarak iki tür yapıştırıcıdan birinin gevrek diğerinin ise, daha sünek olduğu görülmüştür.

Aldaş vd (2009), epoksi türü bir yapıştırıcı kullanılarak yapıştırılmış ince metal levhalara uygulanmış çift bindirme bağlantısında meydana gelen ısıl gerilmeleri incelemişlerdir. Isıl yük olarak, üniform sıcaklık uygulanmıştır. Analiz, sonlu elemanlar metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

İmak ve Turgut (2020), yaptıkları çalışmada yüz yüze bindirmeli olarak yapıştırılmış halka kesitli bağlantıların çevresel yapışma yüzeylerinin bağlantı mukavemetine olan etkilerini incelemişlerdir. Yapılan çalışmada yapıştırılacak bağlantı modelleri üretilip, farklı iki epoksi (DP410 ve DP490) yapıştırıcı kullanılmışlardır. Ve dört farklı bindirme açısı, iki farklı iç çap ve dört bindime açısıyla yapıştırma işlemleri gerçekleştirmişlerdir. Belirtilen parametrelerle çekme ve burulma deneyleri yapmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda DP410 yapıştırıcısıyla yapıştırılan malzemelerin DP490 yapıştırıcısıyla yapıştırılan malzemelere göre çekme kuvveti değerinin yüksek olduğu görülmüştür. Burulma deneyleri sonucunda da DP410 ile yapıştırılan malzemelerin DP490 yapıştırıcısına göre daha iyi tepki gösterdiğini görmüşlerdir.

Abou Hamda vd. (1998), yaptıkları çalışmada yapıştırma hattındaki kalınlıklar çatlağın meydana gelmesiyle etki ettiğini tespit etmişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda yapıştırma kalınlığının artmasıyla yorulma çatlak gelişim direncinin de arttığını bulgusuna varmışlardır.

Cheuk ve ark. (2002), çift tesirli bindirme (Double-Lap Joint) metal-kompozit (Aluminum 2024-T3/Boron-Epoxy) yapıştırma bağlantılarında yorulma çatlak başlangıcı ve çatlak gelişimi olayını deneysel ve sayısal yöntemler kullanarak incelemişlerdir. Deneylerde alüminyum tabaka merkezde bırakılmış, kompozit tabakalar ise alüminyum tabakanın her iki yüzeyine yapıştırılmıştır. Araştırmacılar, deneyler sonucunda çatlak boylarını optik yöntemler kullanarak, çatlak yüzeylerini ise elektron mikroskobu ile incelemişler ve sonuçları grafiksel olarak göstermişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda yorulma çatlaklarının kompozit malzemenin köşe kısmı ile yapıştırıcı arasındaki bölge civarında oluştuğunu tespit etmişlerdir. Marcadon vd (2006), deniz endüstrisinde yaygın olan vinil-ester yapıştırıcının kullanıldığı ve de bağlantılardaki yorulma ve sabit yüklere maruz kalınan davranışları incelemişlerdir. Yapılan çalışmada t tipi yapıştırma bağlantılarını farklı uzunlukta malzeme elde etmişlerdir. Yaptıkları deneylerin neticesinde bakıldığında büyük olan uzunluktaki hasar

kontrplak bölgesinde olduğu, az olan uzunluktaki hasarınsa kontrplakla yapıştırılan malzemeler arasında bir yerde olduğunu göstermişlerdir.

Veer ve Zuidema, (2008), asimetrik çift takviyeli bindirme yapıştırma bağlantılı (Asymmetric Double Butt Strap) numuneler kullanarak bağlantıların kayma mukavemetlerini ve yorulma davranışlarını araştırmışlardır. Bağlantıların kenar parçalarını cam, merkezdeki parçaları ise polikarbonat olarak seçmişlerdir. Yapıştırıcı olarak ise DELO photobond 4455 yapıştırıcı kullanmışlardır. Deneyler sonucunda bağlantıların yorulma ömrü ile maksimum kayma gerilme dayanımları arasında bir ilişki gözlemlememişlerdir. Test numunelerinin yüksek kayma mukavemetine sahip olmasına rağmen düşük yorulma ömrüne sahip olabileceğini göstermişlerdir.

Zhang ve ark. (2009), ön gerilmeli GFRP kompozit malzeme ve epoksi yapıştırıcı kullanarak oluşturdukları simetrik çift takviyeli yapıştırma bağlantılarında farklı çevre şartında (farklı sıcaklık ve nem) yorulma davranışlarını, çatlak başlangıcı ve çatlak gelişimini araştırmışlardır. Numunelere uyguladıkları yorulma yükü, sabit genlikli olarak eksenel yönde olmuştur. Sonuçta, farklı çevre şartlarının yapıştırma bağlantılarının yorulma ömrüne önemli derecede etki ettiğini göstermişlerdir.

Jen, (2012), yapıştırma bindirme bağlantılarının farklı bindirme açılarında yorulma davranışlarını analiz etmiştir. Test numuneleri üzerinde yaptığı çalışma sonunda, bu tür bağlantılar konstrüktif dayanımı bindirme açısı artışıyla büyük oranda düzeldiğini ifade etmiştir. Testler incelendiğinde düşük açılı bağlantılardaki hasar adhesiv olduğu, yüksek açılı bağlantılardaki birleştirmelerse koheziv olduğu sonucuna varmıştır.

Budhe vd (2017), yapıştırıcı ile birleştirilmiş yapıların mukavemetini etkileyen faktörleri; yapıştırıcı kalınlığı, bağlantıların bindirme bölgesinin alanı, bağlantı yapısı, yapıştırıcı malzeme yapısı, nem ve sıcaklık olarak değerlendirmiştir.

Mazumdar ve Mallick (1998), tarafından gerçekleştirilen deneysel bir çalışmada, epoksi yapıştırıcı ile birleştirilen iki kompozit malzemenin statik kopma yükü ve yorulma dayanımları araştırılmış ve çekme mukavemetinin, örtüşmenin uzunluğuna ve yapıştırıcının kalınlığına bağlı olduğu tespit etmişlerdir.

Tsai, Oplinger ve Morton (1998), tek ve iki-katlı yapıştırma bağlantılarının mukavemetini belirlemek için geliştirilmiş teorik çözümler sundular. Bu geliştirilmiş teorilerin sonuçlarını, orijinal teori çözümleri, deneysel ve sayısal sonuçlarla karşılaştırdılar. Geliştirdikleri teorilerle, yapıştırıcı kayma dağılımı ve maksimum gerilme değerlerini daha doğru bir şekilde belirlemişlerdir.

Apalak ve Ard. (1996), tarafından yapılan çalışmada ise, sonlu eleman yöntemiyle çift destekli dik açılı T-bağlantı yapıştırma bağlantısı üç farklı yüke maruz bırakılarak yapıştırıcı tabakasında oluşan gerilme dağılımları incelenmiştir. Sonuç olarak; çift destekli T- bağlantı tipinde destek uzunluğu arttıkça tüm yükleme durumları için yapıştırıcı tabakasında oluşan gerilme dağılımlarında önemli derecede düşüşlerin olduğu, bağlantı rijitliğinin arttığı ifade edilmiştir.

Lee ve ark. (2009), tek tesirli destekli çift takviyeli yapıştırma bağlantısı elemanını deneysel yönden incelemişlerdir. Malzeme bağlantısı olarak tek tesirli köprü ayaklarında kullanılmakta olan FRP (fiber-polimer) kompozit malzemesi ile sertlik yönünden aynı olan GFRP (fiber-glass) parçaları araştırmalarında kullanmışlardır. Araştırmalarında, yapıştırıcı türü, bindirme uzunluğu ve yapıştırıcı kalınlığı türü parametrik etkileri incelemişlerdir. Takviye bağlantısı çift olan parçanın mukavemeti, stres etkilerini, takviye bağlantısı tek olan bağlantılarla mukayese etmişlerdir. Takviyeli yapıştırma bağlantısının mukavemetini, gerilme şekil değiştirme etkilerini, tek tesirli desteklenmiş yapıştırma bağlantısı ile mukayese etmişlerdir. Araştırmaları sonucunda tek tesirli destekli çift takviyeli yapıştırma bağlantısının çok iyi bir dayanım gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Buna ek olarak yaptıkları tetkiklerden bindirme uzunluğunun, yapışkan maddenin özelliklerine bağlı olarak yapıştırıcı kalınlığının malzemelerin mukavemetini değişik şekilde tetiklediğini saptamışlardır. Yaptıkları çalışmada deformasyon eğrisi yapışkan malzemenin kalınlığı artışının bağlantı dayanıklılığın azalttığı, yapışkan malzemenin uygulandığı uzunluğun da artışına bağlı olarak doğru bir şekilde bağlantı mukavemetine etki ettiği tespit etmişlerdir. Takviye bağlantısı çift olan malzemeler fiber takviyeli kompozit köprü uygulamalarında kullanılması gerektiğini ifade etmişlerdir.

Barut ve Turan (2021), yaptıkları deneysel çalışmada tek taraflı cam fiberlerle takviye edilmiş yapıştırıcı kullanarak tek tesirli yapıştırma bağlantıların hasar davranışlarını incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada tek tesirli kompozit levhaların arasına epoksi yapıştırıcı emdirilerek güçlendirme çalışmaları yapılmıştır. Takviye edilmiş yapıştırıcılardan elde edilen bağlantıların hasar yükleri, takviye edilmemiş yapıştırıcıyla birleştirilmiş bağlantıların hasar yükleri karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada fiber takviye açılarının etkilerini araştırmak için 0°, 15° , 30° , ve 45° açıları kullanılmıştır. Çalışmalarının sonucunda yapıştırıcıların takviye edilmesinin hasar yükünü %7'ye yakın oranda arttırdığı tespit edilmiştir.

2. YAPIŞTIRICILAR

Parçaların birleştirme görevini üstlenen, yapay malzemelerle elde edilen ve çözülmesi zor bağlantılardır. Yapıştırıcılar fonksiyonel olarak yüzeyler vasıtasıyla maddeleri bir arada tutmayı sağlarlar. Yüzeyler (parçaları ya da bileşenleri) farklı ya da aynı malzemelerden olabilir. Kullanılan malzemelerin arasına seyrek bir katman oluşturulan yapıştırıcılar birçok kimyevi tepkimelerin sonunda büyük bileşenler meydana gelmesiyle sertleşirler. Yapıştırıcılar parçaların yüzeye yapışmasıyla ve içlerindeki dirençlerle dışarıya kuvvetini karşı koymasını sağlarlar.

2.1. Yapıştırıcıların Pozitif ve Negatif Yönleri

2.1.1. Pozitif Yönleri

- Kalın ve ince materyallerin birleşmesi,
- Aynı ya da değişik materyallerin birleşmesi,
- Hasar fazla olmaması,
- Düzgün yüzeyli birleştirme olanağı,
- Dışarıya izolasyon imkanı,
- Teknolojik durumlara açık olması,
- Elektriksel ve ısısal iletkenlik,
- Sert etkilere karşı vibrasyon sönümü,
- Yüksek direnç,
- Hafifliği,
- Fiyat ucuzluğu,
- Sağlam ve narin parçaların birleşmesi,
- Su geçirmezliği,
- Gözle görülebilen bozukluklar olmaması,
- Maliyet azlığı nedeniyle kaliteli imalat yapılabilmesi,
- Düzgün gerilme dağılımı ve daha büyük yük taşıma alanı temin edilmesi.

2.1.2. Negatif Yönleri

- Yüzeyin temiz olma durumu gerekliliği,
- Sıcaklık ve zamanın birbirine bağlı olması,
- Sert etkilere karşı koyması,
- Yapışma süresinin çevredeki olaylara bağlılığı,
- Yüksek sıcakta dirençlerini kaybetmeleri,

- Sağlıklı şekilde yayılmayan yapıştırıcıların direncinin azalması,
- Metal yapıştırıcı uygulanan yüzeye tam olarak yayılmaması sonucu mukavemetin düşmesi,
- Kimyevi ve ıslak ortamlarda direnç düşümü,
- Plastik deformasyon meydana gelmesi.

2.2. Yapıştırıcıları Çeşitleri

Yapıştırıcılar iki grupta toplanırlar. Bunlar;

- Kimyevi türleri bakımından yapıştırıcılar (epoksi, anaerobik vb.)
- Formları bakımından yapıştırıcılar (film, macun vb.)

2.2.1. Kimyevi türleri bakımından yapıştırıcılar (epoksi, anaerobik vb.)

Yapıştırıcılar kimyevi türleri bakımından;

- Kimyasal tepkime sonucu ile kürleşen yapıştırıcı türleri
- Fiziksel değişimler sonucu ile kürleşen yapıştırıcı türleri diye iki gruba ayrılırlar;

2.2.1.1. Kimyasal tepkime sonucu ile kürleşen yapıştırıcı türleri

Günümüzde kullanılan yüksek mukavemetli yapıştırıcılar kimyevi tepkimeler ile kürleşirler. Bu yapıştırıcılara yapı yapıştırıcıları diye adlandırma yapılır. Bu yapıştırıcılar;

2.2.1.1.1 Anaerobikler

Sızdırmazlık amacıyla kullanılırlar. Oksijen ile temasın ortadan kalmasıyla sertleşirler. Akrilik olarak bilinirler ve sentetik reçine esaslıdırlar. Diğer yapıştırıcılardan ayrılan en büyük özelliği iki metal ya da metal diş arasında kaldıklarında güçlü bir yapıştırma ve sızdırmazlık sağlar ve plastik ürünler için önerilmezler.

Anaerobik yapıştırıcıları, Amerikalı Prof. Dr. Vernon Krieble tarafından vida kilitleme yapıştırıcısını geliştirmesiyle bulunmuştur.

Aşağıdaki tabloda bazı firmalara ait anaerobik yapıştırıcı örnekleri verilmiştir.

Tablo 2.1 Anaerobik Yapıştırıcılar için Ticari Örnekler

Üretici Firma	Ticari Adı
Loctite	638, 641, 648, 660, 222, 243, 366, 545
Loxal	83-21, 12-36, 70-14, 70-90, 85-55, 26-18
Weicon	AN 302-21, AN 302-62, AN 305-86
Permabond	Perma-Lok A1042, A1044, A1046
Devcon	Retaining Compound 2609, 2680

2.2.1.1.2. Siyanoakrilatlar

Kolayca uygulanan ve çok çabuk yapışma işleminin gerçekleştiği yapıştırıcı çeşitleridirler.

Yüzeydeki nemin reaksiyonu ile sertleşirler. Sertleştiklerinde termoplastik halini alırlar. Siyanoakrilatların büyük avantajlarından biri plastiklerin kendileriyle veya diğer malzemeler ile birleştirilebilmesidir. Bu yapıştırıcılar darbe dayanımları düşük olup neme ve kimyasal çözeltilere karşı çok hassastırlar. Küçük alanların montajlanması için uygundur. Boşluk doldurma özellikleri verimli olmadığı gibi pahalıdır. Bazı firmalara ait siyanoakrilat yapıştırıcılar Tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2 Siyanoakrilat Yapıştırıcılar için Ticari Örnekler

Üretici Firma	Ticari Adı
Loctite	401, 406, 411, 454, 468, 480, 4210
Loxal	ISTANT14, Istant17, Istant43
Weicon	VA1460, VA120, VM2000, VA300
Permabond	910, 2010, 792, 268
Devcon	ZipGrip4404, ZipGripHV2200

2.2.1.1.3. Epoksiler

Epoksi reçineleri birden fazla epoksi grubu içeren ve termoset ürünlere dönüşen ön polimerlerdir. Genellikle iki komponentli olan epoksiler, belli süre sonra sıvı halden katı hale geçer. Sertleşme sırasında düşük oranda çekme meydana gelir. Suya, aside, yağa ve kimyasallara direnci çok iyidirler.

Kürleşmemiş sıvı haldeki epoksi reçineleri, epoksi içeriği, viskozitesi, rengi, hidrolize olabilen klor ve uçucu madde miktarıyla karakterize olmaktadır. Reçineler sert cisimlerin uçuculuk nicelikleriyle ifade edilmektedirler. Her iki durumda da epoksi miktarı en önemli özelliği arasında yer almaktadır. Havacılık, spor, ulaşım, askeri ve deniz araçlarında kullanılırlar. İnşaat sektöründe, çatlakların ve oyukların doldurulmasında, çelik donatıların yerleştirilmesinde ve yapıştırıcı olarak yapı elemanlarında kullanılırlar. Taze betonu, eski sertleşmiş betona bağlamak için yapıştırıcı olarak ayrıca prefabrik beton elemanların montajında, çatlak ve kırıkların tamiratlarında yaygın olarak kullanılırlar. İyi mekanik özellikler gösterirler, suya dayanıklıdır, ıslakken 140 °C, kuruyken 220 °C’ye kadar ısıya dayanıklıdır ve maliyeti yüksek bir maddedir.



Şekil 2.1. Havacılık Sektöründe Epoksi Kullanım Alanı



Şekil 2.2. Çatlak ve Kırıkların Tamirinde Epoksi Kullanımı

2.2.1.1.4 Sertleştirilmiş Akrilikler

Sertleştirilmiş akrilikler, perçinlere ve diğer mekanik birleşme uygulamalarına başka yöntemlerle düzgün işleme ve dirençli yapışmasına yardımcı olur. Bu yapıştırıcı türleri birçok yüzey uygulamalarında fayda sağladığı ve birleştirici özellikleri sayesinde yararlanılmaktadırlar. Akrilikler belli sıcaklık değeri üstünde biçimlenebilen termoplastiklerdir. Akrilikler bazı tepkimeler sonucunda indüklenebilirler.

2.2.1.1.4 Poliüretanlar

Poliüretan yapıştırıcılar, tek ya da iki bileşenli ve çok çabuk sertleşen yapıştırıcılardır. Tek bileşenli olanlar, yüzey nemi ile reaksiyona girerek, iki bileşenli olanlar ise etkinleştirici sayesinde zincirler oluşturup birleşirler. Çekim kuvveti ve çarpışma dayanırlığı yüksektir.

Köpükler, 1937 yılında Alman bilimci Otto Bayer tarafından sentezlenmiş ve diizosiyatın, diol ile tepkimesi sonucu elde edilmiştir. Daha sonraları, diollerin yerini daha büyük molekül ağırlıklı polioller almıştır. Bu şekilde oluşan poliüretanlar sağlamlık ve esneklik olarak yapı oluşturmuşlardır.

2.2.1.1.4 Modifiye Edilmiş Fenolikler

Diğer bir adı formalin olan bu bileşik renksizdir. Formaldehit hidrojen, oksijen ve karbon atomlarından oluşan organik bir bileşiktir. Güçlü direnç istenen yapıştırma işlerinde kullanılırlar. Kürleştiklerinde termoset durumuna geçerler. Kürleşmeleri sıcaklık ve basınç uygulamalarıyla mümkündür. Kürleştiklerinde kırılğan yapıya sahip olurlar.

Taşıma tekerlerinde, zımpara kağıdı ve döküm kalıplarında da kullanılırlar. Kil ile doldurulmuş fenolik reçinelerin çözeltileri, metal bazların ampullere tutturulması için camdan metale yapıştırıcı olarak kullanılırlar. Fenolikler nispeten ucuzdurlar.

2.2.1.2. Fiziksel değişimler sonucu ile kürleşen yapıştırıcı türleri

Kimyasal reaksiyon ile sertleşen yapıştırıcılara nazaran yapışma mukavemetleri daha düşüktür. Bunlara yapısal olmayan yapıştırıcılar da denir. Endüstride yaygın kullanım alanlarına sahiptirler. Şu tipleri mevcuttur:

2.2.1.2.1. Ultraviyole (UV) yapıştırıcılar

Ultraviyole (UV) ışıyla sertleşen yapıştırıcılar olarak da bilinen, ışıyla sertleşen malzeme (LCM), dolayı hızlı sertleşme süresi ve güçlü bir bağ gücü üretim sektöründe popüler hale gelmiştir. Işık sertleştirme yapıştırıcılar farklı alt tabakaların (maddeler) bağ ve sert sıcaklıklara dayanabilen gibi kısa bir sürede, ikinci ve birçok formülasyonlar içinde tedavi olabilirler. Bu vasıfları, UV kür elektronik, telekomünikasyon, medikal, havacılık, cam ve optik gibi birçok endüstriyel pazarlarda ürünlerinin üretimine yapıştırıcılar gerekli. Geleneksel yapıştırıcı farklı olarak, UV ışığı kür birlikte, sadece bir bağ maddeleri yapıştırıcılar aynı zamanda sızdırmaz ve kaplama ürünleri için kullanılabilir. Genellikle akrilik esaslı bulunmaktadır.

2.2.1.2.2. Sıcak Eriyikler

Sıcak eriyikler HMA olarak da bilinirler. Polimer esaslıdır. Kağıt, plastik ve ahşap yapıştırmalarında kullanılırlar. Oda sıcaklığında termoplastik haldedirler. Kullanımdan önce ısıtılarak sıvı akışkan haline getirilerek yapıştırılacak yüzeylere uygulanırlar. Yapıştırıcı kendi halinde soğuduğu zaman katılaşıp ilk haline alıp ve yapıştırma işlemi tamamlanır.

Sıcak eriyiklerde, katıdan sıvıya geçiş tersinir olduğu için sıcaklık daima kontrol altında tutulmalıdır. Otomasyon ve seri üretim işlemleri için uygundurlar.



Şekil 2.3. Sıcak Eriyik Tabancası

2.2.1.2.3. Kauçuk yapıştırıcılar

Kauçuk yapıştırıcılar, sıvısal ortamının veya çözülmenin ortadan yok olmasıyla sertleşirler. Sürekli kuvvet etki eden yerlerde kullanılması tavsiye edilmemektedirler.

2.2.1.2.4. Polivinil Asetatlar (PVAC)

Bu yapıştırıcıların temel bileşeni vinil asetatdır. PVAC 1912’de Almanya’da bulunmuştur. Ülkemizde marangozlarda kullanılır. Beyaz tutkal olarak bilinirler. Termoplastiktirler. Yüksek ısıya uğradıklarında yumuşarlar ve ısıнын etkisini yitirdiğinde eski halini alıp sertleşirler. Zımparalanabilirler. Kuruluktan önceki aşamada hafif ıslak bezle temizlenebilirler. Ya da belli süre sonra kuruduklarından ilave hattından fazla tutkalı çekip alınabilirler.

Polivinil asetatların kullanım zamanı 5 dakika kadardır. Birkaç spesifik türlerin kullanım zamanı daha uzundur. Tutkalı uygulanan yüzeye sürdükten belirli bir sürede birleşmez, istenilen yapışma sağlanmaz. Yapılmak istenen yapıştırma sürenin uzunluğuyla orantılıdır.

Bu tür tutkallar, sürünme etkisi diye adlandırılan bir negatif yönü bulunmaktadır. Yükleme etkisi altında, zamanla kalıcı hasar ve biçim değişikliği meydana gelmektedir. Örneğin tutkalla yapıştırılan gitarın eşiği zamanla ön tarafa kayabilir. Özel PVAC yapıştırıcılar bu durumda daha avantajlıdır. Fakat kemikleşen tutkallar yükleme durumlarında hasarları yoktur.

2.2.1.2.5. Silikonlar (PSAs)

Silikonlar; bir bileşenli, çözücü madde olmayan, elastise malzemedirler. Tipik kauçuk türlerinden fazla dayanıklıdır. Hızla sertleştiklerinden dolayı kauçukların yetişmediği bölgelerde öncelik verilmektedirler. Esasen sağlam olmalarından dolayı kullanım alanları geniştir. İnşaatlarda otomobil sektöründe.

Çalışma sıcaklıkları - 60 ile 200 °C arasında elastik etkisine sahiptir. Sağlıklı uygulamalar sonucunda çalışma sıcaklığı artabilir. Sağlıklı uygulamalar sonucunda alevlenmeye uğramayıp yanmaz, düşük sıcaklıkta bile elastike özelliğini kaybetmezler. Korozyona UV ışınlarına ve gaz türü maddelerin olumsuz etkilerine dayanıklıdır. Renkte bir solma olmaz ve kırılganlık yapmazlar.

2.2.2. Formalar açısından yapıştırıcılar

Formlar açısından yapıştırıcılar, macun, sıvı ve toz gibi çeşitli formlarda olabilirler. Kullanım yeri olarak çeşitli gruplarda değerlendirilebilir. Bu gruplar:

- a) Macun tipi yapıştırıcılar
- b) Film tipi yapıştırıcılar
- c) Düşük viskoziteli yapıştırıcılar
- d) Düşük yoğunluklu yapıştırıcılar
- e) Reçineler
- f) Köpükler

a) Macun Tipi Yapıştırıcılar

Kompozit veya metal parçaları birleştirmede kullanılan birkaç komponentli, normal sıcaklıkta kürleşen yapıştırıcı türüdür. Macun tipi yapıştırıcıların akma dirençleri yüksektir. Bu yüzden kusursuz yapıştırma oranına sahiptirler. 800°C altındaki sıcaklıkta sertleşirler.

Yapıştırıcının uygulandığı kalınlık 0,01 ile 0,02 cm arası olmalıdır. Ticari örnekler olarak, Polipol 436-ABP, Polipol 440-ABP, EC1838 B/A, EA934NA, EA 9390.

b) Film Tipi Yapıştırıcılar

Bunlar, kompozit ya da metal materyallerin birleştirilmesi veya birleştirilmesine yardımcı olması için kullanılan epoksi bileşenli malzemelerdir.

Metal malzemelerin tamiratları için ince filmler (150 gr/m²), kompozit malzemelerin tamiratları için ise kalın filmler (300 gr/m²) kullanılır.

c) Düşük Viskoziteli Yapıştırıcılar

Bu tip yapıştırıcılar, epoksiler grubundadırlar. Çalışma sıcaklıkları 100-180 °C arasındadırlar. Bu sıcaklıklarda kürleşirler.

Bu tip yapıştırıcı türleri boşluk aralarını doldurmada tercih edilmektedirler. Zamansız durumlar karşında yüksek dirence sahiptirler ve yapıcı bütünlüğünü kaybetmezler. Kürleşme süresince köpürmezler ve de genişleme olmazlar. Bu yapıştırıcılar spesifik aletlerle sağlıklı bir ortamda bekletmeye gerek duyulmamaktadırlar.

d) Düşük Yoğunluklu Yapıştırıcılar

Bu tür yapıştırıcılar; iki komponentli ve normal sıcaklıkta sertleşebilirler. Bunlar kompozit kumaş tabakaların yapıştırılması, göçük veya dolgu tamiri, iki parçanın yapıştırılması gibi yerlerde kullanılırlar. En uygun yapışma süresi, kuruluk eğrisine bakılarak, sertleşme işlemi yapılabilir. Sağlıklı olmayan bir karışım işlemi yapıştırma işleminin uzamasına neden olur.

e) Reçineler

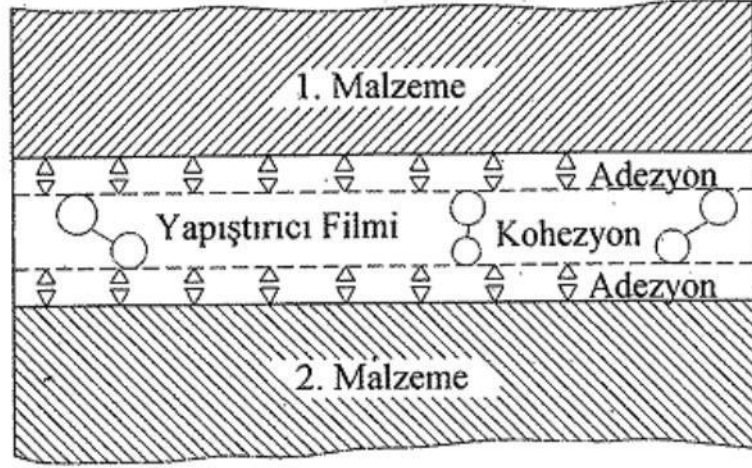
Kompozitlerin kumaş emdirilme işlemlerinde kullanılır. İki bölümlü akma direnci az epoksi reçine grubundadırlar. En uygun yapışma süresi kuruluk eğrisine bakılıp, kürleşme bitiminde sahip olunur. Sağlıksız karışımdan dolayı çalışma zamanı nispi düşüş gösterir.

f) Köpükler

Epoksi içerikli yapıştırıcı türü olan köpük, kuruluk süresince genişler. Köpükler bağlantı esnasında araları doldurur ve bağlantı parçalarını hepsini yapıştırır. Kalınlık minimum 0,2 cm olmalıdır.

3. YAPIŞTIRMA BAĞLANTILARI

Yapıştırma bağlantısı, aynı ya da farklı iki malzemenin metalik olmayan bir ara malzeme (yapıştırıcı “zamk”) ile çözülemeyecek şekilde birleştirilmesi ile elde edilir.



Yapıştırma Bağında Yapışma Mekanizması

Şekil 3.1. Yapıştırma Bağında Yapışma Mekanizması

Yapıştırma bağının mukavemeti, yapıştırıcı ile yüzeyler arasındaki yüzeye yapışma kuvveti (adezyon) ve yapıştırıcının kendi molekülleri arasındaki bağa (kohezyon) bağlıdır.

Yapıştırma işlemi yapıştırılacak elemanların yüzeylerinin temizlenmesinden sonra yüzeylerine çok ince (0,1 – 0,3mm) bir yapıştırıcı tabakası sürülerek, oda sıcaklığında veya daha yüksek sıcaklıklarda ve belirli bir süre basınç altında veya basınçsız tutularak yapılır.

Yapıştırıcılar mil göbek bağlantıları, cıvataların çözülmeye karşı emniyete alınması, hafif metal konstrüksiyonları vb. yerlerde yoğun olarak kullanılmaktadırlar. Yapıştırıcılar genelde katı, sıvı, pasta ve toz halinde olurlar.

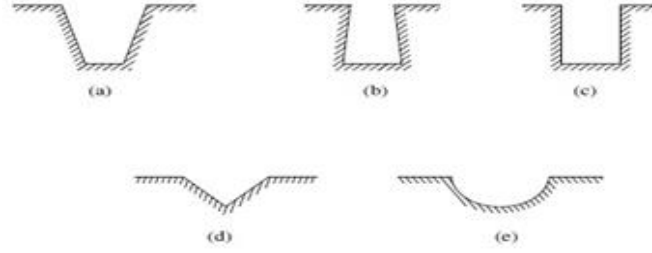
3.1. Yapıştırma Yüzeyinin Hazırlanması

Bağlantıların yapışma işlemi sırasında yüzeye düzgün temas sağlanmadığı zaman negatif yönde etki eder. Sağlıklı bir yapışma için ortama elverişli yüzeyler hazırlanmalı ve ortama elverişli yapıştırıcılar belirlenmelidir.

Yüzeylerin hazırlık aşaması birleşme yönteminin ciddi adımıdır. Yüzeylerin hazırlanmasındaki amaç, daimi ve direnci çok yapışma sağlayarak yüzey hazırlamaktır.

Tercih edilmemesine rağmen yapıştırılan malzemeler, korozyon, krom ve boya vb. tabaka aralarına girmemesi ve yapıştırıcıya doğrudan teması gereklidir.

Yüzeyin pürüzsüz olması yapıştırma bağlantılarındaki mukavemetine etki etmesine neden olur. Yapıştırıcılar, kusurlu bölgelerin boşluklarına yerleşip kürleşmesiyle bir bağlantı şekli oluşturur. Bundan dolayı yüzeyin parlaklığı istenmez fakat kusurlu bölgelerin direncine hangi ölçüde etki ettiği tahmin edilmemektedir.



Şekil 3.2. Yüzeylerin pürüzlü form durumları

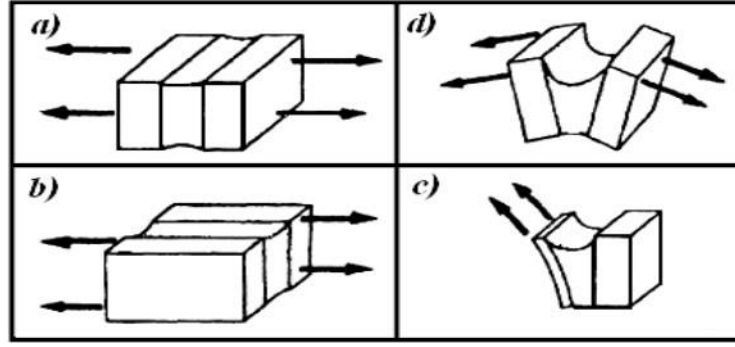
a) Prizmatik, b) Konik, c) Silindirik, d) V, e) Küresel

Yapıştırıcıların türü araları sarması ve tutmasından dolayı pürüzlü form durumları da önemlidir (Şekil 3.2.). Çokça görülen yapışma bakımından elverişli pürüzlü formu durumu V tipi pürüz şeklidir. Yüzeylerin kirden ve pislikten arındırmak ve elverişli pürüzlendirme duruma getirmek için, yüksek yapışma direnci sağlanmalıdır. Bundan dolayı bağlantı parçalarının yüzeylerine ön işlem uygulanmalıdır.

Sağlıklı yüzeylerin hazırlıkları tamamlanmadığı zaman bağlantılar, yapıştırıcıyla yüzeyin temas alanından kopma durumu meydana gelecektir. Sağlıklı yüzeylerin hazırlığı yapıldığında, yapıştırıcılar veya astar tarafından istenilen kuvvet edilecek, edebilecek kopma durumları yapıştırıcının kohezyon kuvvetlerinin geçilmesi ve yapıştırıcı tabakasının ikiye ayrılma durumu şeklinde dönüşecektir.

3.2. Yapıştırma Bağlantılarına Etki Eden Durumlar

Yapıştırma bağlantılarında, mümkün olduğu kadar kayma gerilmelerine maruz kalacak şekilde şekillendirilmelidirler. Çekme gerilmeleri bu bağlantı şekli için uygun bir zorlanma değildir. Şekil 3.3'te yapıştırma bağlantılarının maruz kaldığı kuvvetler gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Yapıştırma Bağlantılarında Farklı Kuvvet Uygulamaları (Rende 2000).

- a) Çekme gerilmesi; yapıştırıcının çekme mukavemeti az olduğundan dolayı, mümkünse önlenmelidir.
- b) Kesme gerilmesi; yapıştırma bağlantıları için uygundur.
- c) Ayrılma; kuvvetler tek taraflı etki ettiğinden önlenmelidir.
- d) Ayırma; bu da uygun olmadığından dolayı önlenmelidir.

Yapışma gerçekleşebilmesi için faktörlerden bir ya da birden fazla faktörler etki etmektedirler. Bir yapıştırıcı için etkili olan faktör başka yapıştırıcı için olumsuz yönde etki edebilir. Bundan dolayı, yapıştırıcılardaki yapıştırma işlevlerini sağlayan getirmesinde yapışmayı sağlayan çoklu bileşik maddeler kadar yapışmaya etki eden fiziksel ve kimyasal faktörlerdir. Etki eden faktörler şunlardır;

Sıcaklık: Yapıştırıcılar genellikle oda sıcaklığında etkili olurlar. Fakat yüksek sıcaklıklarda yapıştırıcılar çok etkili olurlar ve yapışma zamanı azalır. Birçok kimyasal tepkimelerde olduğu gibi sıcaklıkla tepkime hızında artış meydana gelir. Fakat sıcaklık sağlıklı bir şekilde olmalıdır. Yoksa yapıştırıcı malzemeyi meydana getiren çoklu bileşik maddelerin bozulmasıyla karşı karşıya kalınabilir.

Basınç: Film ve bant halinde olan yapıştırıcılar kullanıldıkları zaman hem bulundukları yerin şeklini alırlar ve yapışmalarını sağlamak amacıyla yavaşça bir kuvvet uygulaması etkili olmalarını sağlamaktadır. Basınç uygulamaları yapışmanın kısa zamanda olmasını sağlar.

Zaman: Yapıştırıcıların kuruma süreleri pişerek etkin hale gelmesi için birkaç dakikadan birkaç güne kadar sürenin geçmesi gerekebilir. Geçen bu süre yapıştırıcıların etkili olma süreleridir. Bu süre basınç ve sıcaklıkla düşürülebilir.

Katalizör: Bazı yapıştırıcıların etkin olmaları için aktifleştirici gibi tepkime artırıcı başlatıcı ve hızlandırıcı maddelerin formüle edilmesi gereklidir. Bundan dolayı kullanılan kimyevi materyaller her biri değişik sıcaklıkta etkinliklerini göstererek

yapışmayı sağlarlar. Termoset ve elastomerik yapıştırıcı türlerinde olduğu gibi tek ve iki bileşenli yapıştırıcılarda katalizörler büyük önem taşımaktadır.

Oksijen: Bazı yapıştırıcılar etkinliklerini ortamda oksijen olmadığı zaman gösterirler ve oksijensiz ortamlarda yapışırlar. Oksijenin bulunduğu ortamda bozulmadan uzun süre saklı tutulabilirler.

Çözücü: Su veya organik esaslı çözücüler kullanılarak hazırlanan yapıştırıcılar, yapışmayı, ortadan çözücü maddenin oda sıcaklığında veya yüksek sıcaklıkta buharlaşarak ayrılması sonucu sağlar.

Nem ve Su: Poliüretan siyanoakrilat ve silikon türü yapıştırıcılar havada bulunan nem veya tatbik edildikleri yerdeki su ve nem vasıtasıyla reaksiyona girerler ve yapışmayı sağlarlar.

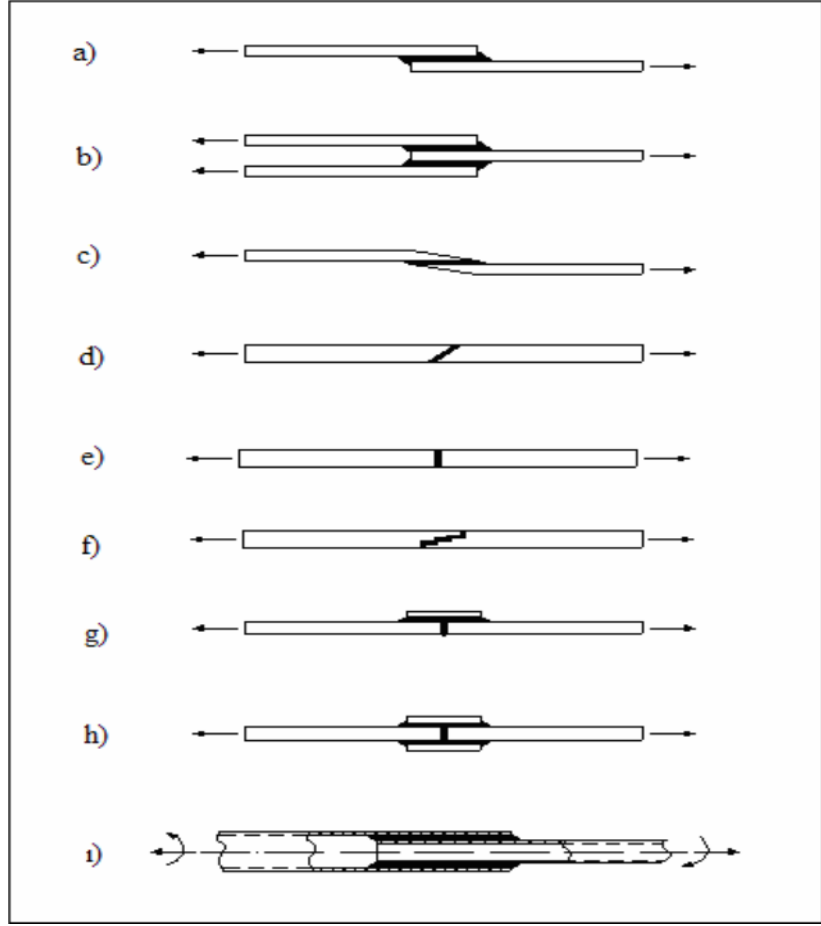
Ultraviyole Işınlr: Son zamanlarda geliştirilen bazı yapıştırıcılar ultraviyole ışınlardan etkilenecek yapışmayı sağlamaktadırlar. Tek bileşenli bazı akrilik türü yapıştırıcılar ultraviyole ışınları ile sertleşebilmektedirler.

3.3. Yapıştırma Geometrisi

Yapıştırma bağlantılarının mekanik özellikler sağlayabilmesi için birkaç koşulun yerine getirilmesi gerekir. Bu koşullar;

- ✓ Birleştirmelerin konstrüktif içindeki pozisyonu ve düzgün yüklenme durumları,
- ✓ Yapıştırılacak yüzeylerin doğru yüzey temizleme işlemi ile temizlenmesi,
- ✓ Doğru yapıştırıcı seçimi ve uygulanma durumu,
- ✓ Doğru yapıştırma bağlantı geometrisi seçimi.

Bir yapıştırma bağlantısı basma, kayma, çekme, soyulma veya bu yükleme durumlarının birleşimleri olarak yüklenebilir. Bu yüzden bir yapıştırma bağlantısı tasarımında bağlantının maruz kalacağı yük durumu mutlaka göz önünde bulundurulmalı ve yapıştırıcı hangi yükleme durumu için maksimum verim sergiliyorsa o yükleme durumuna uygun bağlantı tipi seçilmelidir. Şekil 3.4'te mühendislik alanında yaygın olarak kullanılan yapıştırma bağlantı tiplerini gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Yapıştırma Bağlantı Geometrileri (Adams 1989)

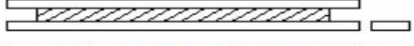
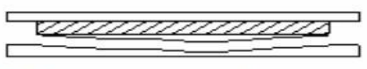
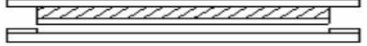
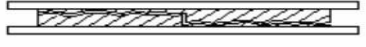
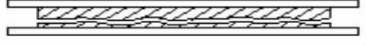
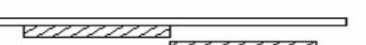
- | | |
|-------------------------------------|---|
| a) Tek taraflı bindirme bağlantısı | f) Kademeli bağlantı |
| b) Çift taraflı bindirme bağlantısı | g) Tek taraflı takviyeli alın bağlantısı |
| c) Pahlı bindirme bağlantısı | h) Çift taraflı takviyeli alın bağlantısı |
| d) Açılı bindirme bağlantısı | i) Silindirik bindirmeli bağlantı |
| e) Alın bağlantısı | |

3.4. Yapıştırma Bağlantılarında Oluşan Hasar Tipleri

Farklı yükleme koşulları altında yapıştırıcıyı veya mekanik özelliklerini tam olarak anlamak için arıza tipini nitelendirme etmek gerekir.

Bazı tür materyallerle ya da parçaların bir yapıştırıcıyla bir arada tutulduğu bağlantı modellerinde iki tür arıza yaygındır.

Esas arıza modellerini belirlemek için yapıştırma bağlantılarına mekanik deney sonuçları daha iyi anlamak için uygulanmak istenen hasar çeşitlerini sınıflandırmak gerekir. Temel hasar tipleri Şekil 3.5’de gösterilmiştir.

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

Şekil 3.5. Temel Hasar Tipleri (TS EN ISO 10365)

Adhezyon hasarı: Yapıştırıcıyla yapıştırılan materyalin ara yüzeyinde gözle görülen bir ayrılma durumunun olduğu kopma olayıdır. Adhezyon kopmasını önleyebilmek için;

- Uygun yapıştırma boşluğu, tolerans ve uygun malzeme seçilmelidir.
- Yüzeyler uygun temizleme yöntemleri ile temizlenmelidir.
- Sertleşme işleminin tam olarak gerçekleşip gerçekleşmediğinden emi olunmalıdır.

- Yüzey alanı genişletilmeli ya da uygun geometri ve kuvvet uygulanmalıdır.
- Çalışma sıcaklığına uygun yapıştırıcı seçilmelidir.

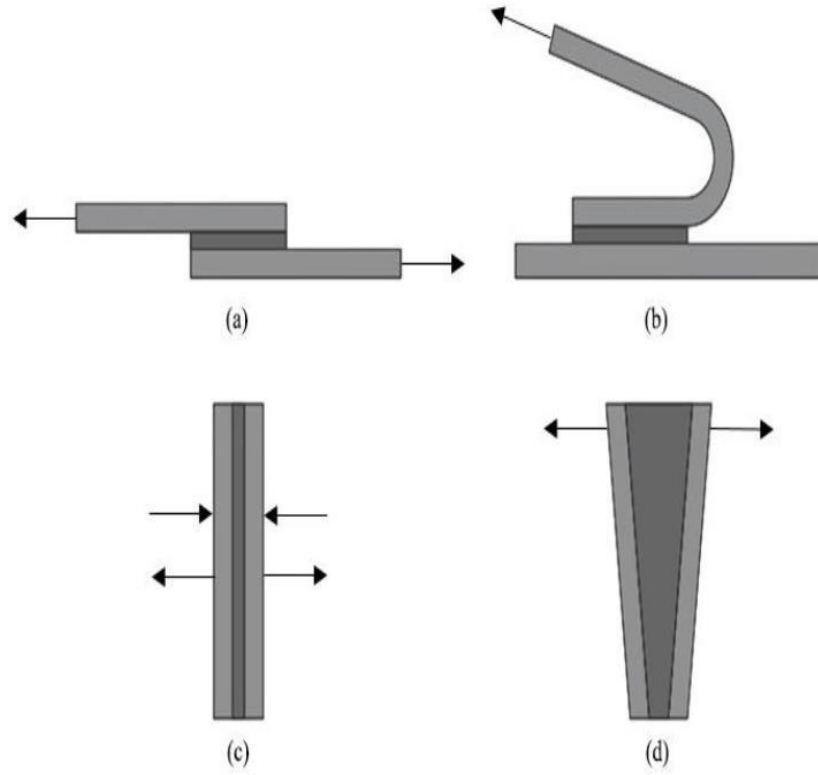
Kohezyon Hasarı: Bir yapıştırma bağlantısında yapıştırıcı ya da yapıştırılan materyallerde gözle görülebilir hasarın meydana geldiği kopma durumudur. Kopma işlemi sonucunda artık yapıştırıcı genellikle her iki yüzeyde de bulunur.

Normal şartlarda yüklemelerde ve deneysel çalışmalarda, kohezyon kopmasının meydana gelmesi beklenir. Eğer adhezyon kopması meydana geliyorsa yapıştırma işleminde bir yanlışlık yapılmış sonucuna varılabilir.

3.5. Yapıştırma Bağlantılarında Yükleme Durumları

Bağlantı; Yapıştırma mukavemetinin artması açısından, yapıştırma yüzeylerinde kayma (kesme) gerilmeleri olacak şekilde yapılmalıdır. Yapıştırma bağlantılarının soyulma ve çekme mukavemetleri kesme mukavemetine göre daha azdır.

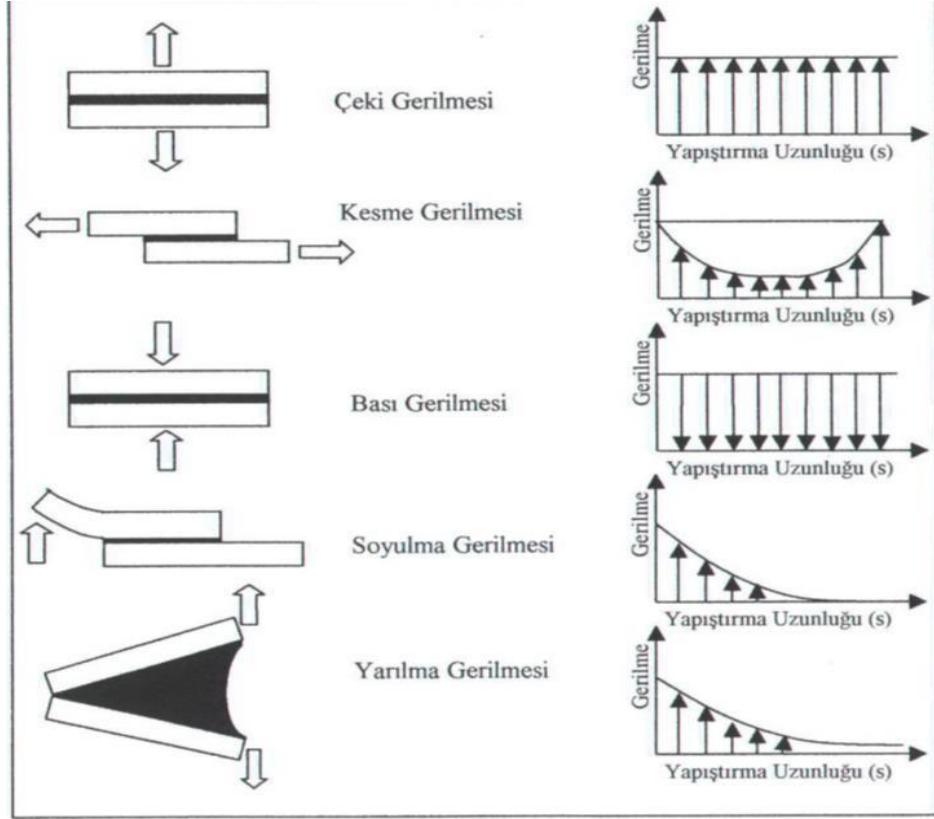
Yapıştırma bağlantısı kullanım yerine göre farklı gerilmelere maruz kalabilir. Şekil 3.3'te yapıştırma bağlantılarının maruz kalabileceği temel gerilme durumları gösterilmiştir. Bu temel gerilmelerin yanı sıra birkaçının bir arada bulunduğu birleşik gerilmeler de meydana gelebilir. Uygulamalardaki gerilmelerin büyük bir çoğunluğu birleşik gerilmelerdir.



Şekil 3.6. Yapıştırma Bağlantılarındaki Gerilme Tipleri

(a) kesme (b) soyulma (c) çekme (d) çekme-makaslama

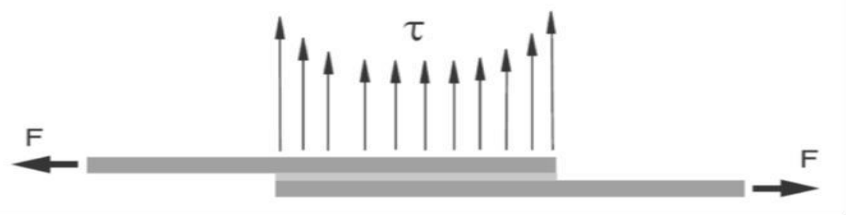
Şekil 3.6'te yapıştırma bağlantısının çeki gerilmesi altında zorlanması halinde, gerilme dağılımı yapıştırma uzunluğu boyunca aynı şekilde olmaktadır. Soyulma ve ayrılma yüklemeleri uygulandığında gerilme dağılımı iki uç arasında değer olarak büyük farklılıklar göstermektedir.



Şekil 3. 7. Yapıştırma Bağlantılarında Gerilme Dağılımları

3.6. Gerilme Yığılmalarını Düzeltici Tasarımlar

Geleneksel bağlantılarda bağlantı uzunluğu boyunca kesme gerilmesinin dağılımı Şekil 3.8'deki gibi oluşur.



Şekil 3.8. Gerilme Yığılmaları

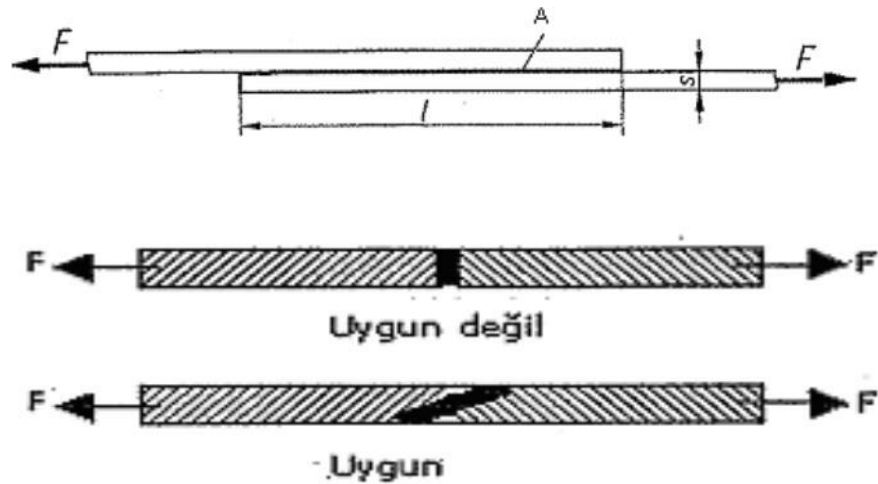
Uzuvlar üzerindeki yoğun stres bu bölgeye zarar verebilir. Bundan dolayı kritik çalışmalarda bu yüksek gerilmeleri en aza indirmek için yapıcı iyileştirmeler yapılması gerekmektedir. Şekil 3.9'da konstrüktif tedbirler gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Konstrüktif Tedbirler

3.7. Konstrüksiyon Önerileri

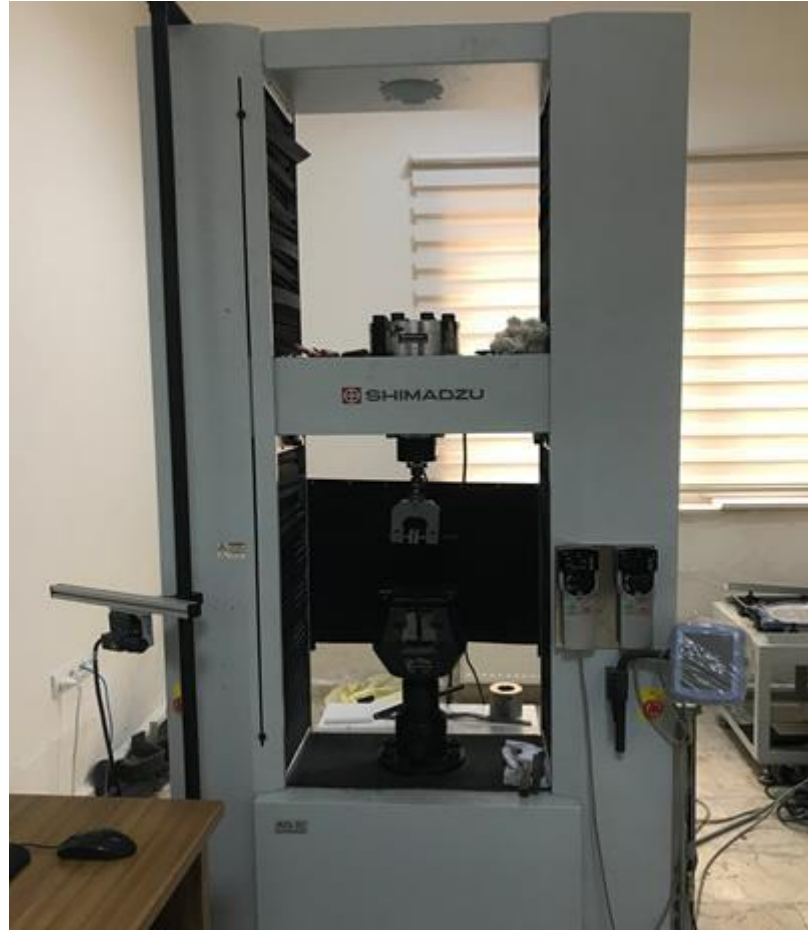
Yapıştırma mukavemetinin artması, yapıştırma alanının büyütülmesi (eğimli kesilmiş yüzey, bindirme bağlantısı, kapak levhaları kullanımı ile arttırılmış yüzey vb.) ile sağlanır. Bindirme uzunluğu yaklaşık 15-20 saniye olmalıdır.



Şekil 3.11. Konstrüksiyon Önerileri

4. MATERYAL VE METOD

Yapılan çalışmada 3M 460 epoksi yapıştırıcısı kullanılarak çift takviyeli yapıştırma bağlantı modelleri elde edilmiştir. Elde edilen yapıştırma bağlantılarıyla çekme ve eğilme deneyleri yapılarak bağlantıların çekme ve eğilme mukavemetine etkileri araştırılmıştır. Deneysel çalışmada; epoksi yapıştırıcı kullanılarak bindirme boyları 10, 20, 30 mm, Radius değerleri 5, 10,15 mm takviye levhası kalınlıkları ise 0.5,1 ve 1.5 mm boylarında deney numuneleri üretilmiştir. Deney parçalarının genişliği 25 mm olarak sabit alınmıştır. Bağlantının oluşturulması için kullanılacak yapıştırıcı tabaka kalınlığı 0,2 mm seçilmiştir. Çekme ve eğilme deneyleri Şekil 4.1’de gösterilen, Shimadzu AG-X 5 kN universal test cihazında 1mm/dk. hızında yapılmıştır.



Şekil 4.1. Shimadzu AG-X 5 kN Universal Test Cihazı

4.1. Deneysel Çalışma

Bu çalışmada yapıştırılan malzeme olarak, Alüminyum AL5754 alaşımı sac kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan AL5754 Alüminyum malzemeler, 2 mm kalınlığındaki levhadan 125 mm uzunluğunda temin edilmiştir. AL5754 Alüminyum malzemenin oda sıcaklığında mekanik özellikleri Tablo 4.1 gösterilmiştir.

Tablo 4.1 AL5754 Alüminyum Sacın Mekanik Özellikleri

Kopma Mukavemeti (σ_k , MPa)	190-215
Akma Mukavemeti (σ_{ak} , MPa)	130-185
Sertlik (HB)	65-70
Elastisite Modülü (E, GPa)	68
Poisson Oranı (ν)	0,33
Kopma Uzaması (%50) min-max	14

AL5754 Alüminyum sacın kimyasal oluşumu ve oda sıcaklığında fiziksel özellikleri ise sırasıyla Tablo 4.2 ve 4.3'te gösterilmiştir.

Tablo 4.2 AL5754 Sacın Kimyasal Oluşumu (%)

Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	Diğer	Al
0,4	0,4	0,1	0,5	2,6-3,6	0,2	0,3	0,15	0,15	Kalan

Tablo 4.3 AL5754 Sacın Fiziksel Özellikleri

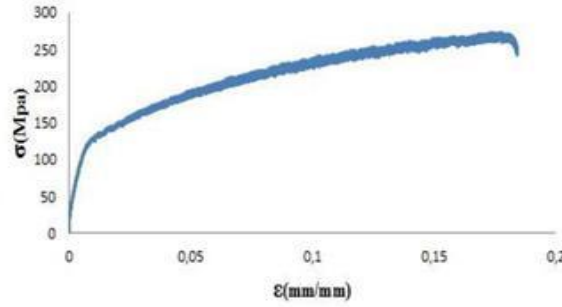
Özgül ağırlığı(g/cm ³)	2,66
Ergime sıcaklığı (°C)	600

4.1.1. Kullanılan Yapıştırıcı Malzemesi

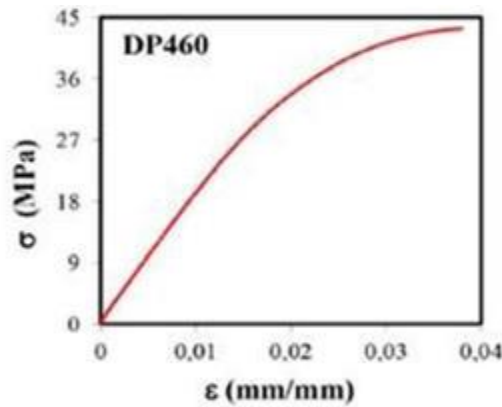
Yapılan çalışmada yapıştırıcı olarak, yüksek kayma ve soyulma direnci gösterebilen, titreşime ve darbeye ekstra dayanıklı ve 1 saat yapıştırma süresi olan 3M marka DP460 Kırık Beyaz renkli epoksi yapısal yapıştırıcı kullanılmıştır. 3M DP460; epoksi (B) ve hızlandırıcı (A)'nın hacimce B:A=2:1 oranında karışımıyla oluşan sıvı yapıştırıcıdır. DP460 epoksi yapıştırıcının mekanik özellikleri Tablo 4.4'te ve gerilme-şekil değiştirme davranışları şekil 4.2 ve 4.3'te gösterilmiştir.

Tablo 4.4 DP460 Yapıştırıcı Malzemesinin Mekanik Özellikleri

Elastisite Modülü (MPa)	2077
Poission Oranı	0,38
Çekme Dayanımı (MPa)	45



Şekil 4.2. Yapıştırılan malzemenin (AL-5754) Gerilme- Şekil Değiştirme Diyagramı (Ergün,2014)



Şekil 4.3. Yapıştırıcı malzemenin (DP460) Gerilme- Şekil değiştirme Diyagramı (Aydın, 2003)

Epoksi yapıştırıcısı ve uygulama aparatıyla Şekil 4.4'te gösterilen 50 m'lik tüpler halinde kullanılmıştır.



Şekil 4.4. Epoksi Yapıştırıcısı ve Uygulama Aparatı

Metal, cam, seramik ve birçok kompozit malzemelerin yapıştırılması ve birleştirilmesinde DP460, farklı şartlarda kürleşebilmektedir. Yapılan çalışmada, deney numuneleri oda sıcaklığı şartlarında 24 saat metal kısıkaçta tutulup bekletilmiştir. Numunelerin metal kısıkaçlardan çıkartılma işlemini takiben tamamen kürleşmenin sağlanması amacıyla oda sıcaklığında 7 gün bekletildikten sonra teste tabi tutulmuştur. Epoksi yapıştırıcı öncesinde saf aseton ile numuneler temizlenmiştir. Daha sonrasında 180 numara zımpara kağıdı ile yapıştırılacak yüzeyler daha iyi mukavemet vermesi için zımparalanmıştır.

4.1.2. Numunelerin Hazırlanması

AL5754 Alüminyum malzemeler, DP 460 epoksi yapıştırıcı, kalıp malzemeleri, aseton, P180 zımpara kağıdı ve yardımcı malzemeler (kısıkaç, eldiven vb.) temin edildikten sonra numune hazırlama sürecine geçilmiştir. Test numunelerinin hazırlanması sürecinde ilk olarak yapıştırılacak olan AL5754 malzemeler 25 mm genişliğinde, tabaka kalınlığı 2 mm olan ve bindirme uzunlukları 10,20 ve 30 mm ve de Radius değerleri 10,20 ve 30 mm olacak şekilde hazırlanmıştır. Parçalar lazer kesim işlemi sonrasında el makası yardımıyla istenilen ölçülerde oluşturulup deney aşamasına getirilmiştir.

4.1.3. Deneyisel Ön İşlem

Yapıştırma işlemlerinde yüzey hazırlığı önemli aşamalardandır. Yapıştırılacak yüzeyler ve yapıştırıcı arasında istenilen temas olmaması bağlantıyı negatif sonuçlara yol açtırır. Yapılan deneyisel çalışmada yüzey hazırlama yöntemi olarak sırasıyla aşındırma ve çözücüyle silme yöntemi kullanılmıştır. Aşındırma işlemi için 180 numara zımpara kağıdı, çözücü madde olaraksa saf aseton kullanılmıştır. Yüzey hazırlama işlemleri aşağıdaki belirtilen işlem aşamasına göre gerçekleştirilmiştir:

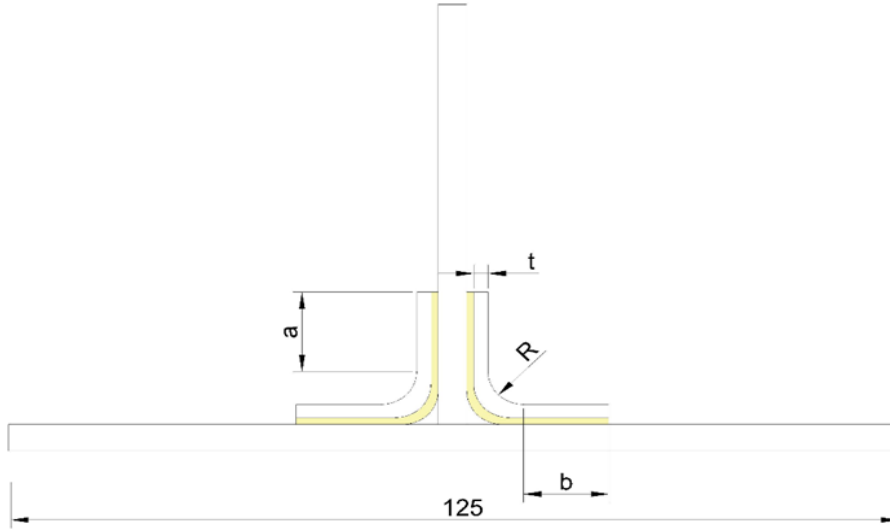
- Elde edilen AL5754 Alüminyum malzemeler, üzerlerindeki tozlardan ve parçacıklardan arındırmak amacıyla temizlenip kapalı alanda muhafaza edildi.
- Deney yapılacak parçalar ölçüleri hesaplanıp lazer giyotin makinasıyla kesilme işlemi yapıldı. Daha sonrasına el makasıyla köşe uçlar kesilerek numuneler deney aşamasına getirildi.
- Numunelerin yapıştırıcı mukavemeti için temin etmiş olduğumuz 180 numara zımpara kağıdı ile zımparalama işlemi yapıldı.
- Yapıştırma yüzeyleri asetonlu temiz bir bezle üzerinde toz parçacıkları kalmayacak şekilde silindi.
- Son işlem olarak hazırlanan numuneler epoksi yapıştırıcı yardımıyla yapıştırma işlemleri yapıldı.
- Numune işlemleri öncelikle çekme deneyi sonrasında ise basma deneyi yapılarak sonuçlandırılmıştır. Numunelere ait adet bilgileri tablo 4.5.'te gösterilmiştir. Toplamda 432 adet parça hazırlanmıştır. Çekme deneyi için 216, basma deneyi için ise 216 adet parça oluşturulmuştur. Deney parçamızın modeli şekil 4.5.'te gösterilmiştir.
- Deney parçalarımızın kalınlık ve Radius değerleri harf ve sayısal yöntemle tablo 4.6'da belirtilmiştir. Örneğin yatay bindirmemiz 10 mm, düşey bindirmemiz 20 mm, Radius değerimiz 5 mm ve tabaka kalınlığımız 0,5 mm ise numunemize adlandırma yaparken sırasıyla düşey bindirme, yatay bindirme, Radius değeri ve tabaka kalınlığını sırasıyla yazıyoruz. Verdiğimiz örneğin adlandırması şu şekildedir: 125-a
- Deney numunelerinin hazırlama aşaması şekil 4.6'da gösterilmiştir.

Tablo 4-5 Deney Numunelerine Ait Sayısal Bilgiler

TABAKA KALINLIĞI	RADİUS DEĞERİ	BİNDİRME UZUNLUKLARI	TOPLAM (ÇEKME VE EĞİLME DENEYİ)
0,5 mm	5 mm	10,20,30 mm (10-10,10-20,10-30) (20-10,20-20,20-30) (30-10,30-20,30-30)	144
1 mm	10 mm	10,20,30 mm (10-10,10-20,10-30) (20-10,20-20,20-30) (30-10,30-20,30-30)	144
1,5 mm	15 mm	10,20,30 mm (10-10,10-20,10-30) (20-10,20-20,20-30) (30-10,30-20,30-30)	144

Tablo 4-6 Deney Numunelerinin Kalınlık ve Radius Değerleri

Yatay bindirme a (mm)	Düşey bindirme b (mm)	Tabaka kalınlığı t (mm)	Radius değeri (mm)
10	10	0,5 (a)	5
20	20	1 (b)	10
30	30	1,5 (c)	15

**Şekil 4.5.** Çekme Deneyi Parçasının Modeli



Şekil 4.6. Deney Numunelerinin Hazırlık Aşaması

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

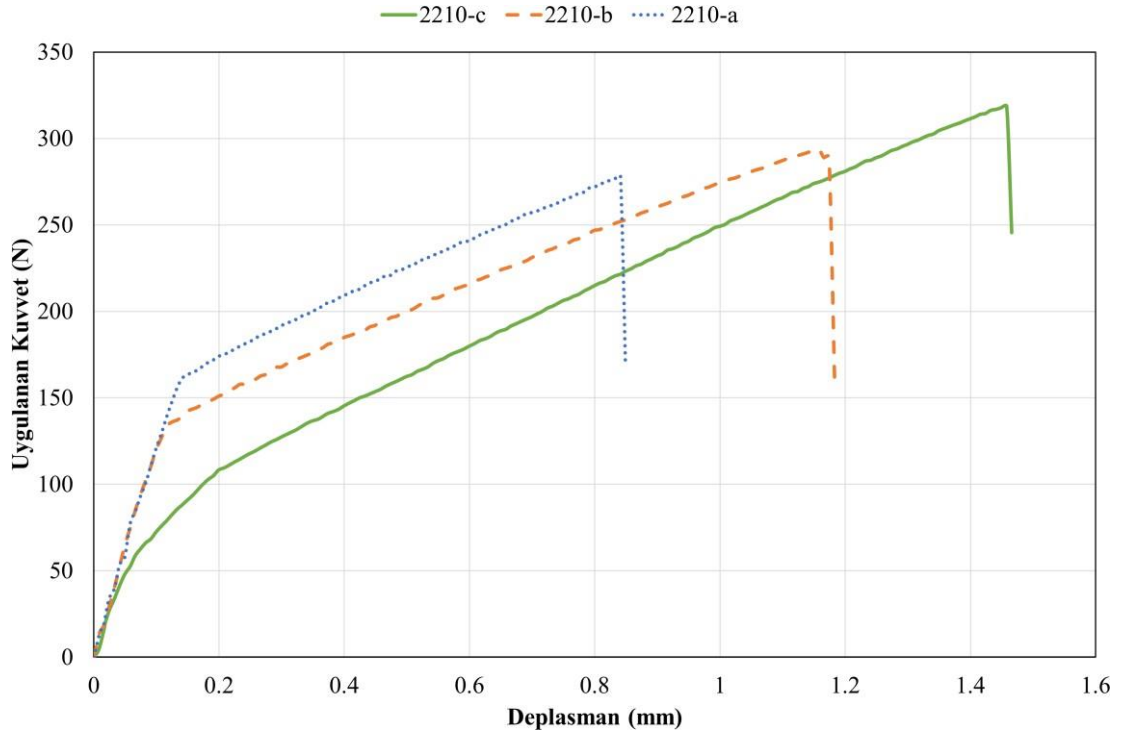
Test yapılacak parçaların üretiminden sonra çekme ve eğilme deneyleri yapılmıştır. İlk olarak çekme deneyleri yapılmıştır. Çekme deneyleri; 10, 20 ve 30 mm bindirme boylarında, Radius değerleri 5,10 ve 15 mm ve tabaka kalınlıkları ise 0.5, 1 ve 1.5 mm olacak şekilde 3M DP460 epoksi yapıştırıcı kullanılarak üretilen numunelerle yapılmıştır. Eğilme deneyleri ise; 10, 20 ve 30 mm bindirme boylarında, Radius değerleri 5,10 ve 15 mm ve tabaka kalınlıkları ise 0.5, 1 ve 1.5 mm olacak şekilde 3M DP 460 epoksi yapıştırıcı kullanılarak üretilen numunelerle yapılmıştır.

Çekme ve eğilme deneyleri sonucunda ölçülen değerler grafiklerle gösterilmiş ve deney sonuçları irdelenmiştir.

5.1. Çekme Deney Sonuçları ve Tartışma

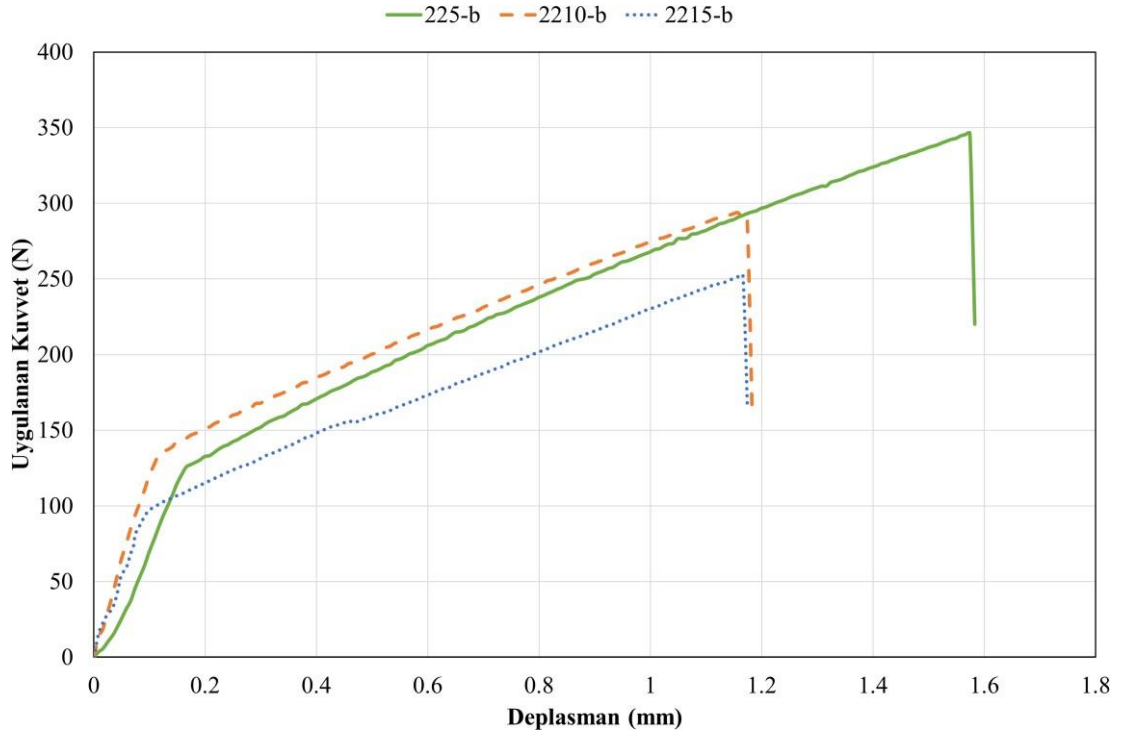
Çekme deneyleri, Shimadzu AG-X 5 kN universal test cihazında, 1 mm/dak sabit çekme hızında yapılmıştır. Yapılan çekme deneyleri sonuçları aşağıda verilen grafiklerle açıklanarak verilmiştir.

Gerçekleştirilen “T” bağlantıları oluşturmak için kullanılan takviye levhalarının kalınlığının bağlantı hasar yüküne etkisi Şekil 5.1’de verilmiştir. Yalnızca takviye levhasının etkisini görmek için diğer değişkenler sabit tutulmuş ve yatay ve düşey bindirme uzunlukları 20 mm ve büküm radyusu 10 mm seçilmiştir. En kalın takviye levhası olan 1.5 mm takviye levhasına sahip numunenin (2210-c) hasar yükü 318,6 N iken 1 mm takviye levhası kalınlığına sahip numunenin (2210-b) hasar yükü 293,6 N ve 0,5 mm takviye levhası kalınlığına sahip numunenin (2210-a) hasar yükü 278,3 N değerini almıştır.



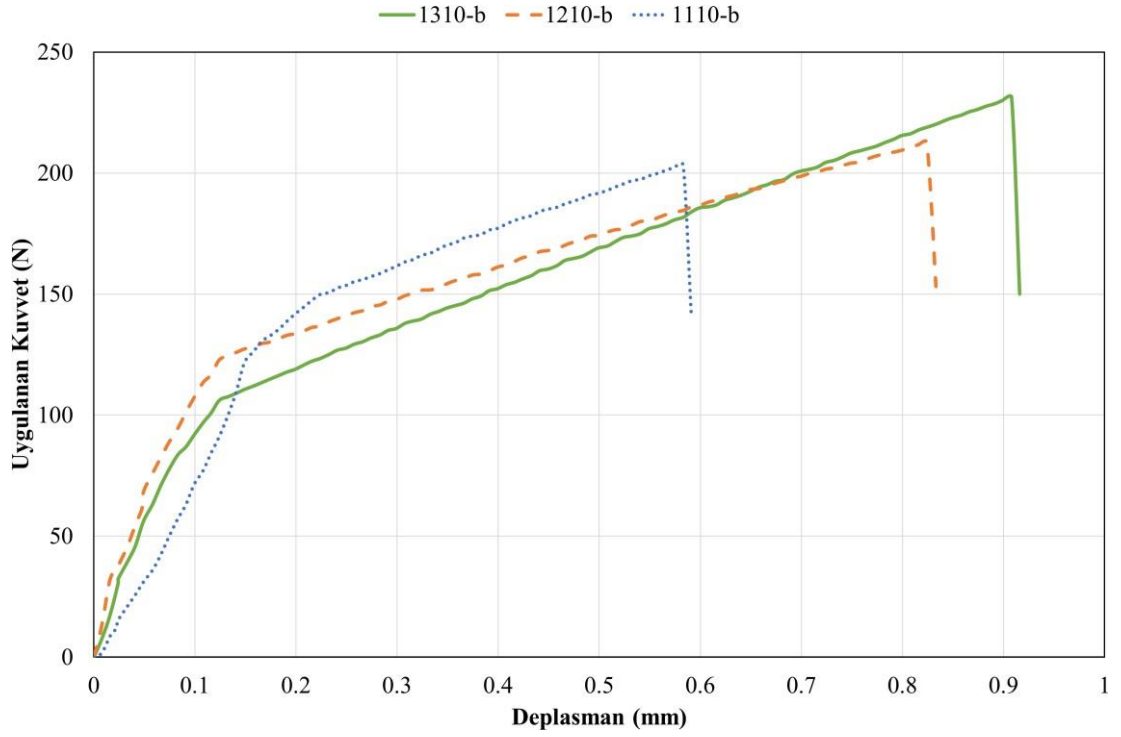
Şekil 5.1. Takviye levhası kalınlığının çekme davranışına etkisi

Takviye levhası büküm yarı çapının 20 mm yatay ve 20 mm düşey bindirme uzunluğuna ve 1 mm takviye levhası kalınlığına sahip numuneler için Şekil 5.2’de verilmiştir. Büküm yarı çapı arttıkça numune hasar yükü düşmüştür. 15 mm büküm yarı çapına sahip numunenin hasar yükü 252,5 N iken 10 mm büküm yarı çapına sahip numunenin hasar yükü %16 artış göstermiş ve 293,6 N değerini almıştır. Büküm yarı çapının 5 mm olması durumunda hasar yükü 15 mm büküm yarı çapına göre %37 artmış ve 346,3 N değerini almıştır.



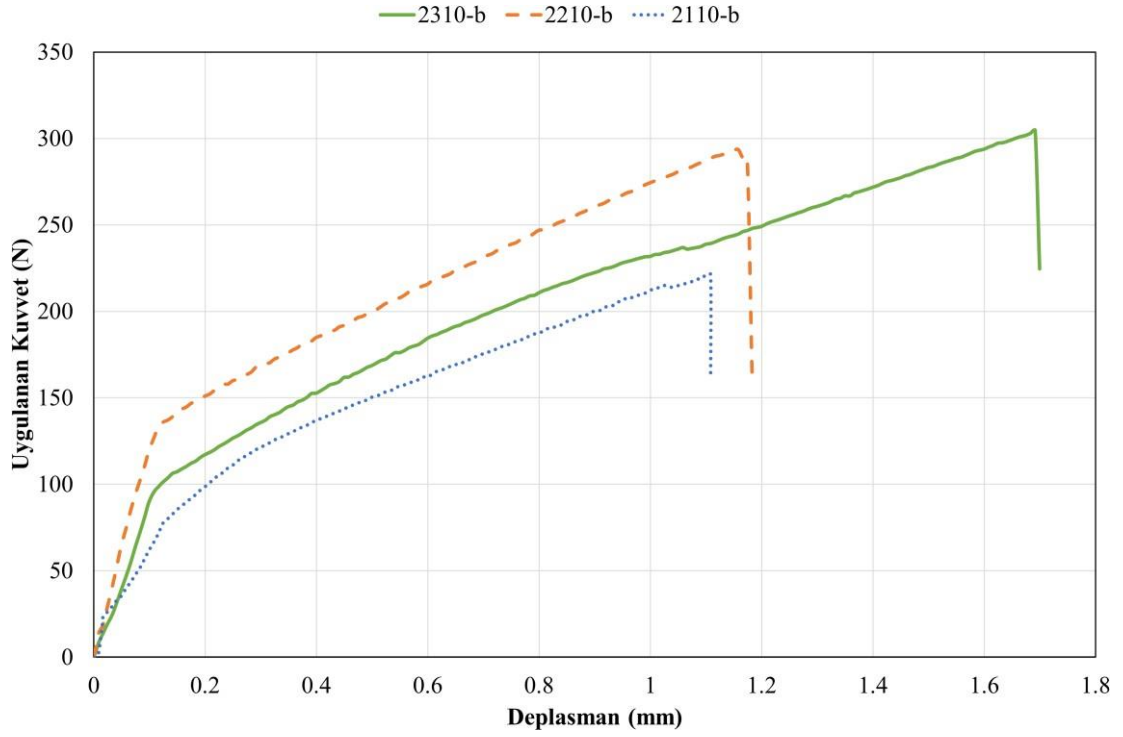
Şekil 5.2. Büküm radiusunun çekme davranışına etkisi

10 mm yatay bindirme uzunluğuna sahip numunelerde büküm yarı çapının 10 mm ve takviye levhası kalınlığının 1 mm olması durumunda düşey bindirme uzunluğunun numune hasar yüküne etkisi Şekil 5.3’de verilmiştir. Düşey bindirme uzunluğu arttıkça hasar yükü artmıştır. 10 mm, 20 mm ve 30 mm düşey bindirme uzunluğu değerleri için hasar yükü sırasıyla 203,3 N, 212,7 N ve 231,3 N değerlerini almıştır.



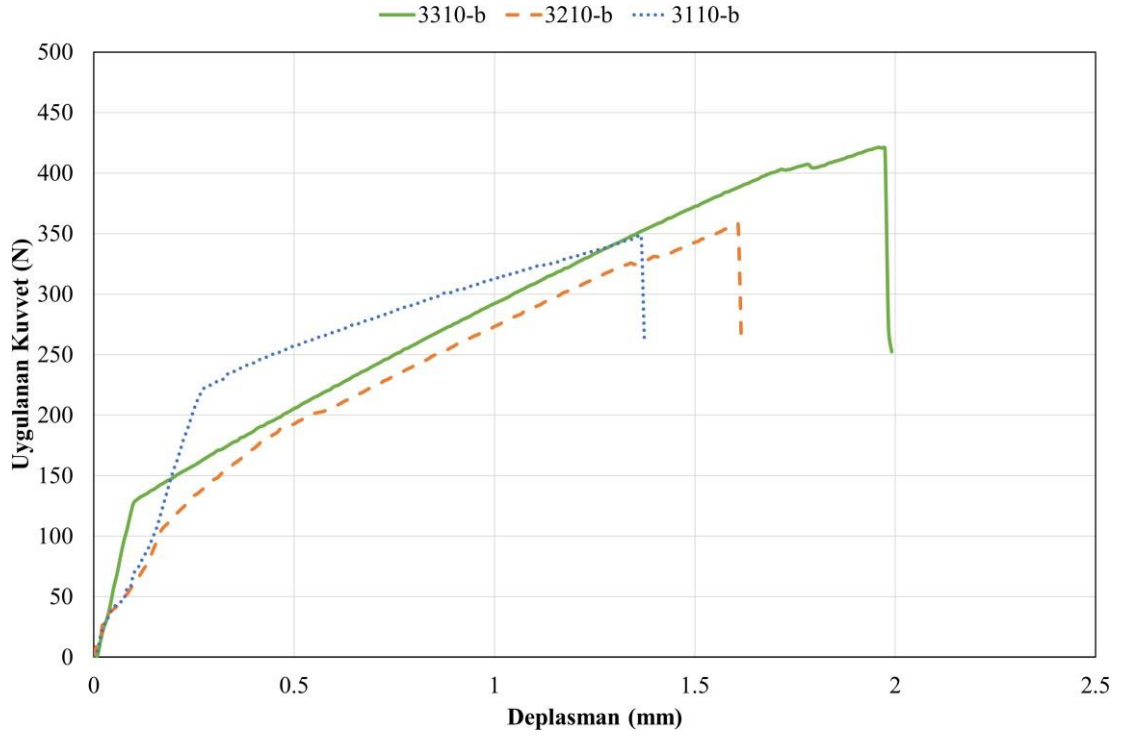
Şekil 5.3. 10 mm yatay bindirme uzunluğuna sahip numunelerde düşey bindirme uzunluğunun hasar yüküne etkisi

20 mm yatay bindirme uzunluğuna sahip numunelerde büküm yarı çapının 10 mm ve takviye levhası kalınlığının 1 mm olması durumunda düşey bindirme uzunluğunun numune hasar yüküne etkisi Şekil 5.4’de verilmiştir. 30 mm düşey bindirme uzunluğuna sahip numunenin hasar yükü 304,5 N, 20 mm düşey bindirme uzunluğuna sahip numunenin hasar yükü 293,6 N ve 10 mm düşey bindirme uzunluğuna sahip numunenin hasar yükü 221,3 N olmuştur.



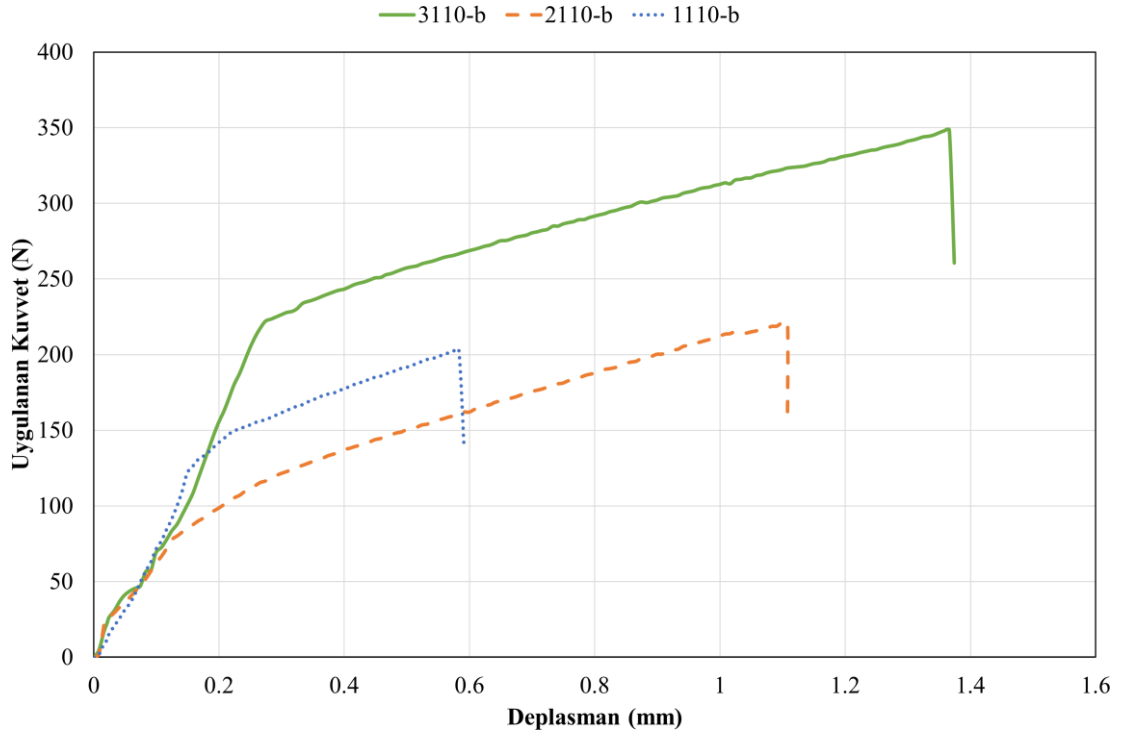
Şekil 5.4. 20 mm yatay bindirme uzunluğuna sahip numunelerde düşey bindirme uzunluğunun hasar yüküne etkisi

30 mm yatay bindirme uzunluğuna sahip numunelerde büküm yarı çapının 10 mm ve takviye levhası kalınlığının 1 mm olması durumunda düşey bindirme uzunluğunun numune hasar yüküne etkisi Şekil 5.5’de verilmiştir. Bütün numuneler içerisinde en yüksek hasar yükü değerine sahip numuneler 30 mm yatay bindirme uzunluğuna sahip olanlar olmuştur. 30 mm yatay bindirme uzunluğuna sahip numunenin hasar yükü 421,3 N olurken bindirme uzunluğu azaldıkça hasar yükü değerleri azalmış ve 20 mm yatay bindirme uzunluğuna sahip numune için 357,8 N ve 10 mm yatay bindirme uzunluğuna sahip numune için 348,3 N olmuştur.



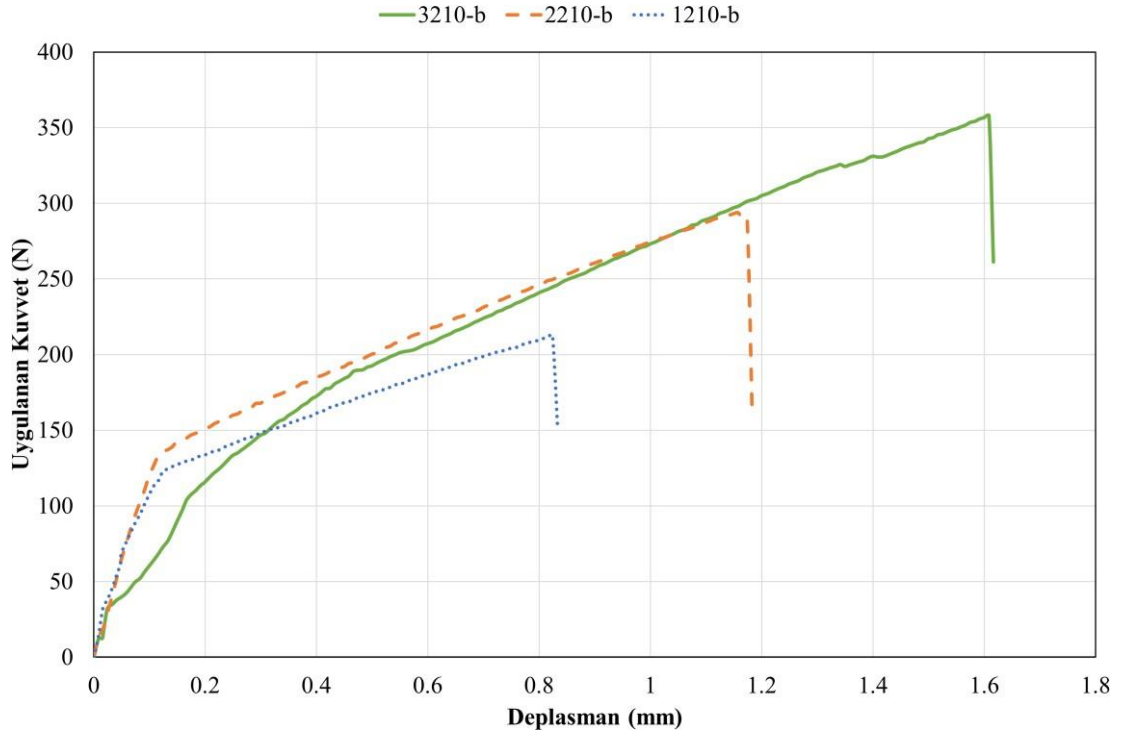
Şekil 5.5. 30 mm yatay bindirme uzunluğuna sahip numunelerde düşey bindirme uzunluğunun hasar yüküne etkisi

10 mm düşey bindirme uzunluğuna sahip numunelerde büküm yarı çapının 10 mm ve takviye levhası kalınlığının 1 mm olması durumunda yatay bindirme uzunluğunun numune hasar yüküne etkisi Şekil 5.6’da verilmiştir. 30 mm yatay bindirme uzunluğuna sahip numunenin hasar yükü 348,3 N olurken yatay bindirme uzunluğunun 20 mm’ye düşürülmesi hasar yükünün %36,5 düşerek 221,3 N ve yatay bindirme 10 mm’ye düşürülmesi hasar yükünün yatay bindirme uzunluğu 30 mm olan numuneye göre % 41,6 düşüşle 203,3 N olmasına sebep olmuştur.



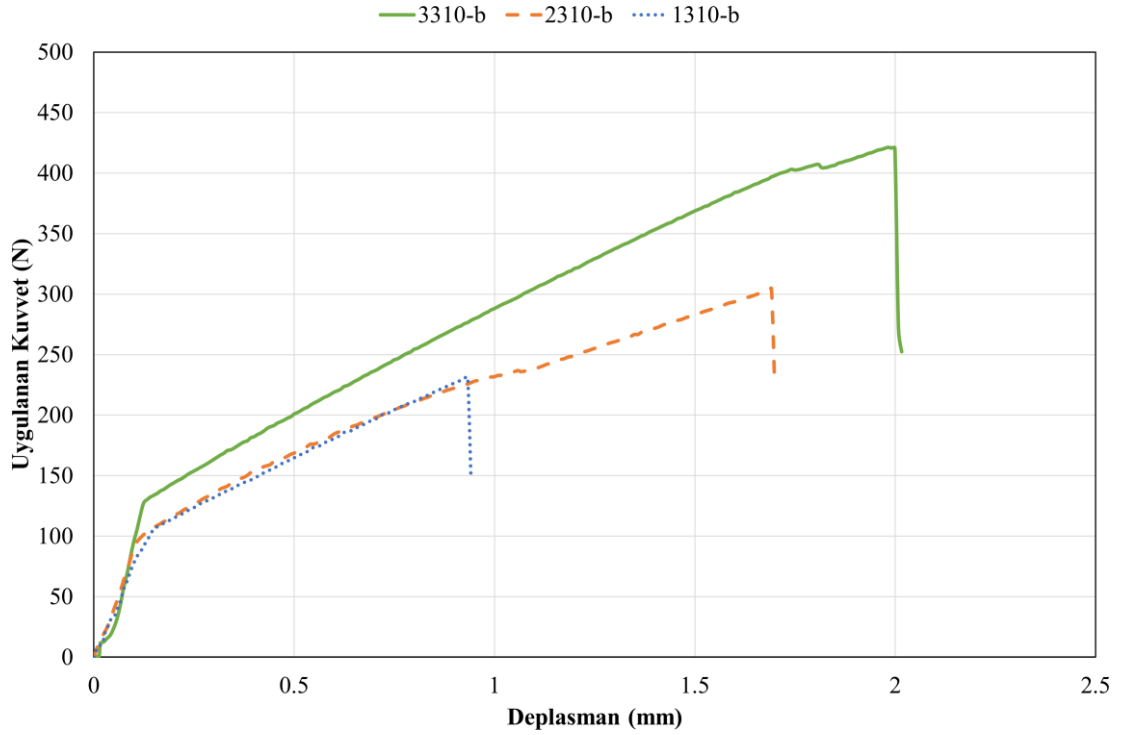
Şekil 5.6. 10 mm düşey bindirme uzunluğuna sahip numunelerde yatay bindirme uzunluğunun hasar yüküne etkisi

20 mm düşey bindirme uzunluğuna sahip numunelerde büküm yarı çapının 10 mm ve takviye levhası kalınlığının 1 mm olması durumunda yatay bindirme uzunluğunun numune hasar yüküne etkisi Şekil 5.7’de verilmiştir. Yatay bindirme uzunluğunun 10 mm, 20 mm ve 30 mm değerleri için hasar yükü değerleri sırasıyla 212,7 N, 293,6 N ve 357,8 N olmuştur.



Şekil 5.7. 20 mm düşey bindirme uzunluğuna sahip numunelerde yatay bindirme uzunluğunun hasar yüküne etkisi

30 mm düşey bindirme uzunluğuna sahip numunelerde büküm yarı çapının 10 mm ve takviye levhası kalınlığının 1 mm olması durumunda yatay bindirme uzunluğunun numune hasar yüküne etkisi Şekil 5.8’de verilmiştir. 30 mm yatay bindirme uzunluğuna sahip numunenin hasar yükü 421,3 N iken 20 mm yatay bindirme uzunluğuna sahip numunenin hasar yükü 304,5 N ve 10 mm yatay bindirme uzunluğuna sahip numunenin hasar yükü 231,3 N olmuştur.



Şekil 5.8. 30 mm düşey bindirme uzunluğuna sahip numunelerde yatay bindirme uzunluğunun hasar yüküne etkisi

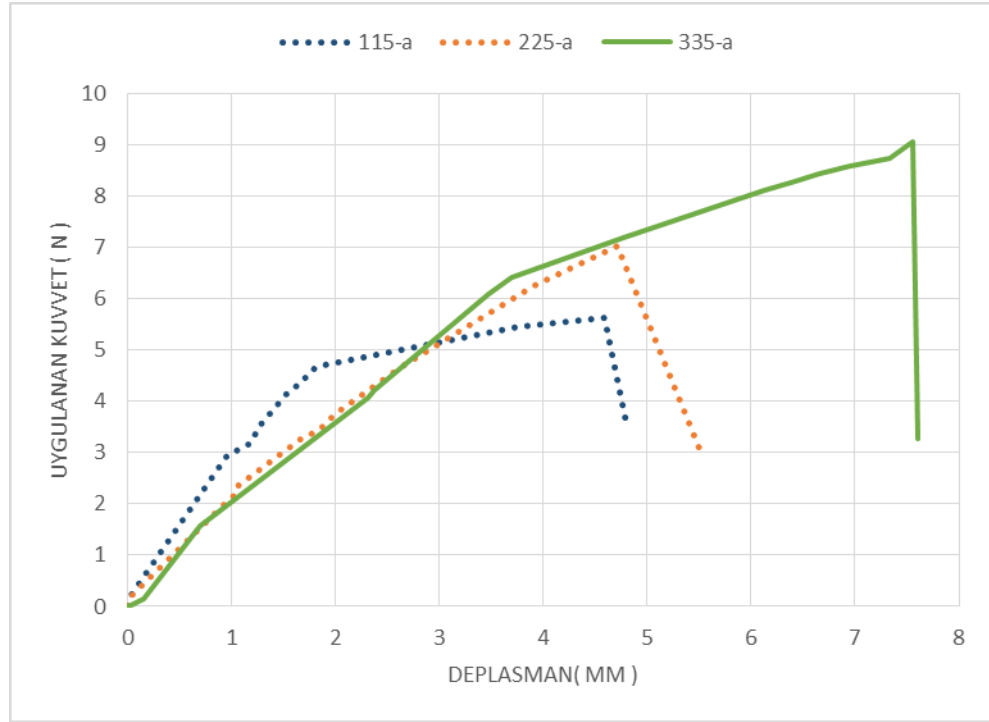
5.2 Eğilme Deneyi sonuçları ve Tartışma

Eğilme deneyleri, Shimadzu AG-X 5 kN universal test cihazında, 1 mm/dk. sabit eğilme hızında yapılmıştır. Yapılan eğilme deneyleri sonuçları; Şekil 5.9 - 5.11’de verilen grafiklerde, 10, 20 ve 30 mm bindirme boylarında Radyus ve tabaka kalınlıkları yapıştırma bağlantılarının numune tipine göre hasar yükü (Fhasar) değerleri şeklinde gösterilmiştir. Yapılan eğilme deneylerinde radyus uzunlukları farklı alınarak yapılmıştır. İndirme ve bindirme uzunlukları aynı alınmıştır. Tabaka kalınlığımız ise 0,5 mm kalınlıkta alınarak toplamda 9 deney yapılmıştır. Tablo 5.1.’de yapılan eğilme deney numunelerine ait bilgiler verilmiştir.

Tablo 5.1 Eğilme Deneyi Numunelerine Ait Bilgiler

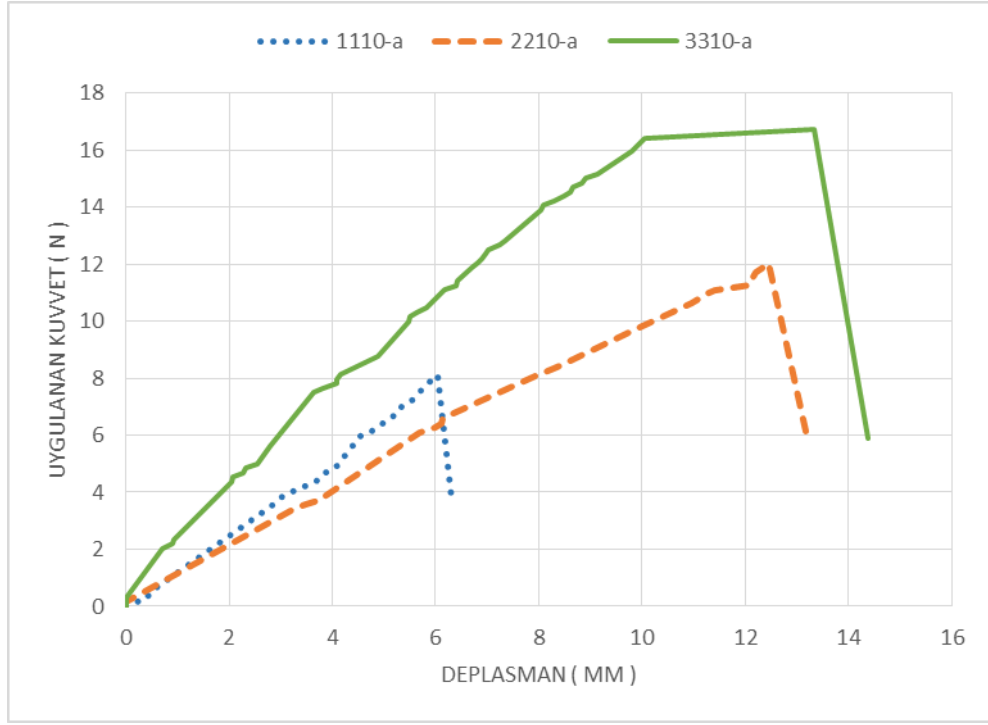
Yatay bindirme a (mm)	Dikey bindirme b (mm)	Tabaka kalınlığı t (mm)	Radius değeri (mm)
10	10	0,5 (a)	5,10,15
20	20	0,5(a)	5,10,15
30	30	0,5 (a)	5,10,15

Takviye levhası kalınlığı aynı alınarak farklı parametrelere sahip ve büküm yarıçapları 5 mm olan numunelerimizin bindirme uzunlukları takviye levhasına etkisi araştırılmıştır. Şekil 5.9’da bindirme uzunlukları 30 mm olan numunemizin (335-a) hasar yükü 9,06 N iken bindirme uzunluğu 20 mm olan numunemizin (225-a) hasar yükü 7, 03 N ve bindirme uzunluğu 10 mm olan numunemizin hasar yükü ise 5,625 N değerini almıştır.



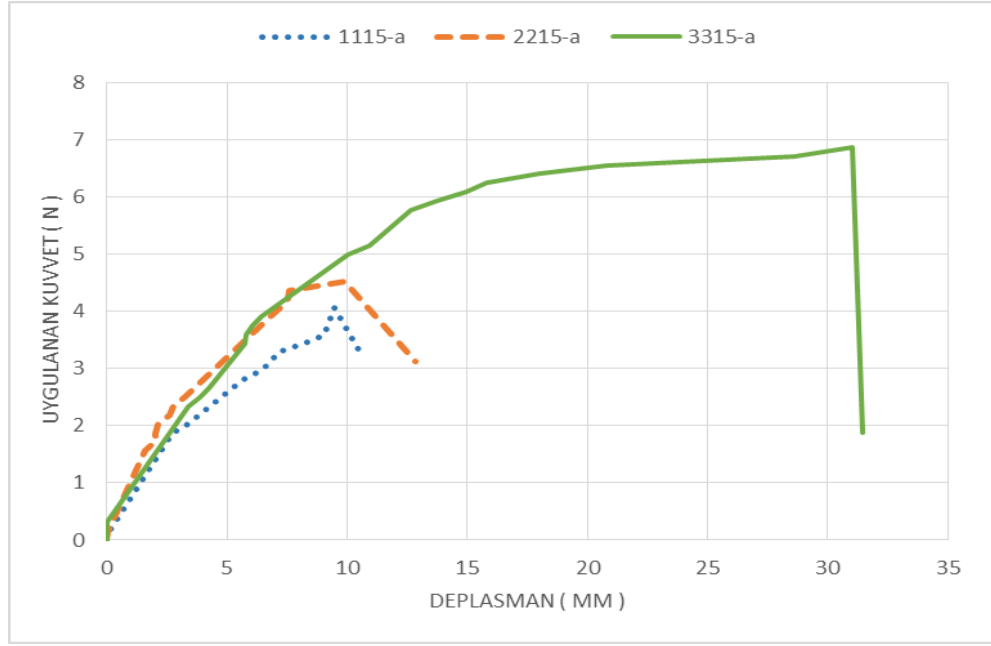
Şekil 5.9. 115-a, 225-a, 335-a Numunelerinin Uygulanan Kuvvet- Şekil Değişimi Grafiği

Büküm yarıçapı 10 mm ve farklı parametrelerde sahip numunelerimizin grafiği Şekil 5.10’da gösterilmiştir. Bindirme uzunlukları 10 mm olan numunemizin (1110-a) hasar yükü 8,125 N değerini almıştır. Bindirme uzunlukları 20 mm olan numunemizin (2210-a) hasar yükü 12,03 N ve bindirme uzunluğumuz 30 mm olan numunemizin (3310-a) ise hasar yükü 16, 71 N değerini almıştır.



Şekil 5.10. 1110-a, 2210-a, 3310-a Numunelerinin Uygulanan Kuvvet- Şekil Değişimi Grafiği

Büküm yarıçapı 15 mm ve farklı parametrelerde sahip numunelerimizin grafiği Şekil 5.11’de gösterilmiştir. Yatay bindirme uzunluğu arttıkça hasar yükünü arttığı gözlemlenmiştir. 10 mm, 20 mm ve 30 mm yatay bindirme uzunluğu değerleri için hasar yükü sırasıyla 4,06 N, 4,53 N ve 6,875 N değerlerini almıştır.



Şekil 5.11. 1115-a, 2215-a, 3315-a Numunelerinin Uygulanan Kuvvet- Şekil Değişimi Grafiği

Yapılan deney sonuçlarında bindirme uzunlukları arttığı zaman numuneye etki eden hasar kuvvet yükü miktarının arttığı gözlemlenmiştir. Hasar yükünün uzama miktarına da etki ettiği görülmüştür.

Eğilme deneyleri sonucunda uzama miktarı en yüksek 3315-a nolu deney numunemizde görülmüştür. Tablo 5.2’de deney numunelerinin maksimum kuvvet- şekil değişim değerleri gösterilmiştir.

Tablo 5.2 Eğilme Deneyi Numunelerinin Maksimum Kuvvet- Şekil Değişim Değerleri

Deney No	Kuvvet (N)	Şekil Değişimi (mm)
115-a	5,625	4,591
225-a	7,03125	4,716
235-a	9,0625	7,553
1110-a	8,125	6,044
2210-a	12,03125	12,445
3310-a	16,71875	13,333
1115-a	4,0625	9,442
2215-a	4,53125	9,884
3315-a	6,875	31,044

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1 Sonuçlar

Yapılan deneysel çalışma, yapıştırma bağlantılarının mekanik özelliklerinin araştırılması ve çıkacak sonuçlar karşısında yapılabilecek iyileştirmeler ve olumsuzlukları giderilmek amacıyla yapılmıştır. Yapılan çalışmada çift tesirli bindirme bağlantı modeli kullanılmıştır. Yapıştırıcı olarak DP460 epoksi yapıştırıcı, yapıştırılan malzeme olarak da AL5754 alüminyum saç malzeme kullanılmıştır. Yapılan çalışmada; epoksi yapıştırıcı içerisine herhangi bir katkı maddesi kullanılmadan çift tesirli bindirme bağlantıları imal edilip ve bağlantıların çekme ve eğilme dayanımları 10,20,30 mm bindirme boylarında deneysel olarak incelenmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Cekme deneyi sonucunda elde edilen sonuclar

- Radyus uzunluğunun artmasıyla hasar yükü azalmıştır.
- Takviye levhası kalınlığı arttıkça numune hasar yükü artış göstermiştir.
- Yatay ve düşey bindirme uzunluklarının farklı değerleri için bindirme uzunluğu arttıkça numune mukavemeti artış göstermiştir.
- Düşey bindirme uzunluğu arttıkça numune hasar yükü artarken en yüksek artış değerleri 30 mm yatay bindirme uzunluğuna sahip numunelerde görülmüştür.
- Yatay bindirme uzunluğu arttıkça numune hasar yükü artarken en yüksek artış değerleri 30 mm düşey bindirme uzunluğuna sahip numunelerde görülmüştür.
- Numunelerin çekme mukavemetini en çok etkileyen parametrenin yatay bindirme uzunluğu olduğu tespit edilmiştir.
- Deneylerin sonucunda yapışmanın tek taraftan koptuğunu ve temel hasar tipinin adezyon hasarı olduğu tespit edilmiştir.

Eğilme deneyi sonucunda elde edilen sonuclar:

- En yüksek uzama miktarı 3315-a nolu deneyde görülmüştür.
- En yüksek hasar yüküne maruz kalınan numunemiz 3310-a nolu numunemizdir.
- Bindirme uzunlukları arttığı zaman uzama miktarının arttığı görülmüştür.

- Yapılan 9 deney numunesinden 7 tanesi dikey bindirmeden 2 tanesi de yatay bindirmeden kopmuştur (%77.77 dikey, %23 yatay).
- Deneylerin sonucunda yapışmanın tek taraftan koptuğunu ve adezyon hasarı olduğu tespit edilmiştir.

5.2 Öneriler

Deneylerin sonuçları dikkate alınarak bundan sonraki yapılacak çalışmalarda verim almak istiyorsak büküm çapı uzunluğunu ve bindirme uzunluğunun mesafesini kısaltarak verim alacağımızı düşünüyorum. Çekme deneylerinin verileri sonucunda tabaka kalınlığının yüke ve uzama miktarına etki ettiği de görülmüştür.

KAYNAKLAR

- Abou-Hamda, M.M., Megahed, M.M., Hammouda, M.M.I., 1998, *Fatigue crack growth in double cantilever beam specimen with an adhesive layer*, Engineering Fracture Mechanics Vol. 60, No. 5-6, 605-614.
- Adams, R.D. (1989) *Strength Predictions for Lap Joints, Especially with Composite Adherents, A Review*. Journal of Adhesion., 30: 219-242.
- Aldaş, K., Palancıoğlu, H., Sen, F. *Thermal stresses in adhesively bonded double lap joints by FEM*, Technological Researches, 6/4, 55-64, 2009.
- Anık S., Anık, S., Vural, M., 1993, “1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı”, Birsen Yayınevi, Cilt 1 s. 291-300, İstanbul.
- Apalak, Z.G., Apalak, M.K. and Davies, R., 1996. *Analysis and design of tee joints with double support*. J. Adhesion and Adhesives, 16, 187-214.
- Barut, S., Turan, T., 2021. *Fiber Takviyeli Yapıştırıcıların Kullanıldığı Tek Tesirli Yapışma Bağlantılarında Hasar Analizi*, 12(2), 257-262.
- Budhe, S., Banea, M.D., Barros, S., Silva, L.F.M., 2017. *An updated review of adhesively bonded joints in composite materials*, International Journal of Adhesion and Adhesives, 72: 30-42.
- Chan, W.S. and Vedhagiri, S., 2001, *Analysis of composites bolted-bonded joints used in repairing*, J. Compos. Mater, 35(12), 1045-1061, 2001
- Cheuk, P.T., Tong, L., Wang, C.H., Baker, A., Chalkley, P., 2002, *Fatigue crack growth in adhesively bonded composite-metal double-lap joints*, Composite Structures, 57 (2002), 109–115.
- Ciba. (1999). *Ciba User's Guide to Adhesive, Surface Preparation and Pretreatment*, Ciba Specialty Chemicals, Switzerland, 40s.
- Colombi, P. and Paggi, C., 2005, “*Strengthening of tensile steel members and bolted joints using adhesively bonded CFRP plates*”, International Journal of Adhesion and Adhesives, 22, pp. 357-365.
- 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 Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş
- Higuchi, I., Sawa, T., Okuno, H. and Kato, S. (2003) *Three-Dimensional Finite Element Analysis of Stress Response in Adhesive Butt Joints Subjected to Impact Bending Moments*. The Journal of Adhesion., 79: 1017-1039.
- İmak A., Turgut, A., 2020, *Investigation of the mechanical behaviour of ring sectioned transmission steels combined with the different adhesives*. International journal of innovative engineering applications. 2020;4(1): 13-19
- Jen, Y.M., 2012, *Fatigue life evaluation of adhesively bonded scarf joints*, International Journal of Fatigue, 36 (2012) 30–39.
- Kline, R.A., 1982, *Stress Analysis of Adhesively Bonded Joints*, Proceedint of the International Symposium on Adhesive Joints, H, Kansas City, 587-610, 1982.

- Lee , H.K., Pyo, S.H., Kim, B.R., 2009. *On joint strengths, Peel Stresses and Failure Modes in Adhesively Bonded Double-Strap and Supported Single-Lap GFRP Joints*, *Composite Structures* 87, 44-54.
- Marcadon, V., Nadot, Y., Roy, A., Gacougnolle, J.L., 2006, *Fatigue behaviour of T-joints for marine applications*, *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 26 (2006), 481–489.
- Mazumdar, S.K. and Mallick, P.K.,1998. *Static and Fatigue Behaviour of Adhesive Joints in SMC-SMC Composites*, *Polymer Composites*, 19, 139-146, 1998.
- Mittal, KL (2003). *Yapıştırıcı- Adhesive*. Wiki, <https://tr.qwe.wiki/wiki/Adhesive>, [Ziyaret Tarihi: 7 Haziran 2021]
- Ramani, K., Zhao, W. (1997). *The Evaluation of Residual Stresses in Thermoplastic Bonding to Metal*, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 17, 353-357.
- Rende, H., 2000, “*Makine Elemanları Hesap ve Konstrüksiyon Cilt I*”, 4. Bölüm, Seç Yayın ve Dağıtım, Cağaloğlu İstanbul, 4.1-1/9 s.
- Tsai M.Y., Oplinger D.W., Morton J.,1998. “*Improved theoretical solutions for adhesive lap joints*”, *Virginia Polytechnic Institute and State University, USA*, 7683(97): 1163-1178 (1998).
- Veer, F.A., Zuidema, J., 2008, *The relation between the adhesive application method and the fatigue lifetime for a photocatalytic adhesive joint*, *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 28 (2008), 291–295.
- Zhang, Y., P. Vassilopoulos, A., Keller, T., 2009, *Environmental effects on fatigue behavior of adhesively-bonded pultruded structural joints*, *Composites Science and Technology*, 69 (2009), 1022–102