



T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELİPTİK HASARLI KOMPOZİT LEVHALARIN
TAMİRİNDE YAMA BOYUTLARI VE YAMA TABAKA
SAYISININ ÇEKME GERİLME DAVRANIŞLARINA
ETKİSİNİN DENEYSEL VE SAYISAL OLARAK
ARAŞTIRILMASI**

MEHMET RAMAZANOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KAHRAMANMARAŞ 2018

T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELİPTİK HASARLI KOMPOZİT LEVHALARIN
TAMİRİNDE YAMA BOYUTLARI VE YAMA TABAKA
SAYISININ ÇEKME GERİLME DAVRANIŞLARINA
ETKİSİNİN DENEYSEL VE SAYISAL OLARAK
ARAŞTIRILMASI**

MEHMET RAMAZANOĞLU

**Bu tez,
Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS
derecesi için hazırlanmıştır.**

KAHRAMANMARAŞ 2018

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü öğrencisi, Mehmet RAMAZANOĞLU tarafından hazırlanan “ELİPTİK HASARLI KOMPOZİT LEVHALARIN TAMİRİNDE YAMA BOYUTLARI VE YAMA TABAKA SAYISININ ÇEKME GERİLME DAVRANIŞLARINA ETKİSİNİN DENEYSEL VE SAYISAL OLARAK ARAŞTIRILMASI” adlı bu tez, jürimiz tarafından 13 / 09 / 2018 tarihinde oy birliği ile Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Abdullah ŞİŞMAN (DANIŞMAN)

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Doç. Dr. Muharrem İMAL (ÜYE)

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Doç. Dr. Hamit ADİN (ÜYE)

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Batman Üniversitesi

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylım.

Doç. Dr. Mustafa ŞEKKELİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

.....
Mehmet RAMAZANOĞLU

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

**ELİPTİK HASARLI KOMPOZİT LEVHALARIN TAMİRİNDE YAMA
BOYUTLARI VE YAMA TABAKA SAYISININ ÇEKME GERİLME
DAVRANIŞLARINA ETKİSİNİN DENEYSEL VE SAYISAL OLARAK
ARAŞTIRILMASI**

Mehmet RAMAZANOĞLU

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

ÖZET

Bu çalışmada eliptik hasarlı tabakalı kompozit levhaların tamirinde; yama boyutları ve yama tabaka sayısının çekme gerilme davranışına etkisi deneysel ve sayısal olarak araştırılmıştır. Bu amaçla, eliptik delikli cam elyaf takviyeli tabakalı kompozit levhalar oluşturulmuştur. Bu levhalar çekme yüküne maruz bırakılarak, hasar yükleri deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Daha sonra DP460 yapıştırıcı malzemesi kullanılarak, eliptik hasarlı cam elyaf takviyeli kompozit levhalar, boyutları ve tabaka sayıları değişen cam elyaf takviyeli kompozit yamalarla tek taraflı bindirme bağlantıları kullanılarak tamir edilmiştir. Tamir edilen numuneler çekme yüküne maruz bırakılarak, tamirde yama boyutu ve tabaka sayısı değişiminin hasar yüklerine ve gerilme davranışlarına etkisi yine deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir.

Nümerik analizde ANSYS 19.0 programı kullanılarak hasar yükleri bulunup, kritik hatlar belirlenerek, bu hatlar boyunca numuneler üzerindeki σ_x , σ_y , σ_z , σ_{eqv} ve τ_{xy} , τ_{yz} , τ_{xz} gerilme dağılımları incelenmiş ve deneysel olarak elde edilen hasar yükleri ve hasar mekanizmaları ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kompozit Malzemeler, Yapıştırma Bağlantıları, Kompozitlerin Tamiri, Eliptik Hasar.

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Malzeme Bilimi Mühendisliği Anabilim Dalı, Eylül / 2018

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Abdullah ŞİŞMAN

Sayfa Sayısı: 105

**EXPERIMENTAL AND NUMERICAL INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF
DIMENSIONS AND NUMBER OF LAYERS OF PATCHES ON TENSILE STRESS
BEHAVIOUR OF REPAIRING COMPOSITE PLATES HAVING ELLIPTICAL
DAMAGE**

Mehmet RAMAZANOĞLU

(M. Sc. THESIS)

ABSTRACT

In this study, the effects of dimensions and number of layers of patches on tensile stress behaviour in repairing composite plates having elliptical damage by using composite patches are investigated experimentally and numerically. For this purpose, glass fiber reinforced composite plates having elliptical damages are prepared. These plate loadings are applied and failure loads are investigated experimentally and numerically. Then composite plates having elliptical damages are repaired by single-sided glass fiber reinforced composite patches with changing dimensions and number of layers by using DP 460 epoxy. Tensile loads are applied to these plates and the effects of change in dimensions and number of layers of patches on failure loads and stress behaviour are investigated experimentally and numerically.

ANSYS R 19.0 WORKBENCH software have been used for numerical analysis at the end experimental and numerical investigations have been compared.

Keywords: Composite Materials, Adhesive Bonding, Composite Repair, Elliptical Damage.

University of Kahramanmaraş Sutcu İmam

Graduate School of Natural and Applied Science

Department of Material Science and Engineering, September / 2018

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Abdullah ŞİŞMAN

Number of Pages: 105

TEŞEKKÜR

Eliptik Hasarlı Kompozit Levhaların Tamirinde Yama Boyutları Ve Yama Tabaka Sayısının Çekme-Gerilme Davranışlarına Etkisinin Deneysel Ve Sayısal Olarak Araştırılması konusunda hazırlamış olduğum bu yüksek lisans tezinde bize rehberlik eden Dr. Öğr. Üyesi Abdullah ŞİŞMAN' a, proje boyunca bana her konuda destek veren Yüksek Lisans sınıf arkadaşlarım Osman AHLATLI, Can CANBOLAT, Mustafa ASLANTÜRK ve Harun KATMER'e çok teşekkür ederim. Ayrıca yüksek lisans yapma sürecinde bende maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen Annem Leyla RAMAZANOĞLU ve EŐim Zeynep RAMAZANOĞLUNA teşekkürlerimi sunuyorum.

Mehmet RAMAZANOĞLU

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
1.1. Önceki Çalışmalar	1
2. GENEL BİLGİLER	5
2.1. Kompozit Malzemeler	5
2.1.1. Kompozit malzemelerin avantajları ve dezavantajları	5
2.1.2. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması	6
2.1.2.1. Metal matrisli kompozitler	6
2.1.2.2. Seramik matrisli kompozitler	7
2.1.2.3. Polimer matrisli kompozitler	7
2.1.3. Polimer matrisli kompozitlerde kullanılan matris çeşitleri	7
2.1.3.1. Termoplastik matrisler	8
2.1.3.2. Termoset matrisler	8
2.1.3.3. Epoksi	9
2.1.4. Polimer matrislerde kullanılan elyaf çeşitleri	9
2.1.4.1. Karbon	10
2.1.4.2. Aramid	10
2.1.4.3. Boron	10
2.1.4.4. Bazalt	11
2.1.4.5. Cam	11
2.1.5. Cam epoksi kompozitler	11
2.1.5.1. Avantaj ve dezavantajları	12
2.1.5.2. Kullanım yerleri	12
2.2. Yapıştırma Bağlantıları	12
2.2.1. Adhezyon	13
2.2.2. Kohezyon	13

2.2.3. Yapışmayı Etkileyen Faktörler	13
2.2.3.1. Sıcaklık.....	13
2.2.3.2. Basınç.....	15
2.2.3.3. Zaman.....	15
2.2.3.4. Katalizör	15
2.2.3.5. Vulkanizasyon	16
2.2.3.6. Çözücü	16
2.2.3.7. Oksijen, rutubet ve nem	16
2.2.3.8. Metal yüzeyleri	17
2.2.3.9. Ultraviyole Işıklar	18
2.2.4. Yapıştırma Geometrileri.....	18
2.2.5. Yapıştırıcı Çeşitleri	19
2.2.5.1. Kürleşme mekanizmalarına göre yapıştırıcılar.....	19
2.2.5.1.1. Anerobik reaksiyonla kürleşen yapıştırıcılar	19
2.2.5.1.2. Ultraviyole (UV) ışığı ile kürleşen yapıştırıcılar	20
2.2.5.1.3. Aniyonik reaksiyonla kürleşen yapıştırıcılar (siyanoakrilatlar).....	20
2.2.5.1.4. Aktivatör ile kürleşen yapıştırıcılar (modifiye akrilikler)	21
2.2.5.1.5. Ortam nemi ile kürleşen yapıştırıcılar	21
2.2.5.1.6. Isı ile kürleşen yapıştırıcılar.....	21
2.2.5.2. Formları açısından yapıştırıcılar.....	22
2.2.5.3. Yapısal ve yapısal olmayan yapıştırıcılar	22
2.2.5.3.1. Epoksiler	23
2.2.5.3.2. Akrilikler.....	23
2.2.5.3.3. Metakrilatlar.....	23
2.2.6. Yapıştırma bağlantılarının avantaj ve dezavantajları.....	23
2.2.7. Yapıştırıcıların kullanım alanları	25
2.2.8. Yapıştırma bağlantılarında oluşan hasar tipleri	26
2.3. Çekme Deneyi	27
2.3.1. Yapılışı	27
2.3.2. Deneyde kullanılan cihaz ve standartlar.....	27
2.3.3. Deneyde elde edilen bilgiler	29
2.3.3.1. Kuvvet–uzama grafiği.....	29
2.3.3.2. Gerilme (σ)	30
2.3.3.2.1. Mühendislik gerilme-uzama grafiği	30

2.3.3.2.2. Gerçek gerilme-uzama grafiği	31
2.3.3.3. Elastisite modülü ve rijitlik	31
2.3.3.4. Akma dayanımı (σ_a).....	32
2.3.3.5. Orantı sınırı (σ_0).....	32
2.3.3.6. Çekme dayanımı (σ_c)	32
2.3.3.7. Kopma dayanımı.....	32
2.3.3.8. Tokluk	33
2.3.3.9. Rezilyans	33
2.3.3.10. Süneklik.....	33
2.4. Sonlu Elemanlar Metodu	33
2.4.1. Ansys	34
2.4.1.1. Malzeme özelliklerine ilişkin bazı terimler.....	35
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	37
3.1. Yapıştırılan Malzeme.....	37
3.2. Yapıştırıcı Malzeme.....	37
3.4. Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi.....	39
3.5. Deney Numunelerinin Hazırlanması	42
3.6. Deneysel Hasar Yüklerinin Belirlenmesi.....	45
3.7. Nümerik Analiz	46
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	50
4.1. Deneysel Bulgular	50
4.1.1. Hasarsız yamasız numunelerin hasar yükleri	52
4.1.2. Hasarlı numunelerde yama boyutlarının değişiminin deneysel hasar yüklerine etkisi.....	53
4.1.2.1. Yamasız numunelerin hasar yükleri	53
4.1.2.2. Yama genişliğinin (x) hasar yüklerine etkisi.....	54
4.1.2.2.1. Tabaka sayısı 2 olan 40x40, 50x40 ve 60x40 mm yamalarda genişlik değişiminin hasar yüküne etkisi	54
4.1.2.2.2. Tabaka sayısı 4 olan 40x40, 50x40 ve 60x40 mm yamalarda genişlik değişiminin hasar yüküne etkisi	55
4.1.2.2.3. Tabaka sayısı 6 olan 40x40, 50x40 ve 60x40 mm yamalarda genişlik değişiminin hasar yüküne etki.....	56
4.1.2.3. Yama uzunluğunun (y) hasar yüklerine etkisi.....	57

4.1.2.3.1. Tabaka sayısı 2 olan 40x40, 40x50 ve 40x60 mm yamalarda uzunluk değişiminin hasar yüküne etkisi	57
4.1.2.3.2. Tabaka sayısı 4 olan 40x40, 40x50 ve 40x60 mm yamalarda uzunluk değişiminin hasar yüküne etkisi	58
4.1.2.3.3. Tabaka sayısı 6 olan 40x40, 40x50 ve 40x60 mm yamalarda uzunluk değişiminin hasar yüküne etkisi	59
4.1.2.4. Yama kalınlığının (z) hasar yüklerine etkisi	60
4.1.2.4.1. 40x40 mm genişlik ve uzunluğa sahip yamalarda tabaka sayısının 2, 4 ve 6 kat olarak değişiminin hasar yüküne etkisi.....	60
4.1.2.4.2. 40x50 mm genişlik ve uzunluğa sahip yamalarda tabaka sayısının 2, 4 ve 6 kat olarak değişiminin hasar yüküne etkisi.....	61
4.1.2.4.3. 40x60 mm genişlik ve uzunluğa sahip yamaların tabaka sayısının 2, 4 ve 6 kat olarak değişiminin hasar yüküne etkisi.....	62
4.1.2.4.4. 50x40 mm genişlik ve uzunluğa sahip yamalarda tabaka sayısının 2, 4 ve 6 kat olarak değişiminin hasar yüküne etkisi.....	63
4.1.2.4.5. 60x40 mm genişlik ve uzunluğa sahip yamalarda tabaka sayısının 2, 4 ve 6 kat olarak değişiminin hasar yüküne etkisi.....	64
4.2. Nümerik Bulgular	66
4.2.1. AB hattı	67
4.2.1.1. Hasarlı numunelerde yama boyutlarının değişiminin nümerik hasar yüklerine etkisi.....	67
4.2.1.1.1. Tabaka sayısı 4 olan 40x40, 50x40 ve 60x40 mm yamalarda genişlik (x) değişiminin hasar yüküne etkisi	68
4.2.1.1.2. Tabaka sayısı 4 olan 40x40, 40x50 ve 40x60 mm yamalarda uzunluk (y) değişiminin hasar yüküne etkisi.....	72
4.2.1.1.3. 40x40 mm'lik yamalarda tabaka sayısının (z) değişiminin hasar yüküne etkisi.....	77
4.2.2. BC hattı.....	82
4.2.2.1. Hasarlı numunelerde yama boyutlarının değişiminin nümerik hasar yüklerine etkisi.....	82
4.2.2.1.1. Tabaka sayısı 4 olan 40x40, 50x40 ve 60x40 mm yamalarda genişlik (x) değişiminin hasar yüküne etkisi.....	82
4.2.2.1.2. Tabaka sayısı 4 olan 40x40, 40x50 ve 40x60 mm yamalarda uzunluk (y) değişiminin hasar yüküne etkisi.....	87

4.2.2.1.3. 40x40 mm'lik yamalarda tabaka sayısının (z) değişiminin hasar yüküne etkisi.....	92
4.3. Hasar Yüklerinin ve Gerilme Değerlerinin Karşılaştırılması	97
4.3.1. Deneysel hasar yüklerinin karşılaştırılması.....	97
4.3.1.1. Tabaka sayısı değişimlerinde yama genişliğinin (x) hasar yüklerine etkisi	97
4.3.1.2. Tabaka sayısı değişimlerinde yama uzunluğunun (y) hasar yüklerine etkisi	97
4.3.2. Nümerik von mises gerilmelerinin karşılaştırılması	98
4.3.2.1. AB hattı.....	98
4.3.2.1.1. Tabaka sayısı değişimlerinde yama genişliğinin (x) von mises gerilmelerine etkisi	98
4.3.2.1.2. Tabaka sayısı değişimlerinde yama uzunluğunun (y) von mises gerilmelerine etkisi	99
4.3.2.2. BC hattı	99
4.3.2.2.1. Tabaka sayısı değişimlerinde yama genişliğinin (x) von mises gerilmelerine etkisi	99
4.3.2.2.2. Tabaka sayısı değişimlerinde yama uzunluğunun (y) von mises gerilmelerine etkisi	100
5. SONUÇLAR.....	101
5.1. Deneysel Sonuçlar	101
5.2. Nümerik Sonuçlar.....	101
KAYNAKLAR.....	103
ÖZGEÇMİŞ.....	105

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

- E_x : X yönündeki elastisite modülü
- E_y : Y yönündeki elastisite modülü
- E_z : Z yönündeki elastisite modülü
- G_{xy} : XY düzlemindeki kayma modülü
- G_{xz} : XZ düzlemindeki kayma modülü
- G_{yz} : YZ düzlemindeki kayma modülü
- ν_{xy} : XY düzlemindeki poisson oranı
- ν_{xz} : XZ düzlemindeki poisson oranı
- ν_{yz} : YZ düzlemindeki poisson oranı
- D** : Elips büyük çap
- d** : Elips küçük çap
- Y** : Yama genişliği
- X** : Yama yüksekliği
- Θ** : AB hattı boyunca açı
- σ_x : X eksenindeki gerilmeler
- σ_y : Y eksenindeki gerilmeler
- σ_z : Z eksenindeki gerilmeler
- τ_{xy} : XY düzlemindeki kayma gerilmeleri
- τ_{xz} : XZ düzlemindeki kayma gerilmeleri
- τ_{yz} : YZ düzlemindeki kayma gerilmeleri
- σ_{eqv} : Von mises gerilmesi
- DHY** : Deneysel hasar yükü
- NHY** : Nümerik hasar yükü
- EKK** : Elips kesitinden kopma
- YDK** : Yama dışı kopma

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Yapıştırma yüzeylerinde oluşan kuvvetler	12
Şekil 2.2 Loctite 638 anaerobik yapıştırıcıda sıcaklığın mukavemete etkisi	14
Şekil 2.3 Suyun yapıştırıcının mekanik özelliklerine etkisi	17
Şekil 2.4. Elastik bir katı (noktalanmış bölge) ile sert pürüzlü bir katı tabaka arasındaki temas	18
Şekil 2.5 Yapıştırma bağlantısı geometrileri	19
Şekil 2.6. Otomotivde yapıştırıcı kullanımı	25
Şekil 2.7 Uçak imalatında kompozit malzeme ve yapıştırıcı kullanımı	26
Şekil 2.8 Sandviç panellerde yapıştırıcı kullanımı	26
Şekil 2.9. ZWICK test cihazı	28
Şekil 2.10. Hasarsız cam epoksi kuvvet-uzama grafiği	29
Şekil 2.11. Mühendislik birim uzama grafiği	30
Şekil 2.12. Gerçek gerilme uzama grafiği	31
Şekil 2.13. Gerilme-birim uzama eğrisi yardımıyla şekil değiştirme eğrilerinin (rezilyans ve tokluk) belirlenmesi	33
Şekil 3.1.DP-460 kürleşme zamanı (dk) - kürleşme sıcaklığı (⁰ C) grafiği	38
Şekil 3.2.DP-460 gerilme-şekil değiştirme davranışı	38
Şekil 3.3. ASTM D3039 Standardına göre numune geometrisi	40
Şekil 3.4 ASTM standartlarına göre üretilmiş ve test aşamasındaki numuneler	41
Şekil 3.5. Yama boyutları	42
Şekil 3.6. Elips delik açılmış cam elyaf takviyeli kompozit malzeme	43
Şekil 3.7. Hazırlanan deney numunelerinin şematik gösterimi	44
Şekil 3.8. Hazırlanan 6 katlı deney numunelerinin gösterimi	44
Şekil 3.9. ZWICK Z100 test cihazı	45
Şekil 3.10. (a) Hasarlı malzemenin nümerik analizde modellenen ağ yapıları, (b) Hasarlı malzeme ve yamanın birbirine yapıştırılması	47
Şekil 3.11. Nümerik analizde incelenen AB ve BC gerilme hatları	48
Şekil 3.12. Nümerik analizde incelenen malzemelere atanan Mesh (Ağ) yapısı	48
Şekil 4.1. Numune kopma anı	50
Şekil 4.2. Hasarsız ve yamasız 3 numunenin hasar yükü değişimi	52
Şekil 4.3. Hasarlı ve yamasız 3 numunenin hasar yükü değişimi	53
Şekil 4.4. 2 kat tabakalı 40x40 mm, 50x40 mm, 60x40 mm boyutlarındaki yamalar için hasar yükü değişimleri	54

Şekil 4.5. 4 kat tabakalı 40x40 mm, 50x40 mm, 60x40 mm boyutlarındaki yamalar için hasar yükü değişimleri	55
Şekil 4.6. 6 kat tabakalı 40x40 mm, 50x40 mm, 60x40 mm boyutlarındaki yamalar için hasar yükü değişimleri	56
Şekil 4.7. 2 kat tabakalı 40x40 mm, 40x50 mm, 40x60 mm boyutlarındaki yamalar için hasar yükü değişimleri	57
Şekil 4.8. 4 kat tabakalı 40x40 mm, 40x50 mm, 40x60 mm boyutlarındaki yamalar için hasar yükü değişimleri	58
Şekil 4.9. 6 kat tabakalı 40x40 mm, 40x50 mm, 40x60 mm boyutlarındaki yamalar için hasar yükü değişimleri	59
Şekil 4.10. 40x40 mm genişlik ve uzunluğa sahip yamanın 2 kat, 4 kat ve 6 kat tabaka sayılarında hasar yükü değişimleri	60
Şekil 4.11. 40x50 mm genişlik ve uzunluğa sahip yamanın 2 kat, 4 kat ve 6 kat tabaka sayılarında hasar yükü değişimleri	61
Şekil 4.12. 40x60 mm genişlik ve uzunluğa sahip yamanın 2 kat, 4 kat ve 6 kat tabaka sayılarında hasar yükü değişimleri	62
Şekil 4.13. 50x40 mm genişlik ve uzunluğa sahip yamanın 2 kat, 4 kat ve 6 kat tabaka sayılarında hasar yükü değişimleri	63
Şekil 4.14. 60x40 mm genişlik ve uzunluğa sahip yamanın 2 kat, 4 kat ve 6 kat tabaka sayılarında hasar yükü değişimleri	64
Şekil 4.15. Tabaka sayısı 2 olan yamalarda görülen elips kesitinden kopma anı.....	65
Şekil 4.16. Tabaka sayısı 4 ve 6 olan yamalarda görülen yama dışından kopma anı.....	65
Şekil 4.17. Nümerik analizde incelenen AB ve BC gerilme hatları	66
Şekil 4.18. ANSYS programı ile yapılan nümerik analiz sonrasında, 2 tabakalı numune üzerindeki kritik gerilme bölgeleri	67
Şekil 4.19. ANSYS programı ile yapılan nümerik analiz sonrasında, 4 ve 6 tabakalı numune üzerindeki kritik gerilme bölgeleri	67
Şekil 4.20. Boyutları 40x40, 50x40 ve 60x40 mm olan yama genişliği (x) değişiminin AB hattı üzerindeki ($\sigma_x - \Theta$) gerilme dağılım grafiği	68
Şekil 4.21. Boyutları 40x40, 50x40 ve 60x40 mm olan yama genişliği (x) değişiminin AB hattı üzerindeki ($\sigma_y - \Theta$) gerilme dağılım grafiği	68
Şekil 4.22. Boyutları 40x40, 50x40 ve 60x40 mm olan yama genişliği (x) değişiminin AB hattı üzerindeki ($\sigma_z - \Theta$) gerilme dağılım grafiği	69
Şekil 4.23. Boyutları 40x40, 50x40 ve 60x40 mm olan yama genişliği (x) değişiminin AB hattı üzerindeki ($\tau_{xy} - \Theta$) gerilme dağılım grafiği	70
Şekil 4.24. Boyutları 40x40, 50x40 ve 60x40 mm olan yama genişliği (x) değişiminin AB hattı üzerindeki ($\tau_{yz} - \Theta$) gerilme dağılım grafiği	70

Şekil 4.25. Boyutları 40x40, 50x40 ve 60x40 mm olan yama genişliği (x) değişiminin AB hattı üzerindeki ($\tau_{xz} - \Theta$) gerilme dağılım grafiği	71
Şekil 4.26. Boyutları 40x40, 50x40 ve 60x40 mm olan yama genişliği (x) değişiminin AB hattı üzerindeki ($\sigma_{eqv} - \Theta$) gerilme dağılım grafiği	71
Şekil 4.27. Boyutları 40x40, 40x50 ve 40x60 mm olan yama uzunluğu (y) değişiminin AB hattı üzerindeki ($\sigma_x - \Theta$) gerilme dağılım grafiği	72
Şekil 4.28. Boyutları 40x40, 40x50 ve 40x60 mm olan yama uzunluğu (y) değişiminin AB hattı üzerindeki ($\sigma_y - \Theta$) gerilme dağılım grafiği	73
Şekil 4.29. Boyutları 40x40, 40x50 ve 40x60 mm olan yama uzunluğu (y) değişiminin AB hattı üzerindeki ($\sigma_z - \Theta$) gerilme dağılım grafiği	73
Şekil 4.30. Boyutları 40x40, 40x50 ve 40x60 mm olan yama uzunluğu (y) değişiminin AB hattı üzerindeki ($\tau_{xy} - \Theta$) gerilme dağılım grafiği	74
Şekil 4.31. Boyutları 40x40, 40x50 ve 40x60 mm olan yama uzunluğu (y) değişiminin AB hattı üzerindeki ($\tau_{yz} - \Theta$) gerilme dağılım grafiği	75
Şekil 4.32. Boyutları 40x40, 40x50 ve 40x60 mm olan yama uzunluğu (y) değişiminin AB hattı üzerindeki ($\tau_{xz} - \Theta$) gerilme dağılım grafiği	75
Şekil 4.33. Boyutları 40x40, 40x50 ve 40x60 mm olan yama uzunluğu (y) değişiminin AB hattı üzerindeki ($\sigma_{eqv} - \Theta$) gerilme dağılım grafiği	76
Şekil 4.34. Tabaka sayıları 2, 4 ve 6 kat olan yama kalınlığı (z) değişiminin AB hattı üzerindeki ($\sigma_x - \Theta$) gerilme dağılım grafiği	77
Şekil 4.35. Tabaka sayıları 2, 4 ve 6 kat olan yama kalınlığı (z) değişiminin AB hattı üzerindeki ($\sigma_y - \Theta$) gerilme dağılım grafiği	77
Şekil 4.36. Tabaka sayıları 2, 4 ve 6 kat olan yama kalınlığı (z) değişiminin AB hattı üzerindeki ($\sigma_z - \Theta$) gerilme dağılım grafiği	78
Şekil 4.37. Tabaka sayıları 2, 4 ve 6 kat olan yama kalınlığı (z) değişiminin AB hattı üzerindeki ($\tau_{xy} - \Theta$) gerilme dağılım grafiği	79
Şekil 4.38. Tabaka sayıları 2, 4 ve 6 kat olan yama kalınlığı (z) değişiminin AB hattı üzerindeki ($\tau_{yz} - \Theta$) gerilme dağılım grafiği	79
Şekil 4.39. Tabaka sayıları 2, 4 ve 6 kat olan yama kalınlığı (z) değişiminin AB hattı üzerindeki ($\tau_{xz} - \Theta$) gerilme dağılım grafiği	80
Şekil 4.40. Tabaka sayıları 2, 4 ve 6 kat olan yama kalınlığı (z) değişiminin AB hattı üzerindeki ($\sigma_{eqv} - \Theta$) gerilme dağılım grafiği	80
Şekil 4.41. Boyutları 40x40, 50x40 ve 60x40 mm olan yama genişliği (x) değişiminin BC hattı üzerindeki ($\sigma_x - x$) gerilme dağılım grafiği	82
Şekil 4.42. Boyutları 40x40, 50x40 ve 60x40 mm olan yama genişliği (x) değişiminin BC hattı üzerindeki ($\sigma_y - x$) gerilme dağılım grafiği	83
Şekil 4.43. Boyutları 40x40, 50x40 ve 60x40 mm olan yama genişliği (x) değişiminin BC hattı üzerindeki ($\sigma_z - x$) gerilme dağılım grafiği	83

Şekil 4.44. Boyutları 40x40, 50x40 ve 60x40 mm olan yama genişliği (x) değişiminin BC hattı üzerindeki ($\tau_{xy} - x$) gerilme dağılım grafiği	84
Şekil 4.45. Boyutları 40x40, 50x40 ve 60x40 mm olan yama genişliği (x) değişiminin BC hattı üzerindeki ($\tau_{yz} - x$) gerilme dağılım grafiği	85
Şekil 4.46. Boyutları 40x40, 50x40 ve 60x40 mm olan yama genişliği (x) değişiminin BC hattı üzerindeki ($\tau_{xz} - x$) gerilme dağılım grafiği	85
Şekil 4.47. Boyutları 40x40, 50x40 ve 60x40 mm olan yama genişliği (x) değişiminin BC hattı üzerindeki ($\sigma_{eqv} - x$) gerilme dağılım grafiği	86
Şekil 4.48. Boyutları 40x40, 40x50 ve 40x60 mm olan yama uzunluğu (y) değişiminin BC hattı üzerindeki ($\sigma_x - x$) gerilme dağılım grafiği	87
Şekil 4.49. Boyutları 40x40, 40x50 ve 40x60 mm olan yama uzunluğu (y) değişiminin BC hattı üzerindeki ($\sigma_y - x$) gerilme dağılım grafiği	88
Şekil 4.50. Boyutları 40x40, 40x50 ve 40x60 mm olan yama uzunluğu (y) değişiminin BC hattı üzerindeki ($\sigma_z - x$) gerilme dağılım grafiği	88
Şekil 4.51. Boyutları 40x40, 40x50 ve 40x60 mm olan yama uzunluğu (y) değişiminin BC hattı üzerindeki ($\tau_{xy} - x$) gerilme dağılım grafiği	89
Şekil 4.52. Boyutları 40x40, 40x50 ve 40x60 mm olan yama uzunluğu (y) değişiminin BC hattı üzerindeki ($\tau_{yz} - x$) gerilme dağılım grafiği	90
Şekil 4.53. Boyutları 40x40, 40x50 ve 40x60 mm olan yama uzunluğu (y) değişiminin BC hattı üzerindeki ($\tau_{xz} - x$) gerilme dağılım grafiği	90
Şekil 4.54. Boyutları 40x40, 40x50 ve 40x60 mm olan yama uzunluğu (y) değişiminin BC hattı üzerindeki ($\sigma_{eqv} - x$) gerilme dağılım grafiği	91
Şekil 4.55. Tabaka sayıları 2, 4 ve 6 kat olan yama kalınlığı (z) değişiminin BC hattı üzerindeki ($\sigma_x - x$) gerilme dağılım grafiği	92
Şekil 4.56. Tabaka sayıları 2, 4 ve 6 kat olan yama kalınlığı (z) değişiminin BC hattı üzerindeki ($\sigma_y - x$) gerilme dağılım grafiği	92
Şekil 4.57. Tabaka sayıları 2, 4 ve 6 kat olan yama kalınlığı (z) değişiminin BC hattı üzerindeki ($\sigma_z - x$) gerilme dağılım grafiği	93
Şekil 4.58. Tabaka sayıları 2, 4 ve 6 kat olan yama kalınlığı (z) değişiminin BC hattı üzerindeki ($\tau_{xy} - x$) gerilme dağılım grafiği	94
Şekil 4.59. Tabaka sayıları 2, 4 ve 6 kat olan yama kalınlığı (z) değişiminin BC hattı üzerindeki ($\tau_{yz} - x$) gerilme dağılım grafiği	94
Şekil 4.60. Tabaka sayıları 2, 4 ve 6 kat olan yama kalınlığı (z) değişiminin BC hattı üzerindeki ($\tau_{xz} - x$) gerilme dağılım grafiği	95
Şekil 4.61. Tabaka sayıları 2, 4 ve 6 kat olan yama kalınlığı (z) değişiminin BC hattı üzerindeki ($\sigma_{eqv} - x$) gerilme dağılım grafiği	95
Şekil 4.62. Tabaka sayıları 2, 4 ve 6 kat olan yamaların genişlik (x) artışının hasar yüküne etkisi	97

Şekil 4.63. Tabaka sayıları 2, 4 ve 6 kat olan yamaların uzunluk (y) artışının hasar yüküne etkisi.....	97
Şekil 4.64. Tabaka sayıları 2, 4 ve 6 kat olan yamaların genişlik (x) artışının von mises gerilmelerine etkisi	98
Şekil 4.65. Tabaka sayıları 2, 4 ve 6 kat olan yamaların uzunluk (y) artışının von mises gerilmelerine etkisi	99
Şekil 4.66. Tabaka sayıları 2, 4 ve 6 kat olan yamaların genişlik (x) artışının von mises gerilmelerine etkisi	99
Şekil 4.67. Tabaka sayıları 2, 4 ve 6 kat olan yamaların uzunluk (y) artışının von mises gerilmelerine etkisi	100



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Bazı polimer esaslı malzemelerin camsı duruma geçiş sıcaklığı (T _g)	14
Çizelge 2.2. Bazı malzemelerin elastiklik modülü değerleri.....	31
Çizelge 3.1. Deneyde kullanılan numune ve standartları.....	37
Çizelge 3.2. DP-460 mekanik özellikler	38
Çizelge 3.3. Bir orthotropic malzemenin sabitleri ve tanımları	39
Çizelge 3.4. Kompozit malzemenin 1 tabakasının mekanik özellikleri.....	42
Çizelge 3.5. Numune parametreleri ve değerleri.....	43
Çizelge 3.6. Hasarsız yamasız, hasarlı yamasız, x (genişlik), y (uzunluk) ve z (kalınlık) değişimde görülen mesh (ağ) yapısında kullanılan düğüm (node) ve eleman sayıları .	49
Çizelge 4.1. Bindirme bağlantılarının hasar yükleri ve hasar tipleri	51

1. GİRİŞ

Kompozit malzemelerin ve özellikle fiber takviyeli kompozit malzemelerin, yüksek mukavemet/ağırlık oranları nedeniyle başta uçak yapılarında olmak üzere kullanımı giderek arttığı gözlemlenmektedir. Bu malzemelerin birleştirilmesinde yapıştırma metodu en bilinen yöntemlerdendir. Kompozitlerin yapıştırılmalı bağlantılarının tasarımı ve analizi için etkili metotların geliştirilmesi için son yıllarda sayısız araştırmalar yapılmıştır.

Kompozit malzemeler her geçen gün artarak kullanılmaktadır. Diğer malzemelerle kıyaslandığında yüksek mukavemet, hafiflik ve daha birçok avantajı barındıran bu malzemeler, diğer malzemelerle çeşitli teknikler ile birleştirilebilmektedir. Bu metotlar genelde civatalı, peçinli ve yapıştırılmalı birleştirmelerdir.

Kompozit malzemelerin, kompozit yada metalik malzemelerle birleştirilmesinde yapıştırma teknolojisi çok önemlidir. Fakat bu teknolojinin ilerlemesi ve daha mükemmel bağlantılar elde etmek adına araştırma ve incelemeler devam etmektedir.

Kompozit yapıların sık kullanıldığı uçak yapılarında yorulma ömrü, mekanik ve dinamik titreşimler ve sıcaklık değişimleri gibi birçok nedenlerden dolayı çeşitli hasarlar görülebilmektedir. Bu hasarların tamiri için genelde mekanik ve yapıştırılmalı tamir teknikleri kullanılmaktadır. Hasarlı bir yapıyı değiştirmek aşırı maliyetli ve çoğu zaman mümkün değildir. Özellikle havacılık sektöründe maliyeti çok yüksek yapılar bulunmaktadır. Bu yapılarda yukarıda bahsedildiği gibi çeşitli nedenlerden dolayı oluşabilecek süresizlikleri ortadan kaldırmak için tamir yapılmaktadır.

1.1. Önceki Çalışmalar

ÖZEL K. (2000), Alüminyum-bakır boruların yapıştırma yöntemi ile birleştirilmesi üzerine çalışmışlardır. Deneysel çalışmalarını ısı çevrim ile yaşlanma, rutubet ile yaşlanma, sızıntı deneyi ve çekme deneyidir [1].

RAMJİ M. (2013), optimum kompozit yama şeklini bulabilmek için üç boyutlu sonlu elemanlar metodu geliştirmişlerdir. Yama şekillerini daire, kare, elips, dikdörtgen, dikdörtgensel sekizgen ve uzatılmış sekizgen olarak belirlemişlerdir. Sonuç olarak en iyi performansı uzatılmış sekizgen yamalı malzemelerde gözlemlemişlerdir [2].

SOY U. (2005) bilgisayar destekli modelleme yardımıyla Al 2024-T3 alaşımın plakasının kompozit yama ile yapıştırılmalı tamiri üzerine çalışmışlardır. Deneysel ve nümerik analizlerle çekme ve eğme uygulamalarına maruz bırakılmış ve kıyaslanmıştır [3].

RACHİD M. (2012), yapıştırılmış kompozit ile onarılan uçak yapılarında yama şeklinin verimlilik ve dayanıklılık üzerine etkisini incelemiş ve üç boyutlu sonlu elemanlar metodu geliştirmişlerdir [4].

Lİ H. (2012), savaşlarda hasara uğrayan helikopter kuyruk şaftlarını tamir etmek için kompozit yama tekniğini kullanmışlardır. Sonuç olarak kompozit yamaların bu yapıları tamamıyla tamir ettiğini görmüşlerdir. Ayrıca deneysel ve sayısal yöntemler de birbirine yakınlık göstermiştir [5].

ÇİTİL Ş. (2012), ortası boş ve ara elemanlı çift takviyeli yapıştırma bağlantılarının mekanik özelliklerinin incelenmesi üzerine çalışmışlardır. Deneysel ve nümerik analizlerle çekme testi uygulanmış ve kıyaslama yapılmıştır [6].

ÇİTİL Ş. (2010), kapakları parça içine gömülü çift takviyeli yapıştırma bağlantılarının mekanik özelliklerinin belirlenmesi üzerine çalışılmıştır. Deneysel ve nümerik analizlerle çekme testi uygulanmış ve kıyaslama yapılmıştır [7].

ŞAHİN A. (2011), kompozit metal köpük malzemelerin tek bindirmeli yapıştırma bağlantılarının kesme mukavemetinin incelenmesi üzerine çalışılmıştır. Deneysel çalışma olarak kesme uygulanmış ve köpük-köpük yapıştırma bağlantılarının değerlendirilmesi, köpük-alüminyum yapıştırma bağlantılarının değerlendirilmesi ve alüminyum-alüminyum yapıştırma bağlantılarının değerlendirilmesi yapılmıştır [8].

TEK G. (2011), tek ve çift-tesirli yapıştırma bağlantılarında gerilme analizi üzerine çalışılmıştır. Deneysel ve nümerik analizlerle hasar yüklerinde kıyaslama yapılmıştır [9].

ÖZENÇ M. (2007), yapıştırma bağlantılarının darbe yükleri altındaki davranışlarının incelenmesi üzerine çalışılmışlardır. Deneysel olarak sarkaç testi, ağırlık düşürme testi ve split-hopkinson çubuğu uygulanmış ve yüzey pürüzlülüğünün darbe dayanımına etkisi, yapıştırma kalınlığının darbe dayanımına etkisi, yapıştırılan malzemenin darbe dayanımına etkisi incelenmiştir [10].

GÜL A. (2013), yapıştırma bağlantılı kompozit boruların burkulma analizi üzerine çalışılmıştır. Deneysel ve nümerik analizlerle burkulma testi uygulanmış ve kıyaslama yapılmıştır [11].

ADİN H. (2012), yapıştırıcı ile birleştirilmiş ters z tipi kompozit malzeme bağlantılarının mekanik analizi üzerine çalışılmıştır. Deneysel ve nümerik analizlerle çekme testi uygulanmış ve kıyaslama yapılmıştır [12].

TIN S. (2006), tek bindirmeli yapıştırma bağlantılarının tasarım ve analizi üzerine çalışılmıştır. Tasarımı yapılan malzemelerin gerilme analizi kriterleri ve sonlu elemanlar analizi yapılmıştır [13].

ŞEKERCİOĞLU T. (2001), yapıştırma bağlantılarının dinamik yükler altındaki davranışlarının incelenmesi üzerine çalışılmıştır. Yapıştırma boşluğu, sıkı geçme, malzeme ve yüzey pürüzlülüğünün malzemenin yapışmasına etkisi incelenmiştir [14].

DEMİRCİ İ. (2010), e-cam/epoksi örgülü kompozit plakaların analitik ve deneysel titreşim analizi üzerine çalışılmıştır. Deneysel ve nümerik analizlerle titreşim testi uygulanmış ve kıyaslama yapılmıştır [15].

CANAN F. (2007), açılı yüzey çatlaklı cam epoksi kompozit malzemelerin kırılma davranışları üzerine çalışılmıştır. Deneysel ve nümerik analizlerle çekme ve yanma testi uygulanmış ve kıyaslama yapılmıştır [16].

DİNÇER C. (2013), yüzey çatlaklı tek yönde takviyeli cam epoksi kompozit malzemelerde kırılma davranışlarının incelenmesi üzerine çalışılmıştır. Deneysel ve nümerik analizlerle çekme ve yanma testi uygulanmış ve kıyaslama yapılmıştır [17].

GEZİCİ F. (2014), farklı konumlarda çatlak içeren cam-epoksi kompozitinin kırılma davranışlarının deneysel ve nümerik olarak incelenmesi üzerine çalışılmıştır. Deneysel ve nümerik analizlerle çekme testi uygulanmış ve kırılma tokluları üzerinden kıyaslama yapılmıştır [18].

YILDIZHAN H. (2008), polimer matrisli kompozitlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi üzerine çalışılmıştır. Deneysel analizlerle yorulma, eğilme ve titreşim testleri uygulanmış ve kıyaslama yapılmıştır [19].

ATAGÜR M. (2016), farklı yapıya sahip kil mineralleri ile tpu (termoplastik poliüretan) kullanılarak polimer matrisli kompozit malzeme üretimi ve karakterizasyonu üzerine çalışılmıştır. Deneysel ve nümerik analizlerle çekme testi uygulanmış ve kıyaslama yapılmıştır [20.]

GÜLAKMAN A.(2008), cam/epoksi malzemesinin üretimi, mekanik özelliklerinin tespiti ve ara yüzey kırılma tokluğunun hesaplanması üzerine çalışılmıştır. Deneysel analizlerle üç nokta eğme deneyi, çift ankastre giriş test tekniği, tek çentik kenarlı çekme deneyi ve kompakt çekme deneyi yapılmıştır [21].

ERGÜN R. (2014), eliptik delikli alüminyum levhaların kompozit yama ile tamir edilmesinin gerilme davranışına etkisinin deneysel ve sayısal araştırılması üzerine çalışmışlardır. Deneysel ve nümerik analizlerle çekme testine maruz bırakılmış ve kıyaslanmıştır [22].

SERBEST A. (2013), kauçuk malzeme çiftinin sonradan yapıştırma yöntemi kullanılarak yapıştırma parametrelerinin incelenmesi üzerine çalışmışlardır. Deneysel ve nümerik analizlerle yapışma testine maruz bırakılmış ve kıyaslanmıştır [23].

DOĞAN A. (2014), farklı çevresel koşullara maruz kompozitlerin mekanik davranışları üzerine çalışılmıştır. Mekanik testler ve darbe testleri yapılmış sonuçlar kıyaslanmıştır [24].



2. GENEL BİLGİLER

2.1. Kompozit Malzemeler

İki ya da daha fazla malzemenin bir araya gelmesi ile oluşan mühendislik malzemesine kompozit malzemeler denir.

Kompozit malzemelerin kullanımı uzun yıllara dayanmaktadır. Kompozit malzemelerin ilk ne zaman kullanıldığı insanoğlu tarafından bilinmemektedir. Kompozit malzemelerin kökeni bazı kaynaklara göre Eski Mısır medeniyetine kadar gittiği savunulur. Kontrplak, kartonpiyer ve kerpiç içinde çamurun kuvvetlendirilmesi için saman kullanılmasına kadar örneklerle bu tezler desteklemektedirler. Aynı şekilde Maya ve İnka medeniyetleri de bitki fiberlerini kerpiçlerin ve çömlüklerin güçlendirilmesi için kullanmışlardır. Kılıç ve zırhlar ise dayanım kazandırmak için katmanlı olarak imal edilmişlerdir. Eskimolar ise yosun ile güçlendirilmiş buz kütleleri kullanarak iglolar yapmışlardır. Günümüzde ise özellikle otomotiv endüstrisinde kompozit kullanımı ile ilgili örnekler vermek mümkündür.

Kompozit örneklerine doğada çok defa rastlarız. Bambu ağacı, kemikler ve kaslardaki çok yönlü lifler incelendiğinde kompozit yapılanmalar görülebilir.

Kompozit malzemeler iki ya da daha fazla bileşenden oluşmaktadır. Bunlardan birincisi katı uzun fiberlerden oluşan “fiber” diğeri ise fibere nazaran daha yumuşak yapıda olan ve fiberleri yerinde tutan “matris” olarak tanımlanır. Fiberler genellikle ortotropik (iki farklı yönde farklı özellikleri olan) malzemelerdir. Fiberler boyları genellikle çaplarına nazaran büyük olan ve boy/çap oranı 100 den büyük olan malzemelerdir. Fiberlerin katılık ve dayanımları matristen daha fazladır. Matris malzemesi polimer yapıda, metalik yapıda, seramik yapıda veya karbon olabilir. Fiber ve matris bir araya geldiklerinde her biri kendine has özellikleri ile kompozit malzemenin temel özelliklerini oluştururlar.

2.1.1. Kompozit malzemelerin avantajları ve dezavantajları

Kompozit malzemelerde iki malzemenin en iyi özelliklerinin bir malzemedeki toplanması büyük avantaj sağlar. Bu avantajların bazıları şunlardır.

- Yüksek dayanım
- Yüksek rijitlik
- Yüksek yorulma dayanımı
- Aşınmaya karşı direnç
- Sıcaklık kapasitesi

- Korozyon direnci
- Yüksek ısı iletkenliği
- Düşük ağırlık

İstenilen özellikleri elde edebilmek için, uyumlu matris ve takviye elemanı, üretim tekniği, bileşenlerin mukavemet özellikleri gibi faktörlerde doğru tercihlerde bulunulması gerekir. Matris ve takviye elemanı seçiminin uygun olması kompozit malzemenin mekanik ve fiziksel özellikleri açısından çok önemlidir. Çünkü matris malzemenin mekanik ve fiziksel özellikleri açısından çok önemlidir. Çünkü matris malzemenin mekanik ve fiziksel özellikleri açısından çok önemlidir. Çünkü matris malzemenin mekanik ve fiziksel özellikleri açısından çok önemlidir.

- Üretim zorluğu
- Yüksek maliyet
- İşleme güçlüğü
- Düşük yüzey kalitesi
- Geri dönüşüm yapılamaması
- Kırılma uzamasının azlığı [22].

2.1.2. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması

Kompozit malzemenin yüksek performanslı olabilmesi için matris malzemeler elyafları bağ oluşturabilmeli ve düşük sıcaklık ve basınç değerlerinde hızlıca katılaşabilmelidir. Malzemenin kararlılığı zaman içerisinde bozulmamalıdır.

Matris malzemenin temel fonksiyonları elyafları dağılmadan kuvvetleri elyaflara iletebilmek, elyafları darbeden ve çevre etkilerinden muhafaza etmek ve oluşabilecek çatlakları durdurmaaktır. Matris malzemeler metal, plastik ve seramik olmak üzere üç ana başlık altında incelenebilir [18].

2.1.2.1. Metal matrisli kompozitler

Hafif metaller kompozit malzeme imalatı için gayet uygun matris malzemelerdir. Çünkü elastik modülleri yüksek, tokluk ve mukavemetleri de fazlasıyla iyidir. Ayrıca yüksek sıcaklıklarda daha iyi özellikler sağlar. Korozyona dirençlerinin yüksek oluşu da ayrı bir avantajlarıdır. Sık kullanılan bazı matris malzemeler aşağıda sıralanmıştır [18].

- Alüminyum ve alaşımları
- Magnezyum ve alaşımları

- Çinko ve alaşımları
- Titanyum ve alaşımları

2.1.2.2. Seramik matrisli kompozitler

Seramik matrisler genellikle iyonik veya hem iyonik hem kovalent bağlara sahip olduklarından çok kararlı bir yapıya sahiptirler. Bu yüzden de sert, gevrek ve yüksek sıcaklıklara dayanımları yüksektir. Çekme dayanımları ise çok düşüktür ama basma dayanımları çok yüksektir. Eğer mikro yapısal kusurları azaltacak elyaflar, seramik matrisler ile birleştirilirse daha dayanıklı kompozit malzemelerin üretimi sağlanabilir.

Mühendislikte yaygın olarak kullanılan bazı seramik matrisler aşağıda verilmiştir.

- Silisyum karbür
- Silisyum nitrür
- Alüminyum oksit

Seramik matrisler ile oluşturulan kompozit malzemeler 1200 °C'ye kadar kullanılabilirken, karbon matris içine gömülen karbon elyafları ile oluşturulan kompozit malzemeler 3000 °C'de bile üstün özellikler sağlayabilirler [18].

2.1.2.3. Polimer matrisli kompozitler

Polimerler karbonunun oksijen, hidrojen, organik ve inorganik elementler ile farklı kombinasyonlar yapması ile oluşan ve monomer gruplarının uzun zincirler şeklinde birbirlerine bağlanması sonucunda ortaya çıkan yüksek molekül ağırlığına sahip yapılardır. Polimerlerin meydana gelmesi sırasında bir araya gelen monomerlerin sayısı polimer malzemenin molekül ağırlığını belirler [18].

2.1.3. Polimer matrisli kompozitlerde kullanılan matris çeşitleri

Kompozit malzeme üretiminde kullanılan polimer matrisler:

- Termoplastik matrisler
- Termoset matrisler
- Epoksiler

olmak üzere üç gruba ayırabiliriz.

2.1.3.1. Termoplastik matrisler

Termoplastikler oda sıcaklığında katı malzeme olarak adlandırılırlar. Rijit bir yapıya sahip değillerdir. Isıtıldıkça yumuşayan bu plastiklerin, sıcaklıkları arttıkça da viskoziteleri düşüş gösterir. Bu yüzden termoplastiklerden imal edilen ürünler daha ekonomiktir ve kolayca şekil verilebilmektedir. Termoplastiklerin ara yüzey bağları ise termosetlere göre daha zor olmasına rağmen, kolay şekil verilebildiği için kullanımları daha yaygındır [16].

Termoplastiklerin bazı özellikleri şunlardır:

- Düşük rijitlik
- Düşük çekme dayanımı
- Düşük sertlik
- Yüksek tokluk ve süneklik
- Oda sıcaklığında sünebilme
- Metal ve seramiklere göre düşük yoğunluk
- Yüksek termal uzama katsayıları
- Düşük ergime sıcaklığı
- Yüksek termal iletkenlik
- Yalıtkan elektriksel özellik

Bazı termoplastik çeşitleri aşağıda verilmiştir:

- Asetal
- Akrilik
- Polyamidler
- Polyester
- Polietilen
- Polipropilen [22].

2.1.3.2. Termoset matrisler

Termosetler polimerizasyon metodu ile iki kademedeki üretimi yapılır. Bu tip plastikler tekrar ısıtılarak yumuşatılmazlar. Epoksi ve polyesterler matriks malzemesi olarak yaygın kullanım alanlarına sahip olmuşlardır.

Termosetlerin dayanımları termoplastiklere göre daha yüksek olmakla birlikte yüksek sıcaklıklarda çalışıldığında düşük mekanik özellikler, düşük ısıl genleşme ve düşük iletkenlik göstermektedirler [16].

Bazı termoset çeşitleri aşağıda verilmiştir:

- Epoksi
- Fonelik
- Polyester
- Amino reçineler

2.1.3.3. Epoksi

Avantajları:

- Hemen hemen hiç su emilimi gerçekleştirmez.
- İyi yalıtkanlık ve elektriksel özellikler sağlar.
- Mükemmel boyutsal kararlılıktadır.
- Isıl ve kimyasal direnci çok iyidir.

Dezavantajları:

- Kırılkanlık
- Zayıf UV direnci
- Atmosfer şartlarına karşı dayanımı kötü

Türleri:

- G-10
- FR-4
- G-11
- FR-5

2.1.4. Polimer matrislerde kullanılan elyaf çeşitleri

- Karbon
- Aramid
- Boron
- Bazalt
- Cam

2.1.4.1. Karbon

Karbon, yoğunluğu 2.268 gr/cm³ olan kristal yapıda bir malzemedir. Karbon elyaflar cam elyaflardan daha sonra gelişen ve çok yaygın olarak kullanılan bir elyaf grubudur. Karbon ve grafit aynı hammaddeden elde edilirler, grafit daha yüksek sıcaklıkta elde edilir, bu da daha yüksek saflık sağlar. Karbon lifi ilk defa karbonun çok iyi bir elektrik iletkeni olduğu bilinmesinden dolayı üretilmiştir. Karbon fiber, epoksi matrisler ile birleştirildiğinde olağanüstü dayanıklılık ve sertlik özellikleri gösterir. Üretimi pahalıdır. Yüksek çekme mukavemetine ve 200 - 300 GPa değerinde orta elastik modüle sahip olan elyaflardır. Karbon elyafların en önemli özellikleri yüksek mukavemet ve tokluk değerleridir.

2.1.4.2. Aramid

Aramid "aromatik polyamid" in kısaltılmış adıdır ve iki farklı tip Aramid elyaf mevcuttur. Bunlar Kevlar 29 ve Kevlar 49'dur. Aramidin mekanik özellikleri grafit elyaflarda olduğu gibi elyaf eksenine doğrultusunda çok iyi iken elyaflara dik doğrultuda çok zayıftır. Aramid elyaflar düşük ağırlık, yüksek çekme mukavemeti ve düşük maliyet özelliklerine sahiptir. Darbe direnci yüksektir, gevrekliği grafitin gevrekliğinin yarısı kadardır. Bu nedenle kolay şekil verilebilir. Doğal kimyasallara dirençlidir ancak asit ve alkalilerden etkilenir.

Önemli Özellikleri;

- Genellikle rengi sarıdır
- Düşük yoğunluktadır
- Yüksek dayanıklılık
- Yüksek darbe dayanımı
- Yüksek aşınma dayanımı
- Yüksek yorulma dayanım
- Yüksek kimyasal dayanımı
- Kevlar fiberli kompozitler Cam fiberli kompozitlere göre 35% daha hafiftir
- E Cam türü fiberlere yakın basınç dayanıklılığı

2.1.4.3. Boron

Kendi içlerinde kompozit yapıya sahip olan bor elyaflar çekirdek olarak adlandırılan ince bir flamanın üzerine bor kaplanarak imal edilirler. Çekirdek genellikle

tungstendir. Karbon çekirdek de kullanılabilir ama bu yeni bir uygulamadır. Bor elyaflar yüksek çekme mukavemetine ve elastik modüle sahiptirler. Çekme mukavemetleri 2758 MPa ila 3447 MPa ve elastik modül ise 400 GPa'dır. Bor elyafların Silisyum Karbür (SiC) veya Bor Karbür (B4C) kaplanmasıyla yüksek sıcaklıklara dayanımı artırılabilir. Özellikle bor karbür kaplanması ile çekme mukavemeti önemli ölçüde artırılmaktadır. Bor elyafların erime sıcaklıkları 2040 °C civarındadır.

2.1.4.4. Bazalt

Bazalt, son dönemde lifler ve iplerden oluşan kumaşlar üretmek için kullanılan malzemelerdir. Bazalt kayacın yüksek sıcaklıkta ergitilmesi ile elde edilen bazalt lifler çevre kirliliği oluşturmayan, korozyona dayanıklı, yalıtkan ve elastik yapıda bir üründür. Bazalt kumaş ise inşaat sektöründe benzer ürünler olan karbon ve sentetik lifli kumaşların alternatifi olarak karşımıza çıkmakta, ayrıca yüksek mekanik özellikleri, kimyasal dayanımları, ses ve ısı izolasyon özellikleri ile başta otomotiv sektörü olmak üzere havacılık, savunma sanayi, gemicilik vb. birçok sektörde kullanılmaktadır.

2.1.4.5. Cam

Cam elyaf, elyaf takviyeli kompozitler arasında en bilinen ve en çok kullanılanıdır. Yüksek çekme mukavemetine sahiptirler, birim ağırlık başına mukavemeti çeliğinkinden daha yüksektir. Isıl dirençleri düşüktür. Yanmazlar, ancak yüksek sıcaklıkta yumuşarlar. Bu özellikleri katkı malzemeleri kullanılarak iyileştirilebilir. Kimyasal malzemelere karşı dirençlidirler. Elektriği iletmezler ve bu özellik sayesinde elektriksel yalıtımın önem kazandığı durumlarda cam elyaflı kompozitlerin kullanılmasına imkan tanırırlar.

2.1.5. Cam epoksi kompozitler

Epoksiler iki ya da daha fazla epoksit içeren bileşenlerden meydana gelirler. Polifenol'ün epikloridin ile bazik şartlarda reaksiyonu sonucu oluşurlar. Viskoz ve açık renkli bir sıvı halindedirler. Epoksiler; havacılık, spor, ulaşım, askeri ve deniz araçları elemanları gibi geniş kullanım alanına hitap etmektedir.

Epoksilere uygulanan kür işlemleri ile yüksek sıcaklıklara dayanımları 150-200 °C seviyelerine çıkartılabilir. Saydam ve yapışkan hal amorf polimerlerin karakteristiğidir. Tüm polimerler düşük sıcaklıkta saydamlaşırlar ve yüksek sıcaklıkta kauçuklaşırlar. Geçişin meydana geldiği sıcaklık aralığına "camsı geçiş sıcaklığı" adı verilir. Camsı geçiş sıcaklığı, maksimum çalışabilme sıcaklığının bir ölçüsüdür.

2.1.5.1. Avantaj ve dezavantajları

Avantajları:

- Yüksek aşınma direncine sahiptirler
- Uçucu değildirler ve kimyasal dirençleri yüksektir
- Düşük ve yüksek sıcaklıklarda sertleşebilme özelliğine sahiptirler
- Elyaf yapılarla yüksek bağ mukavemeti sağlarlar

Dezavantajları:

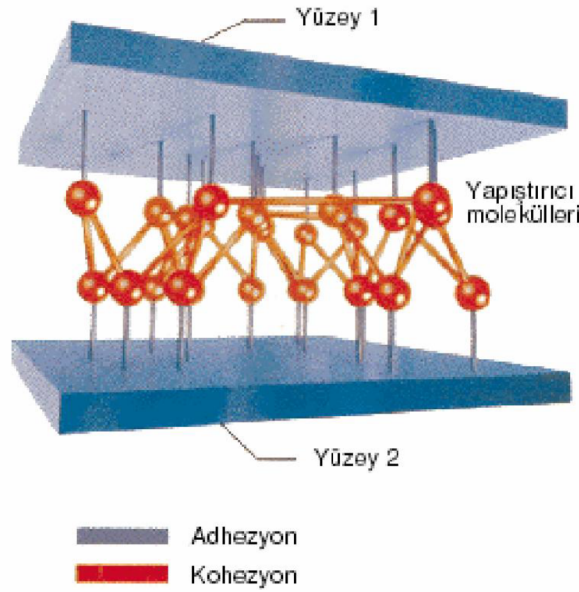
- Polyesterle karşılaştırıldığında pahalıdır
- Polyestere oranla yüksek viskoziteye daha az uygundur

2.1.5.2. Kullanım yerleri

Epoksiler avantajlarının çokluğu ve tüm elyaf malzemelerle kullanılabilir yapılar olmaları nedeniyle, uçak yapısında tabakalı kompozit yapılar olarak yaygın bir kullanım alanına sahiptirler. Genellikle karbon elyaflarla birlikte kullanılırlar.

2.2. Yapıştırma Bağlantıları

Aynı veya farklı malzemeden yapılmış yüzeyler arasında bir çeşit köprü görevi gören yapıştırıcıların, yapışma mekanizması iki ana olaya bağlıdır. Birincisi, yapıştırıcı ile malzeme arasında meydana gelen, kimyasal ve fiziksel olarak gerçekleşen adhezyon olayı ikincisi ise, yapıştırıcının kendi içinde meydana gelen kohezyon olayıdır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Yapıştırma yüzeylerinde oluşan kuvvetler [1]

2.2.1. Adhezyon

Yapıştırılacak olan malzemelerin temas yüzeylerindeki yapışma kuvvetidir. Yapıştırıcı ile yapıştırılacak yüzey arasında oluşur. İki yüzeyin ara yüzey kuvvetleri (valans kuvvetleri) tarafından bir arada tutulmasına denir.

Adhezyon teorileri şunlardır:

- Mekanik kilitlenme teorisi
- Difüzyon teorisi
- Fiziksel adsorbsiyon teorisi
- Elektrostatik teori
- Kimyasal yapışma teorisi
- Zayıf sınır tabaka teorisi [1].

2.2.2. Kohezyon

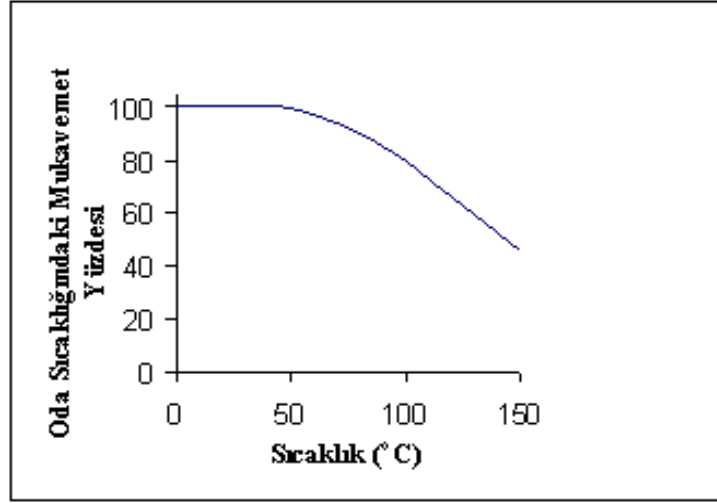
Yapıştırıcının kendi yapısı içerisinde meydana gelir. Yapıştırıcı molekülleri arasında bulunan ve yapıştırıcıyı bir arada tutan kuvvetlerdir. Kohezyona etki eden kuvvetler şunlardır; moleküller arası çekim, fiziksel kuvvetler (Van der Waals kuvvetleri) ve polimer moleküllerinin kendi aralarında kenetlenmesi (kimyasal kuvvetler)'dir.

2.2.3. Yapışmayı Etkileyen Faktörler

Yapıştırıcının kimyasal formülasyonunda yer alan yapıştırmadan sorumlu polimerik maddeler, bazı fiziki ve kimyasal faktörlerin etkisiyle yapışma sağlamaktadır. Aşağıda yapışmayı etkileyen faktörlerden en önemlileri yer almaktadır. Yapışmanın gerçekleşmesinde faktörlerden biri veya birden fazlası etkili olabilmektedir.

2.2.3.1. Sıcaklık

Sıcaklık, molekül zincirlerini oluşturan ünitelerin dönme hareketlerini etkiler. Sıcaklığın artmasıyla bu hareket hızlanır, molekül zincirleri arasındaki kimyasal bağ kuvvetleri zayıflar ve zincirler birbirlerine göre daha bağımsız hale gelir. Sıcaklığın azalması ile ünitelerin dönme hareketli yavaşlar ve belirli bir sıcaklıkta durur, sadece atomların kendi konumları etrafındaki titreşim hareketi kalır. Bu sıcaklığa camsı duruma geçiş sıcaklığı (T_g) denir. Yapıştırıcılar polimer esaslı malzeme oldukları için belirli bir geçiş sıcaklığına sahiptirler. Bu sıcaklık değerleri üzerinde mukavemet değerleri düşer [9].



Şekil 2.2 Loctite 638 anaerobik yapıştırıcıda sıcaklığın mukavemete etkisi [9]

Camsı geçiş sıcaklığının altında, yapıştırıcı camsı hal denilen rijit, sert ve gevrek durumda bulunur.

Çizelge 2.1 Bazı polimer esaslı malzemelerin camsı duruma geçiş sıcaklığı (T_g) [9]

Polimer Grubu	Polimer Adı	T_g (°C)
Kauçuk	Doğal Kauçuk	-75
	Neopran Kauçuk	-50
	Silikon Kauçuk	-127
Akrilik	Polimetilmetakrilat	105
	Polietilmetakrilat	65
	Poli-n-propilmetakrilat	35
	Polimetakrilat Asit	228
Epoksi	Di-1-Aminopropil-3-Etoksi Eter	67
	Trietil tetramin	99
	1,3-Diaminobenzen	161
	4,4-Diaminodipenilmetan	119

Sıcaklığın yapıştırıcıya etkileri:

- Sıvı halde olan yapıştırıcının viskozitesini düşürür
- Yapıştırıcının içinde bulunan çözücü maddenin buharlaşarak sistemden ayrılmasını sağlar
- Termosetlerde olduğu gibi reçinenin pişmesini ve yapıştırmasını sağlar
- Çözücü içermeyen katı halde olan yapıştırıcıyı eriterek yüzeye yayılmasını sağlar
- Çalışma sıcaklığı artarsa (80°C-120°C) mukavemet düşer. Yeni nesil yapıştırıcılarla sınır çalışma sıcaklığı değeri 450°C' ye kadar çıkmıştır

Avantajlar:

- Yapıştırıcıların esnekliği, genellikle ısı genleşme farklılıklarını giderir ve titreşim yorulması direncini iyileştirir
- Yapıştırıcılar daha düzgün bir gerilme dağılımı sağlar ve vidalamak için açılan delikler veya diğer mekanik bağlama elemanları nedeniyle oluşan gerilme yoğunluğunun giderilmesine izin verir
- İlaveten yapıştırma bağlantısı adımları, kolaylıkla otomatik hale getirilebilir ve diğer üretim aşamalarıyla birleştirilebilir

Dezavantajları:

- İstenilmeyen çevre koşullarında yapıştırıcıların mukavemeti potansiyel bir dezavantajdır.
- Yapıştırıcılar, düşük sıcaklık profili ile sınırlıdır, özellikle limitlerine yakın sıcaklıklarda kullanıldıklarında zamanla etkileri düşer [9].

2.2.3.2. Basınç

Basınç da sıcaklık gibi kurlenme sürecine ve kurlenme sonrası mekanik özellikleri doğrudan etkiler. Kurlenmenin gerçekleştiği ortamın basıncının birleştirmenin mekanik performansına etkisini incelemek üzere çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Şerit levhalar ile yapılan çalışma sonrasında kurlenme ortamındaki basıncın artması ile birleştirme mukavemetinde artma meydana geldiği gözlemlenmiştir [1].

Yapıştırma birleştirmeleri ile gerçekleştirilen çalışmada ise kurlenmenin tamamlandığı ortam basıncının artmasıyla, birleştirmenin dayanım değerlerinin düştüğü kaydedilmiştir

2.2.3.3. Zaman

Yapıştırıcının kuruyarak, pişerek etkin hale gelmesi için birkaç saniyeden birkaç güne varan bir sürenin geçmesi gerekir. Geçen süre yapıştırıcının etkin olma süresidir. Bu sürenin uzaması ve kısalması basınç ve sıcaklıkla ayarlanabilir [12].

2.2.3.4. Katalizör

Bazı yapıştırıcılarda reaksiyonunu artırıcı, başlatıcı ve hızlandırıcı maddelerin formülünde olması gerekir. Bu maksatla kullanılan kimyasal maddelerin her biri değişik sıcaklıkta etkinliklerini göstererek yapışmayı sağlarlar. Tek ve iki bileşenli yapıştırıcılarda

da termoset ve elastomerik yapıştırıcı türlerinde olduğu gibi katalizörler büyük önem taşımaktadırlar [12].

2.2.3.5. Vulkanizasyon

Bazı elastomerik yapıştırıcılar yapışmayı sağlayabilmeleri için kükürt veya daha başka kimyasal maddelerin yardımıyla vulkanize olarak sertleşirler. İki bileşenli yapıştırıcılar ve kullanılan vulkanizasyon öğeleri sıcaklıkla aktifleşerek etkinliklerini meydana çıkartırlar [12].

2.2.3.6. Çözücü

Su ve organik esaslı çözücüler kullanılarak hazırlanan yapıştırıcılar, yapışmayı, ortamdaki çözücü maddenin oda sıcaklığında veya yüksek sıcaklıkta buharlaşarak ayrılmasını sağlar [12].

2.2.3.7. Oksijen, rutubet ve nem

Bazı yapıştırıcılar etkinliklerini ortamda oksijenin olmadığı zaman gösterirler ve oksijensiz ortamlarda yapışırlar. Oksijenin bulunduğu ortamda bozulmadan uzun süre saklanabilirler [12].

Poliüretan, siyanoakrilat ve silikon türü yapıştırıcılar havada bulunan rutubet veya tatbik edildikleri yerdeki su ve rutubet vasıtasıyla reaksiyona girerler ve yapışmayı sağlarlar [12].

Su, sıvı veya buhar halde iken tüm yapıştırma bağlantıları için tehlikelidir. Su, yapıştırıcıların kullanımını sınırlandıran ve çevresel kararlılığı zorlaştıran önemli bir etkidir. Nem yapıştırma birleştirmesine temelde iki şekilde olumsuz etki doğurmaktadır [1].

a. Yapıştırıcının kendisinde meydana getirdiği bozulma

b. Yüzey ile yapıştırıcı arasına girerek meydana getirdiği bozulma

Su, yapıştırıcının yapısına nüfuz ederek özelliklerini değiştirir. Yapıştırma ara yüzeyinde su bulunması ise daha büyük bir sorundur. Su, her ortamda bulunabilmesi ve sahip olduğu özellikler sebebiyle sorun teşkil etmektedir. Ayrıca yüzey gerilimi yüksek olduğu için, yapıştırıcı ile metal yüzey arasındaki van der Waals kuvvetlerinin azalmasına sebep olarak yapışma kuvvetini azaltıcı etki gösterir. İç bozulma olarak tanımlanan, yapıştırıcının kendisinin zamana bağlı olarak nemden olumsuz etkilenmesi, yapıştırıcının bünyesine su alması (emmesi) ile gerçekleşir [1].

Yapıştırıcılar su alma hızlarına ve miktarlarına bağlı olarak değişik seviyelerde bozulurlar. Su alma hızları ise bir takım sabitler ve katsayılar ile belirlenmektedir.

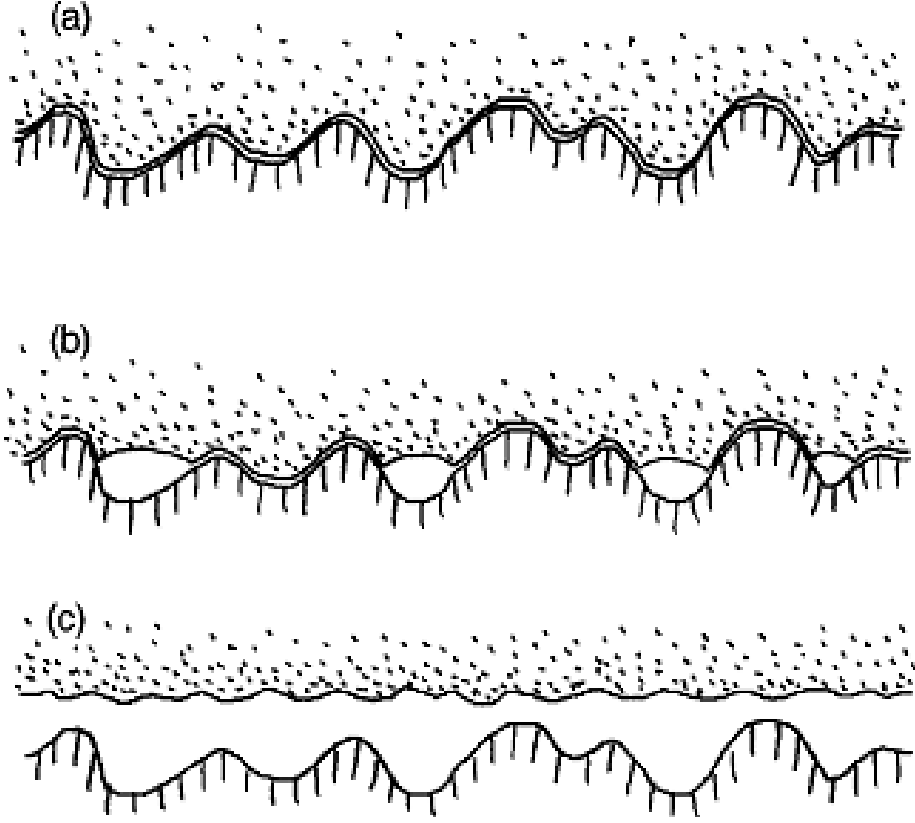
Yaşlanma Koşulları	Alınan Su Miktarı (%)	Çekme Dayanımı (MPa)	Kopmadaki Uzama (%)	Hasar Biçimi
Başlangıç	0	73	5	Gevrek
3 ay, %65 Bağlı Nem	2,9	52	263	Sünek
5 gün, 50°C'de Su	9,4	19	260	Lastiksi

Şekil 2.3 Suyun yapıştırıcının mekanik özelliklerine etkisi [1]

2.2.3.8. Metal yüzeyleri

Yapıştırıcıların bağlantı mukavemeti, birleştirilen parçaların yüzey pürüzlülüğüne bağlıdır. Birleştirilen parçaların yüzey bitirme veya yüzey alıştırma işlemleri, iyi bir yapıştırma sağlanması için çok önemlidir. Bağlantı mukavemetinin yüzey bitirme işleminden etkilendiği belirlenmiştir. Yapıştırmanın durumunu kontrol eden önemli parametrelerden biri yüzey pürüzlülüğüdür [9].

Çok iyi bir şekilde cilalanmış yüzeylerde dahi, çok farklı uzunluk doğrultuları üzerinde yüzey pürüzlülüğü vardır. İki parça tamamen düz yüzeylerinden birleştirildiğinde, görünen temas alanı gerçek temas alanı yanında çok küçüktür. Gerçek temas alanı, katı parçaların birbiri üzerine bastırılması ve yüzeyler arasındaki yapıştırma etkileşimine bağlıdır [9].



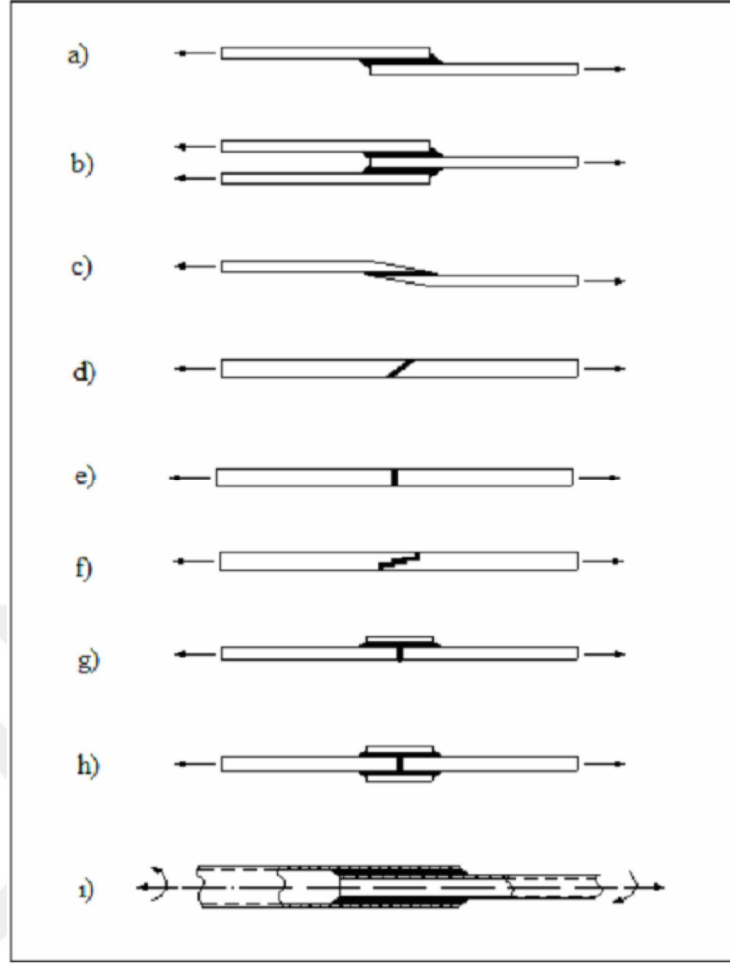
Şekil 2.4. Elastik bir katı (noktalanmış bölge) ile sert pürüzlü bir katı tabaka arasındaki temas [9]

2.2.3.9. Ultraviyole Işınlarda

Son zamanlarda geliştirilen bazı yapıştırıcılar ultraviyole ışıklardan etkilenerek yapışmayı sağlamaktadırlar. Tek bileşenli bazı akrilik türü yapıştırıcılar ultraviyole ışınları ile kurlaşmaktadır [10].

2.2.4. Yapıştırma Geometrileri

Yapıştırma bağlantıları çekme, basma, kayma, soyulma veya bu yüklerin kombinasyonları şeklinde yüklenebilir. Yapıştırma bağlantısından en iyi performansı elde etmek için, bağlantının maruz kalacağı yük durumları tespit edilerek, tasarımda yapıştırma geometrisi buna uygun seçilmelidir. Yapıştırma bağlantı geometrileri (Şekil 2.5)'de verilmiştir [8].



Şekil 2.5 Yapıştırma bağlantısı geometrileri [8]

- | | |
|-------------------------------------|---|
| 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 altına bağlantı | |

2.2.5. Yapıştırıcı Çeşitleri

Yapıştırıcılar genellikle üretici firmaların verdikleri isimler ile bilinirler. Bunun haricinde yapıştırıcılar genel olarak aşağıda gösterildiği gibi gruplandırılabilirler [8].

2.2.5.1. Kürleşme mekanizmalarına göre yapıştırıcılar

2.2.5.1.1. Anerobik reaksiyonla kürleşen yapıştırıcılar

Anaerobik yapıştırıcılar, oksijenle temasları kesildiğinde oda sıcaklığında kürleşen tek-bileşenli malzemelerdir. Sıvı haldeki yapıştırıcının içinde bulunan kürleştirici bileşen,

havadaki oksijenle temasta olduğu sürece etkisiz kalır. Eğer yapıştırıcının oksijen ile teması kesilirse, örneğin yapıştırılacak yüzeyler arasında hapsolduğunda, kürleşme hızla gerçekleşir. Aynı zamanda yapıştırıcının metalle teması olması durumunda kürleşme daha da hızlanır [8].

Anaerobik reaksiyon ile kürleşen yapıştırıcıların genel özellikleri şunlardır:

- Çok yüksek kesme mukavemeti
- Yüksek sıcaklık dayanımı (-55 °C ile +230 °C)
- Hızlı kürleşme
- Tek bileşenli olmaları nedeniyle otomatik makinalarla tatbik kolaylığı
- Yapıştırma için parça yüzeylerinin parlatılması gerekmez, 8-40 µm. (Ra) arası yüzey pürüzlüğü kabul edilebilir
- Yapıştırmanın yanında sızdırmazlık ve mükemmel kimyasal dayanım,
- Yüksek titreşim mukavemeti
- Yüksek dinamik yük mukavemeti [8].

2.2.5.1.2. Ultraviyole (UV) ışığı ile kürleşen yapıştırıcılar

Bu yapıştırıcılar ultraviyole (UV) ışığı ile kürleşirler ve kürleşme süresi UV ışığının şiddetine ve dalga boyuna bağlıdır. Polimerizasyon UV ışığı tarafından başlatıldığından uygun ışık kaynağı ve yöntemin doğru uygulanması önemlidir.

UV ışığı ile kürleşen yapıştırıcıların genel özellikleri şunlardır:

- Yüksek kesme mukavemeti
- Yüksek boşluk doldurma kabiliyeti
- Kısa ilk kürleşme süresi
- Ortam şartlarına karşı dayanımının iyi olması
- Tek bileşenli oldukları için otomatik tatbik sistemlerine uygunluk [8].

2.2.5.1.3. Aniyonik reaksiyonla kürleşen yapıştırıcılar (siyanoakrilatlar)

Tek bileşenli siyanoakrilat yapıştırıcılar, düşük alkalın özellik gösteren yüzeyler ile temas ettiklerinde kürleşirler. Genellikle havadaki ve yapıştırılacak yüzeydeki ortam nemi, kürleşmeyi birkaç saniye içinde başlatmak için yeterlidir. En hızlı ilk kürleşmeyi elde etmek için yapıştırılacak yüzeyler arasında boşluk olmaması gerekir. Çalışma ortamında, oda sıcaklığında %40 ila %60 bağıl nem bulunması halinde en iyi netice elde edilir. Düşük nem kürleşmeyi yavaşlatır, yüksek nem ise hızlandırır fakat yapıştırıcının tutma kuvvetini olumsuz etkiler.

Siyanoakrilat yapıştırıcıların genel özellikleri şunlardır:

- Çok yüksek kesme ve çekme mukavemeti,
- Yüksek kürleşme hızı,
- Çeşitli malzemelerin yapıştırılabilmesi,
- Yaşlanmaya dayanıklılık [8].

2.2.5.1.4. Aktivatör ile kürleşen yapıştırıcılar (modifiye akrilikler)

Bu yapıştırıcılar oda sıcaklığında aktivatör ile kürleşir. Yapıştırıcının türüne göre, yapıştırıcı ve aktivatör yapıştırılacak yüzeylere ayrı ayrı uygulanabilir veya uygulamadan hemen önce karıştırılabilirler.

Modifiye akrilik yapıştırıcıların genel özellikleri şunlardır:

- Çok yüksek kesme ve çekme mukavemeti
- Yüksek darbe mukavemeti
- Geniş çalışma sıcaklık aralığı (-55 °C ile +120 °C)
- Çeşitli malzemelerin yapıştırılabilmesi
- Yüksek boşluk doldurma kabiliyeti
- Ortam şartlarına karşın dayanımının iyi olması [8].

2.2.5.1.5. Ortam nemi ile kürleşen yapıştırıcılar

Bu yapıştırıcı ürünleri genellikle ortam nemi ile reaksiyonu içeren bir reaksiyonu ile kürleşirler.

Bu gruba giren iki tip genel kimyasal vardır:

- Silikonlar
- Poliüretanlar

Ortam nemi ile kürleşen yapıştırıcıların genel özellikleri şunlardır:

- Mükemmel dayanıklılık
- Esneklik, yüksek uzama yeteneği
- Mükemmel boşluk doldurma kapasitesi [8].

2.2.5.1.6. Isı ile kürleşen yapıştırıcılar

Isı ile kürleşen yapıştırıcılar genellikle tek bileşenli yapıştırıcılardır. Bu yapıştırıcılara verilebilecek en genel örnek, epoksilerdir. Kürleşme sıcaklığı yapıştırıcıya göre değişir, minimum kürleşme sıcaklığı 100 °C'dir. Kürleşme süresi kürleşme sıcaklığına bağlıdır ve kürleşme sıcaklığı yükseldikçe süre kısalır. Yalnızca ısı ile kürleşen

yapıştırıcıların yanında, ısıyı ilave kürleşme yöntemi olarak kullanan başka yapıştırıcılar da vardır. Anaerobik yapıştırıcılar da yaklaşık 120 °C' de ısı ile kürleştirilebilir. Isı ile kürleşen yapıştırıcıların özellikleri yapıştırıcının kimyasal yapısı ile ilgilidir ve farklılıklar gösterebilirler.

Isı ile kürleşen epoksilerin genel özellikleri şunlardır :

- Orta ile yüksek seviyede kesme dayanımı
- Birçok yüzeye iyi yapışma
- İyi boşluk doldurma kapasitesi
- Ortam şartlarına karşı yüksek dayanım [8].

2.2.5.2. Formları açısından yapıştırıcılar

Yapıştırıcılar uygulamadan önce çok çeşitli formlarda olabilirler. Formları açısından yapıştırıcılar:

- Macun tipi
- Film tipi
- Düşük viskoziteli
- Reçine tipi
- Köpük tipi

yapıştırıcılar olarak gruplandırılabilir [8].

2.2.5.3. Yapısal ve yapısal olmayan yapıştırıcılar

Yapısal ve yapısal olmayan yapıştırma işlemi olarak, iki temel yapıştırıcı ile birleştirme tipi vardır. Yapısal yapıştırma, tasarım sınırları içinde yapının sürekliliğini kaybetmeden yük taşıyabilen yapıştırıcı ile birleştirme sistemidir. Yapısal yapıştırıcılar, yük taşıyabilen yapıştırıcılardır. Birleştirilecek elemanlara dayanım katarlar. Bu yapıştırıcılar uzay sanayi, otomotiv endüstrisi, gemicilik vb. birçok alanda kullanılmaktadır.

Yapısal yapıştırıcılardan önemli olanlar:

- Epoksiler,
- Akrilikler,
- Metakrilatlar

2.2.5.3.1. Epoksiler

Epoksi yapıştırıcılar termoset (sıcakta sertleşen) reçinelerdir. Reçine ve sertleştiriciden oluşan iki bileşenli sistemler karıştırma sonrası sertleşir. Tek bileşenli epoksilerde bu iki bileşen karıştırılır ve sertleştirmek için sadece ısıtılır.

Epoksi reçineleri tek başlarına kullanılmazlar, formülasyona katılan başka maddelerle polimerize olarak veya çapraz bağlanarak değişik özelliklere sahip termoset yapıda plastik madde oluştururlar. Epoksi reçinesinden yapılan yapıştırıcılar, metallere, ahşap, cam ve seramiğe kolayca yapışırlar. Çok asidik bir ortam olmadıkça, kimyasal olarak değişik şartlara karşı oldukça dayanıklılık gösterirler [8].

Diğer yapıştırıcılarla karşılaştırıldığında epoksiler, mükemmel sürünme özellikleri ve yüksek kesme (makaslama) dayanımlı birleştirmeler oluşturur. Soyulma ve darbe dayanımı nispeten düşüktür ancak sertleştirici olarak adlandırılan yapıştırıcıların kullanımı ile bu özellikleri iyileştirilebilir. Çalışma sıcaklıkları genelde iki bileşenli yapıştırıcılarda -50 °C ile +80 °C arası, tek bileşenli epoksilerde ise -50 °C ile +120 °C arasındır.

2.2.5.3.2. Akrilikler

Bu yapıştırıcılar genellikle daha kirli ve daha az yüzey hazırlığını tolere edebilecek kimyasal içeriğe sahiptirler. Kayma dayanımları epoksiler kadar iyidir. Soyulma ve darbe dayanımları iyidir. Esnek bağlantı oluştururlar. Akrilikler iki bileşenli yapıştırıcılardır ve her yüzeye bir bileşen uygulanır. Yüzeylerin birleştirilmesinden hemen birkaç dakika sonra tutunma dayanımı sağlanır. İşlem oda sıcaklığında uygulanabilir [8].

2.2.5.3.3. Metakrilatlar

Geniş sıcaklık aralığında şoka, gerilmelere ve darbelere dirençli, yüksek çekme, kesme ve sıyrılıp ayrılma dayanımlarını çok iyi bir şekilde dengelemek için metakrilat yapıştırıcılar kullanılmaktadır. Metakrilat yapıştırıcılar, plastikler, metaller ve kompozit malzemeler birleştirilirken yüzey hazırlamaksızın kullanılabilirler. Suyu dirençlidirler ve sağlam bir birleştirme oluştururlar [8].

2.2.6. Yapıştırma bağlantılarının avantaj ve dezavantajları

Yapıştırma bağlantılarının avantajları:

- Lehim ve kaynak gibi ısı açığa çıkan birleştirme yöntemlerinde esas malzemede ortaya çıkan (malzemenin molekül yapısının değişimi, çatlak, gerilme, vb.) hasarlar yoktur

- Esas malzemelerde özellik değişimi olmaz
- Değişik ve karmaşık geometrili parçalar birleştirilebilir
- Cıvata, perçin, kaynak gibi birleştirme yöntemlerine göre bağlantının görüntüsü iyidir
- Diğer birleştirme yöntemlerine nazaran bağlantıda düzgün bir gerilme dağılımı vardır
- Hassas bağlantılar yapılabilir
- Gerekli durumlarda malzemelere hasar verilmeden demontaj yapılabilir
- Farklı malzemeler birleştirilebilir (metal, cam, ahşap, vb.)
- Değişik kalınlıklara sahip malzemeler birleştirilebilir
- Isı ve elektrik iletkenliğine karşı yapıştırma bağlantısı yalıtkan olarak kullanılabilir
- Sızdırmazlık elemanı olarak kullanılabilir
- Diğer birleştirme yöntemlerine nazaran uygulaması kolay ve maliyeti azdır
- Yapıya daha düşük ağırlık getirir
- Dayanım / ağırlık oranı iyidir
- Darbe ve titreşim sönümlenme yeteneği vardır
- Yorulmaya ve tekrarlı yüklere karşı dayanımı iyidir

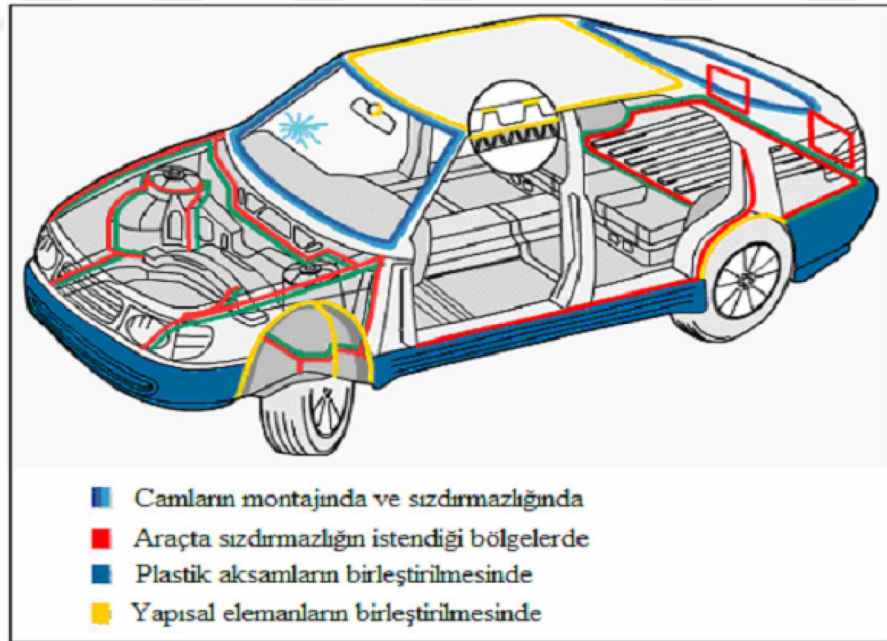
Yapıştırma bağlantılarının dezavantajları:

- Yapıştırma esnasında yapıştırma yüzeyleri tam olarak yapıştırıcı ile kaplanamaz ise birleştirmenin mukavemeti azalır
- Kimyasal ve nemli ortamlara karşı hassas olan yapıştırıcılar böyle ortamlarda kullanılır ise birleştirme mukavemeti uzun süre korunamaz
- Bazı yapıştırıcılar sürekli yüklemeye durumunda sürünme gösterebilirler
- Bazı yapıştırıcıların kürlenme süreleri uzun olduğu için optimum birleşme hemen gerçekleşmez
- Bazı durumlarda yapıştırma öncesi iyi bir yüzey hazırlığı gerektirmesi ekstra zaman, maliyet ve işgücü kaybı oluşturur
- Yapıştırıcıların mukavemeti sıcaklığa bağlıdır
- Çalışma şartlarında yapıştırma bağlantısının mukavemetini ne kadar koruyacağı tam olarak bilinemez
- Bazı yapıştırıcıların uygulaması sağlık için zararlı olabilir, gerekli koruyucu tedbirler alınmalıdır [22].

2.2.7. Yapıştırıcıların kullanım alanları

Yapıştırıcıların özelliklerindeki gelişmeler ile birlikte kullanım alanları giderek artmaktadır. Yapıştırma işleminde metal malzemelerde kaynak, lehim gibi birleştirme yöntemlerine nazaran, malzemelerin ısıya maruz kalması nedeniyle meydana gelen kusurlar (molekül yapısındaki değişimler, gerilme yığılmaları, mukavemet azalması, çekmeler ve çarpılmalar gibi) oluşmaz ve düşük işletme maliyetleri gibi önemli avantajları vardır. Ayrıca yapıştırma bağlantılarında birleştirilen geometri için sınırlama yoktur, uygulanmaları kolaydır. Yapıştırma bağlantılarının otomotiv endüstrisinde, uzay ve uçak sanayinde, petek yapıların oluşturulmasında, farklı iki malzemenin birleştirilmesinde kullanılmaları gün geçtikçe artmaktadır. Yapıştırıcılar ayrıca elektronik sanayinde, demiryolu ve deniz araçlarının yapımında da kullanılmaktadır [22].

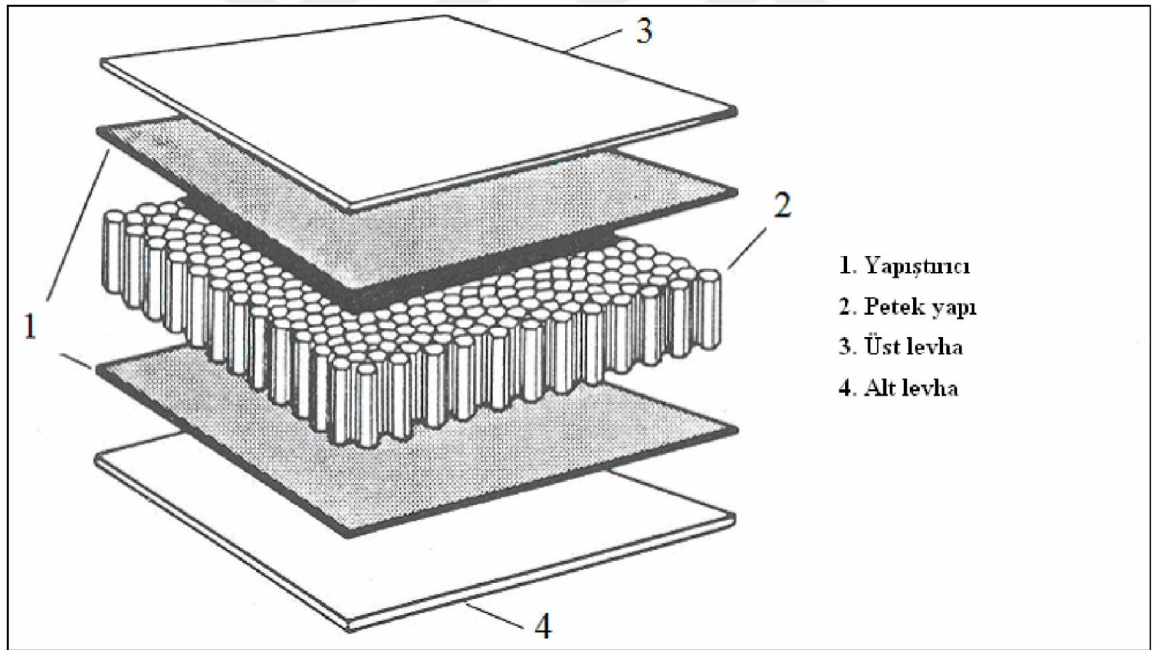
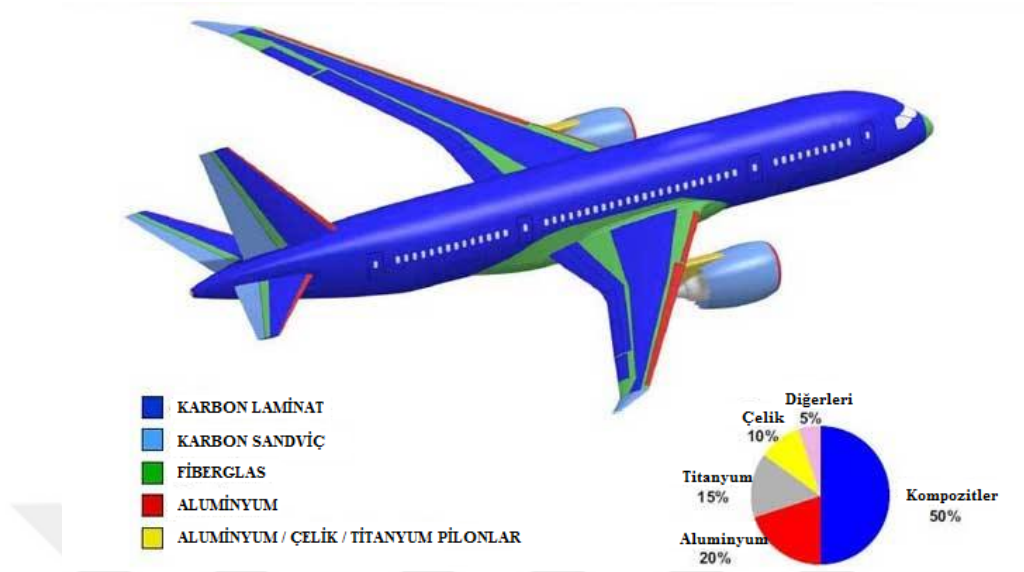
Otomotiv endüstrisinde yapıştırıcıların oldukça geniş kullanım alanları bulunmaktadır (Şekil 2.6). Mil göbek bağlantılarının emniyete alınmasında, rulmanlı yatakların montaj işlemlerinde, motor bloğu-kapak sızdırmazlıklarının sağlanmasında sıvı conta olarak, kapı panellerinin oluşturulmasında ve birçok cam, plastik parçaların birleştirilmesinde yapıştırıcılar kullanılmaktadır [8].



Şekil 2.6. Otomotivde yapıştırıcı kullanımı [9]

Uçakların gövdelerinde ve kanatlarında büyük miktarda yapıştırıcı kullanılmaktadır (Şekil 2.7). Uçak gövdelerinde kullanılan sandviç yapı da yapıştırıcı kullanılarak üretilir.

Sandviç yapıyı petek yapıya birleştirilen levhalar (genellikle alüminyum) yapıştırıcı ile birleştirilmektedir (Şekil 2.8).



2.2.8. Yapıştırma bağlantılarında oluşan hasar tipleri

Yapıştırma bağlantılarının veya yapıştırıcı mekanik özelliklerinin net olarak bilinmesi için farklı yükleme koşullarında oluşacak hasar tipleri belirlenmelidir.

Yapıştırma bağlantılarında genellikle iki tip hasar oluşur.

Adhezyon hasarı; yapıştırıcı ve yapıştırılan malzemenin ara yüzeyinde ayrılma oluşur ve bağlantı kopar.

Kohezyon hasarı; yapıştırıcı veya yapıştırılan malzemede gözle görülecek hasar oluşur ve bağlantı kopar [22].

2.3. Çekme Deneyi

Çekme deneyi, sabit sıcaklıkta malzemenin mekanik özelliklerinin belirlenmesi ve mekanik davranışlarına göre sınıflandırılması için yapılır. Çekme deneyinin yapılışı çeşitli standart ve kaynaklarda ayrıntılı biçimde verilmiştir. Bu kaynaklarda da belirtildiği gibi, çekme deneyi ilgili standartlara göre hazırlanan deney numunelerinin tek eksen ve sabit bir hızla koparılmaya kadar çekilmesi işlemidir.

Türk standartlarında TS138 A, B, C, D, E, F olmak üzere altı numune tipi bulunur. Numune tipi büyük ölçüde malzemenin biçimine göre seçilir.

2.3.1. Yapılışı

- Deney numunesi iki uçundan çenelere yerleştirilir.
- Numunedeki esnekliği gidermek için 2-5 N civarı ön yük uygulanır.
- Numunenin ilk ölçü boyu (gauge length) ve çapı kumpasla ölçülüp kaydedilir.
- Çekme hızı istenen değere ayarlanır. (Genellikle 10 mm/dakika)
- Gösterge ekranından okunan kuvvet ve uzama değerleri sıfırlanır.
- Deney başlatılır ve numune kopuncaya kadar kuvvet-uzama değerleri kaydedilir.
- Deney numunesi koptuktan sonra tekrar bir araya getirilerek, kopma uzunluğu ve kesit çapı kumpasla tekrar ölçülür ve ekstansiyometrenin aldığı değer teyit edilir.
- Çekme diyagramı çizilir ve deney yorumlanır.

2.3.2. Deneyde kullanılan cihaz ve standartlar

Düzenek, genel olarak, elektrik motoru , redüktör , deney numunesini tutmayı sağlayan üst çene ve alt çeneden ibarettir. Alt çene sabit (hareketsiz); üst çene ise yukarı/aşağı hareket edebilmektedir. Üst çenenin hareketi, sağ ve sol tarafta düşey konumlu simetrik iki adet sonsuz vida mekanizması ile sağlanır. Bu hareket, elektrik motoru ile tahrik edilen dişli redüktörden vida mekanizmasına iletilen döndürme momenti ile gerçekleşir. Alt çene sabit olduğundan, üst çenenin yukarı hareketi ile çekme kuvveti,

deney numunesine tatbik edilir. Deney esnasında, kuvvet değeri, yk hücresinden (load cell); uzama değeri ise; üst çenenin hareketini sağlayan vidanın adımına (hatve) göre ölçülür. Deney sırasında çekme numunesine sürekli olarak artan çekme kuvveti uygulanır ve kırılma anına kadar hem uygulanan kuvvet hem de numunede meydana gelen uzama, bilgisayara kaydedilir. Şekil 2.9'da çekme deney düzeneği verilmiştir.

Düzenek genel olarak :

- 1-Elektrik motoru
- 2-Redüktör
- 3-Üst ene
- 4-Alt ene
- 5-Sonsuz vida mekanizması

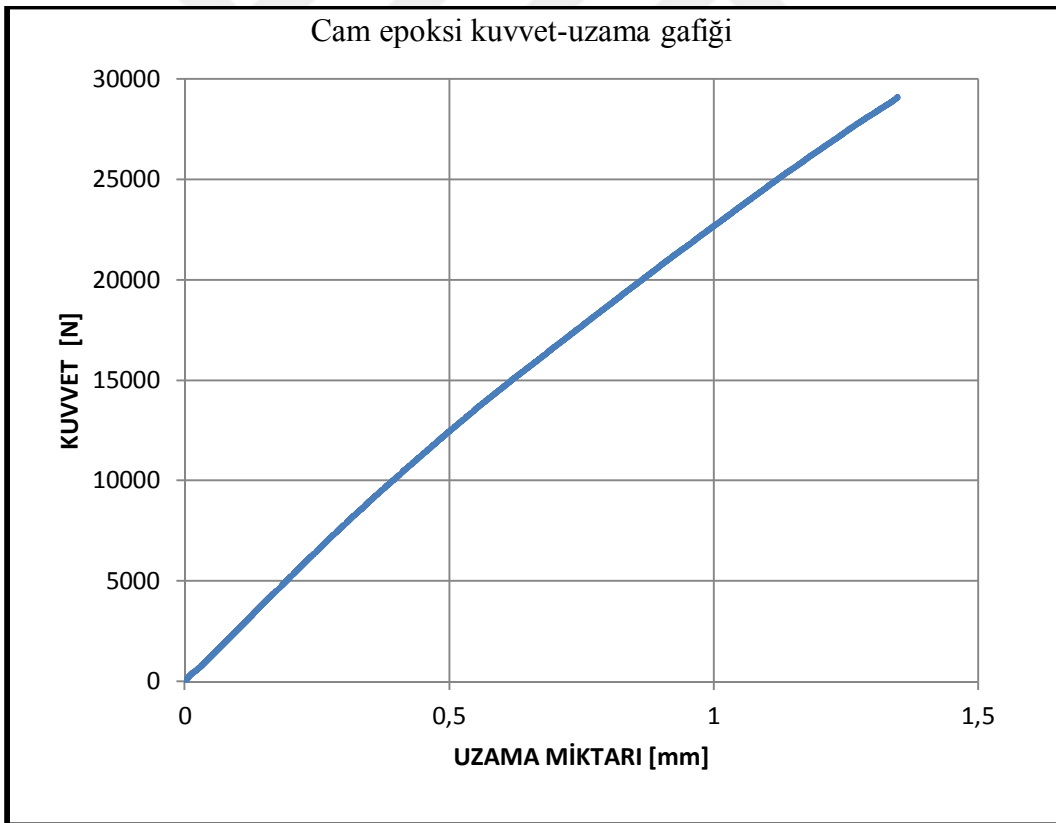


Şekil 2.9. ZWICK test cihazı

2.3.3. Deneyde elde edilen bilgiler

- Kuvvet–uzama grafiği
- Mühendislik gerilme-uzama grafiği
- Gerçek gerilme-uzama grafiği
- Elastisite modülü ve rijitlik
- Akma dayanımı
- Orantı sınırı
- Çekme dayanımı
- Kopma dayanımı
- Tokluk
- Rezilyans
- Süneklik

2.3.3.1. Kuvvet–uzama grafiği



Şekil 2.10. Hasarsız cam epoksi kuvvet-uzama grafiği

2.3.3.2. Gerilme (σ)

Birim alana etkiyen yük anlamına gelir ve aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$\sigma = \frac{P}{A_0}$$

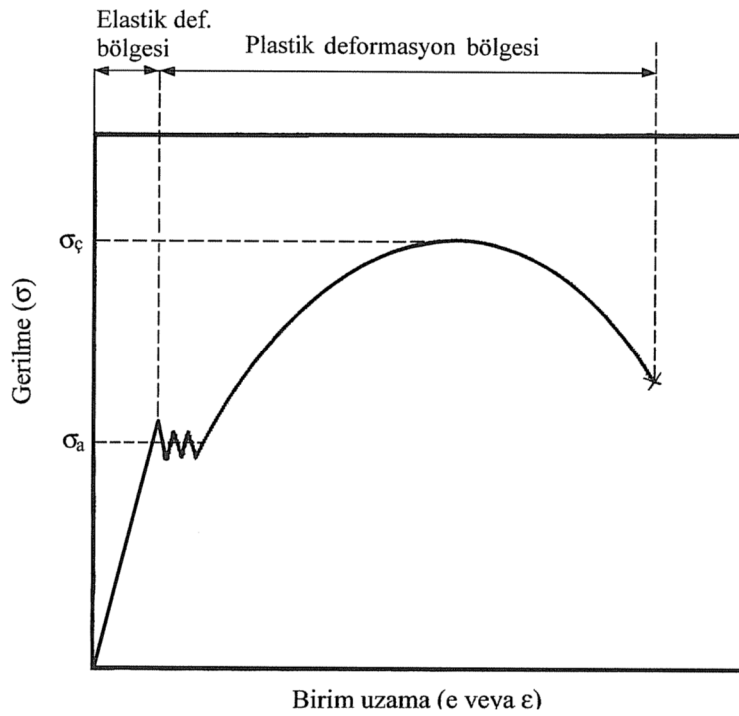
Burada;

σ : Gerilme

P : Numuneye uygulanan herhangi bir andaki yük değeri,

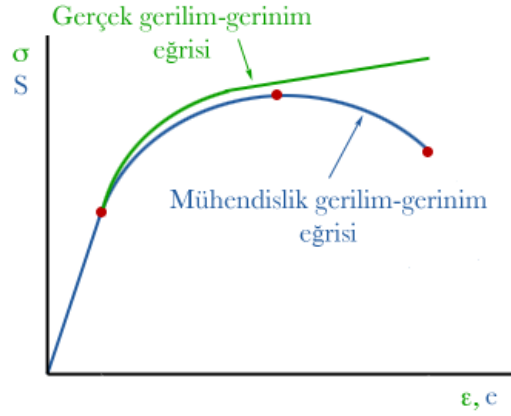
A_0 : Deney numunesinin orijinal kesit alanı olarak tanımlanmıştır

2.3.3.2.1. Mühendislik gerilme-uzama grafiği



Şekil 2.11. Mühendislik birim uzama grafiği

2.3.3.2. Gerçek gerilme-uzama grafiği



Şekil 2.12. Gerçek gerilme uzama grafiği

2.3.3.3. Elastisite modülü ve rijitlik

Elastik deformasyona karşı direnç olarak tarif edilir. Elastiklik modülü gerilme birim uzama diyagramlarından elde edilir. Lineer $E = \frac{\sigma}{\epsilon}$ değişim için gibi tarif edilir.

Çizelge 2.2. Bazı malzemelerin elastiklik modülü değerleri

MALZEME	Elastiklik Modülü [GPa]
Kauçuk (küçük deformasyonlar için)	0,01 - 0,1
Düşük yoğunluklu polietilen (LDPE)	0,2
Yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE)	0,7
Polikarbon [PC]	2,6
Naylon (PA)	3
Ticari ahşaplar	9-16
Alüminyum ve alaşımları	70
Soda camı	70
Titanyum	110
Karbon elyaf takviyeli plastikler	70 - 200
Kır Dökme demir	130
Çelikler	210
Silikon karbür (SiC)	450
Elmas	1000

2.3.3.4. Akma dayanımı (σ_a)

Uygulanan çekme kuvvetinin yaklaşık olarak sabit kalmasına karşın, plastik şekil değiştirmenin önemli ölçüde arttığı ve çekme diyagramının düzgünlük gösterdiği kısma karşı gelen gerilme değeridir. Aşağıdaki formül ile bulunur.

$$\sigma_a = \frac{P_a}{A_0}$$

2.3.3.5. Orantı sınırı (σ_0)

Gerilme-birim uzama diyagramındaki Hooke yasasının, yani $\sigma=E.\epsilon$ bağıntısının geçerli olduğu doğrusal kısmı sınırlayan gerilme değeridir. Bu bağlantıdaki orantı katsayısına (E) elastiklik modülü denir ve bu katsayı çekme diyagramının elastik kısmını oluşturan doğrunun eğimini gösterir. Bir malzemenin elastiklik modülü ne kadar büyükse, o malzemenin elastik şekil değiştirmeye karşı direnci de o ölçüde büyük olur.

2.3.3.6. Çekme dayanımı (σ_c)

Bir malzemenin kopuncaya veya kırılıncaya kadar dayanabileceği en yüksek çekme gerilmesi olarak tanımlanır. Bu gerilme, çekme diyagramındaki en yüksek gerilme olup aşağıdaki formül ile bulunur.

$$\sigma_c = \frac{P_a}{A_0}$$

P_{\max} : Malzemeye uygulanan en yüksek kuvveti

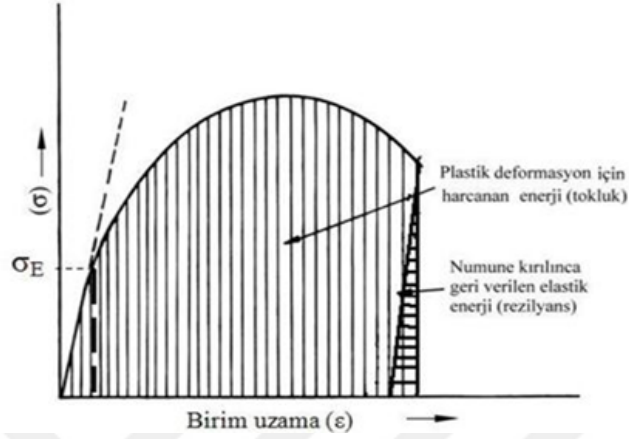
A_0 : Malzemenin ilk kesit alanını gösterir.

2.3.3.7. Kopma dayanımı

Devamlı ve linear olarak fazlalaşan gerilme sonucu malzemenin koptuğu gerilme büyüklüğüne "kopma dayanımı" adı verilir

2.3.3.8. Tokluk

Malzemenin birim hacmi başına düzen plastik şekil değiştirme enerjisi olarak tanımlanır ve malzemenin kırılıncaya kadar enerji depolama ve soğurma yeteneğini gösterir. Tokluk genellikle σ - ϵ eğrisinin altında kalan alanın hesaplanması ile bulunur.



Şekil 2.13. Gerilme-birim uzama eğrisi yardımıyla şekil değiştirme eğrilerinin (rezilyans ve tokluk) belirlenmesi

2.3.3.9. Rezilyans

Malzemenin yalnız elastik şekil değiştirmesi için harcanan enerji veya elastik şekil değiştirme sırasında malzemenin depoladığı enerji demektir. Bu enerji σ - ϵ eğrisinin elastik kısmının altında kalan alan ile belirlenir ve numune kırılınca geri verilir.

2.3.3.10. Süneklik

Malzemedeki plastik kopma uzamasının büyüklüğünün bir ölçüsüdür. Bir malzemenin kopma uzaması ne kadar fazla ise, malzemenin o kadar sünek olduğu söylenebilir. Kopma uzaması düşük olan malzemeler ise gevrek olarak tarif edilir. Süneklik birimsizdir ve kopma uzama yüzdesi veya kopmadaki çap azalması oranı olarak ifade edilir.

2.4. Sonlu Elemanlar Metodu

Birçok mühendislik dalında etkin olarak kullanılan sonlu elemanlar metodu makine mühendisliği dalında da gayet yaygındır. Özellikle mekanik tasarımlarda kullanılması büyük faydalar sağlar. Çünkü birçok mühendislik alanında gerilme ve deformasyon dağılımları çözümleri aranmaktadır. Bu çözümler sonlu elemanlar metodu kullanılarak bulunur.

Sonlu elemanlar metodunun bazı avantajları vardır. Bunlar:

- Karmaşık şekilli cisimlere uygulanır
- Sınır koşulları girilebilir
- Bilgisayar hızlı ise çözüm hızı yükselir
- Mühendislik uygulamalarında bir çok soruna çözüm üretilebilir
- Eleman sayısı artışı ile çözümler tam sonuca yakınlaşır

2.4.1. Ansys

Mühendislik alanında kullanılan, sonlu elemanlar yöntemiyle cisimlerin prototip öncesi zaman ve maliyetten tasarruf için test edilmesini sağlayan bir yazılımdır. Programa girilen parametrelerle sanal bir ortam oluşturulup, test edilecek olan cisim üzerinde istenen işlemler gerçekleştirilerek, cismin belirtilen yük durumlarında nasıl bir davranış sergilediği program içerisinde incelenerek tasarımda gerekli değişiklikler yapılır.

Program, nümerik yöntemlerle çözüm yaptığı için cismin davranışı, deneysel sonuçlarla birebir uyumlu olmaz. Ancak yapılacak analiz çeşidine göre uygun nümerik metot ve parametrelerle deneysel sonuçlara büyük oranda yaklaşmak mümkündür. Bu sayede tasarım üzerindeki hatalar, prototip üretiminden önce tespit edilerek istenen ürün daha az maliyetle üretilebilir.

Ansys ile birçok mühendislik problemlerinin simülasyonu sağlanır. Bu programda çözümler sonlu elemanlar metodu yardımıyla modellenir. Bir problemin çözümünde ansys kullanılacak ise sırasıyla:

- Çalışma ortamı
- Eleman tipi
- Model geometrisi
- Ağ yapısı (Mesh)
- Sınır şartları
- Yük değerleri

girilerek çözümlene işlemine başlanır. Daha sonra modelde istenilen bölgeler incelenir ve grafikler çizilir.

Kompozit Malzemelerde, katmanlı ahşap sistemlerin analizi, sandviç kabukların analizi, ince tabakalı levhaların analizi gibi birçok analizler Ansys vasıtasıyla yapılabilir.

Nümerik Analiz

ANSYS paket programı gerilme, yorulma ve termal analizler gibi birçok nümerik analizde kullanılmaktadır. İki boyutlu ve üç boyutlu modellemeler Mechanical APDL kısmındaki komutlar kullanılarak kolaylıkla yapılabilmektedir. Burada en önemli olan aşama, her bir tabakada düzgün bir ağ yapısı (mesh) oluşturup her bir elemanın (node) üst üste gelmesini sağlamaktır.

2.4.1.1. Malzeme özelliklerine ilişkin bazı terimler

ANSYS programı kullanılırken bilinmesi gereken bazı terimler şunlardır:

- İzotropik malzeme: Tüm eksenlerde aynı özelliği gösteren malzemelerdir. Bu özelliklerinden dolayı elastisite modülü ve poisson oranları tektir. Örnek : Cam ve metaller.
- Ortotropik malzeme: Üç eksen de farklı özellikler sergileyen malzemelerdir. Bu özelliklerinden dolayı her eksen için farklı elastisite modülleri ve poisson oranları mevcuttur. Bunun dışında farklı düzlemlerde oluşan kesme modülleri de farklılık gösterir. Bu malzemeler genellikle bir yönde yüksek mukavemet gösterirken diğer yönlerde zayıf mukavemete sahiptir. Örnek: Ahşap, kompozit malzemeler.
- Anizotropik malzeme: Hiç bir eksen de aynı özelliği göstermeyen malzemelerdir. Belirli bir yönde elastisite veya poisson oranları bulunmadığından dolayı parça üzerinde yapılan testler sonucunda elde edilen tablo şeklindeki bilgiler programa girilerek analiz işlemleri gerçekleştirilebilir. Ortotropik malzemeler de anizotropik malzemeler grubundadır. Örnek: Kristaller, grafit.
- İmplicit Analiz: Statik kuvvetlerin etkisinde olan, kuvvetlerin büyüklük ve yönünün zamana bağlı değişimlerinin küçük olduğu durumlarda yapılan analiz çeşididir. Elastik bölgede yapılan analizler, düşük hızlarda yapılan çekme-basma testleri vs. bu kategori içerisindedir. Program içerisinde Static Structural modülü kullanılarak gerçekleştirilir.
- Eksplicit Analiz: Statik kuvvetlerin yanında dinamik yüklerin de etkisi altındaki yükleri inceleyen, kuvvetin büyüklük ve yönünün kısa zaman içerisinde büyük değişimler gösterdiği, bu yüzden de parça üzerindeki işlemlerin çok kısa zaman aralığı içerisinde incelendiği durumlar için kullanılan analiz çeşididir. Genellikle patlama, çarpışma, düşme gibi yüksek hızlara maruz ve kopan parçaların analizinde

kullanılır. Program içerisinde Explicit Dynamics modülü kullanılarak gerçekleştirilir.

- Zamana Bağlı Analiz(Transient Structural): Kuvvetin veya yükün zamana bağlı olarak değişim gösterdiği ya da kademeli yükler uygulanması veya ön gerilme şartlarının girilmesi durumunda kullanılan modül.
- Rijit Cisimlerin Analizi(Rigid Dynamics): Elastik deformasyona bağlı olan, birbirine bağlı cisimler üzerinde gerçekleştirilen analiz çeşididir. Genellikle mekanizmaların kinematik analizi, uzuvlar üzerindeki hız, ivme ve kuvvetlerin incelenmesi gibi durumlarda kullanılır.
- Yorulma Analizi(Fatigue): Yüklemenin sürekli değiştiği durumlarda cisimlerin ömrünü tahmin etmek için kullanılır.
- Titreşim Analizi(Vibration) : Titreşime maruz cisimlerde bu titreşimin cisim üzerinde meydana getirdiği gerilmelerle diğer cisimlere aktarılan titreşim ve gerilme miktarının incelenmesi için kullanılır [22].

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Yapıştırılan Malzeme

Çekme deneyinde kullanılan numune cam elyaf takviyeli kompozit malzemedir. Kompozit malzemenin lif yönler 0^0 ve 90^0 derece olarak birbirine dik bir şekilde düzenlenmiştir. Her tabakada bir yön vardır. İçerisindeki cam elyaf oranı % 60 oranındadır. Eliptik hasar görmüş numunelerimizin hepsi 4 tabaka (1 mm) ve 140x60 mm'dir. Hasarın tamir edilmesinde kullanılan malzemeler 2 tabaka, 4 tabaka, ve 6 tabaka (0.5 mm, 1 mm, 1.5 mm) ve 40x40 mm, 40x50 mm, 40x60 mm, 50x40 mm 60x40 mm boyutlarında kompozit malzemeler kullanılmıştır. Bu kompozit malzemeler İZOREEL firmasından temin edilmiştir. Bu numunelerin bağlantı elemanı yapıştırıcıdır ve DP 460 yapıştırıcısı kullanılmıştır.

Çizelge 3.1. Deneyde kullanılan numune ve standartları

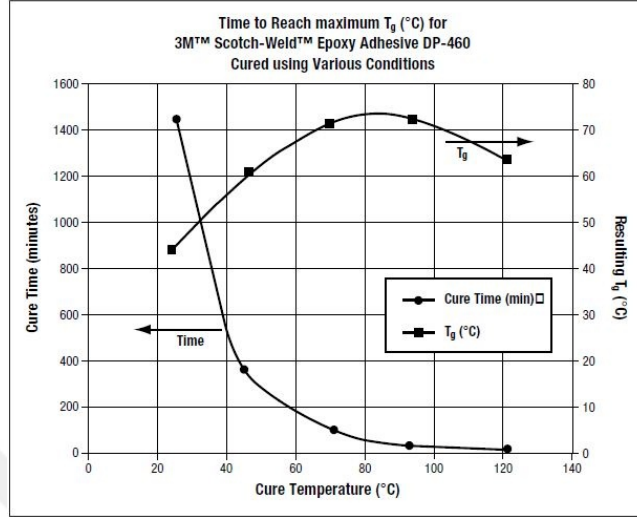
	İLGİLİ STANDART		
	TS-EN 60893	DIN 7735	NEMA LI-1
Numune Standart Adı	EP GC 201	Hgw 2372	G-10
Takviye	Cam kumaş		
Reçine	Epoksi		
Eğilme Mukavemeti	Oda Sıc.	400	Mpa
	Yüksek Sıc.	300	Mpa
Elastisite Modülü		20000	Mpa
Basma Mukavemeti		500	Mpa
İzod Darbe Mukavemeti		60	kJ / m ²
Kesme Mukavemeti		55	Mpa
Çekme Mukavemeti		320	Mpa

3.2. Yapıştırıcı Malzeme

Sıvı yapıştırıcıların, bağlantı dayanımları yüksek, gerilme dayanımları düzgün ve boşluk doldurma özellikleri iyi olduğundan yapısal bağlantılarda sıklıkla tercih edilirler.

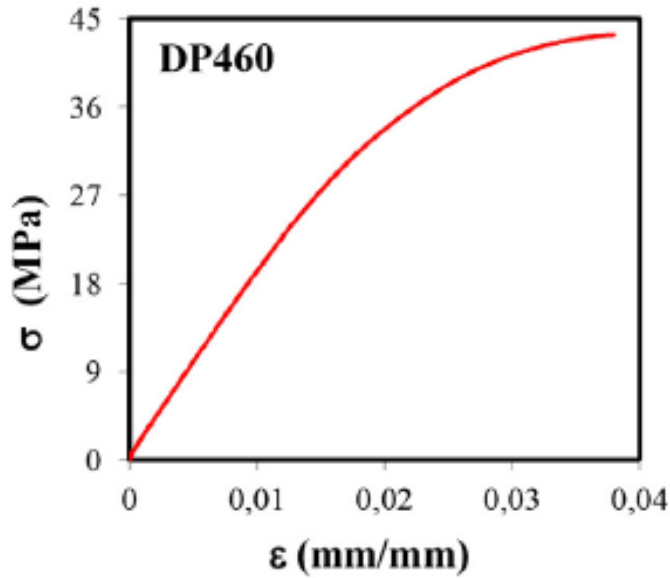
Bu çalışmada, yapıştırıcı malzeme olarak DP-460 kullanılmıştır. Bu malzemenin epoksi ve hızlandırıcı olmak üzere iki adet bileşeni vardır. Hacimsel olarak epoksi/hızlandırıcı oranı 2/1 olduğunda yapıştırıcı yüksek dayanım göstermektedir. Bu oranı sağlamak için özel helozoik uçlar kullanılır.

Bu yapıştırıcı malzeme, helozoik uçlar ve özel silikon tabancası ile beraber EGEANT aracılığıyla İsveç merkezli 3M firmasından temin edilmiştir. Yapıştırıcı malzemenin kürleşme zamanı (dk) - kürleşme sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$) grafiği Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1.DP-460 kürleşme zamanı (dk) - kürleşme sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$) grafiği [22]

Yapıştırıcı malzemenin gerilme-şekil değiştirme davranışı ve mekanik özellikleri Şekil 3.2 ile Çizelge 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.2.DP-460 gerilme-şekil değiştirme davranışı [22]

Çizelge 3.2. DP-460 mekanik özellikler [22]

Elastisite Modülü	2077.1MPa
Poisson Oranı	0,38
Çekme Dayanımı	44,616 MPa

3.3. Yama Malzemesi

Yamalar ise 0,5 mm, 1 mm, 1,5 mm (2 kat, 4 kat, 6 kat) ve 40x40 mm, 40x50 mm, 40x60 mm, 50x40 mm 60x40 mm boyutlarında kompozit malzemeler kullanılmıştır. Bu kompozit malzemeler İZOREEL firmasından temin edilmiştir. Kullanılacak yama boyutlarına göre kesim işlemi yapılmıştır. Yama malzemesinin mekanik özellikleri Çizelge 3.3'te verilmiştir.

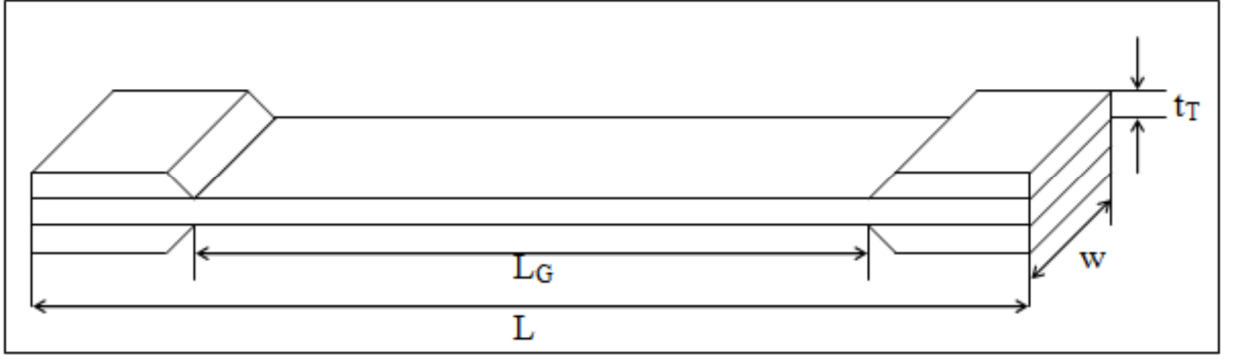
3.4. Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

Geleneksel metalik malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemek için kullanılan mekanik testler kompozit malzemeler için uygun olmadığından, ASTM (American Society for Testing and Materials) tarafından kabul edilen uygun test metotları geliştirilmiştir. Bu testler sonucunda toplanan bilgiler ile bir kompozit malzemenin karakteristiği belirlenir. Üretilen ortotropik tabakaya ait mekanik özellikler Çizelge3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Bir orthotropic malzemenin sabitleri ve tanımları [24]

Sembol	Tanımı
E_1	Fiber Yönündeki Elastisite Modülü
E_2	Fibere Dik Yöndeki Elastisite Modülü
ν_{12}	Poisson Oranı
X_t	Fiber Yönündeki Maksimum Çekme Gerilmesi
Y_t	Fibere Dik Yöndeki Maksimum Çekme Gerilmesi
X_c	Fiber Yönündeki Maksimum Basma Gerilmesi
Y_c	Fibere Dik Yöndeki Maksimum Basma Gerilmesi
S	Maksimum Kayma Gerilmesi
G_{12}	Kayma Modülü

En temel mekanik test çekme testidir. Çoğu yapı malzemeleri için, çekme özellikleri tasarım için gerekli uygun özellikleri belirler. Çekme testi, elastisite modülünü, Poisson oranını, çekme mukavemetini ve maksimum şekil değiştirmeyi belirlemek için kullanılır. Bu test ASTM D3039 standart test metoduna göre yapılmış ve Şekil 3.3'te, kompozit malzeme için kullanılan test malzeme geometrisi gösterilmiştir [24].



Şekil 3.3. ASTM D3039 Standardına göre numune geometrisi [24]

Şekil 3.4'de aşağıda anlatılan ASTM standartlarına göre hazırlanmış ve testleri yapılmakta olan numuneler gösterilmiştir.





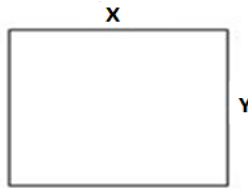
Şekil 3.4 ASTM standartlarına göre üretilmiş ve test aşamasındaki numuneler

Çizelge 3.4. Kompozit malzemenin 1 tabakasının mekanik özellikleri

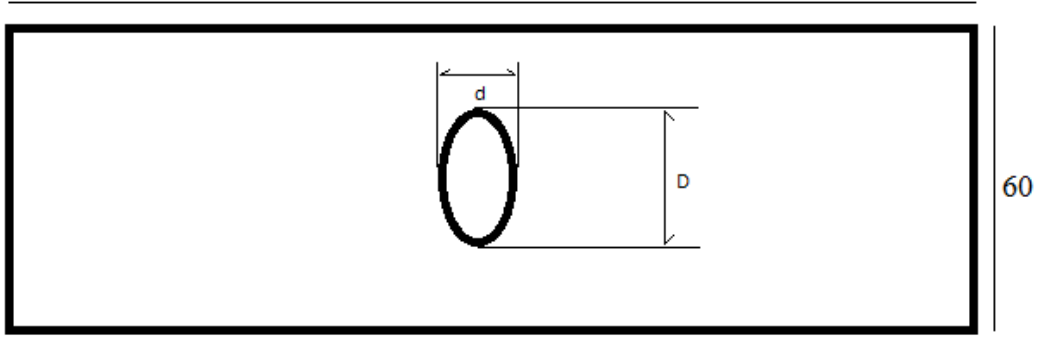
Young Modülü (X direction)	32000	[MPa]
Young Modülü (Y direction)	9780	[MPa]
Young Modülü (Z direction)	9780	[MPa]
Poisson Oranı (XY)	0,23	[MPa]
Poisson Oranı (YZ)	0,3	[MPa]
Poisson Oranı (XZ)	0,23	[MPa]
Kayma Modülü (XY)	8473	[MPa]
Kayma Modülü (YZ)	4900	[MPa]
Kayma Modülü (XZ)	8473	[MPa]
Çekme (X Yönü)	616	[MPa]
Çekme (Y Yönü)	56	[MPa]
Çekme (Z Yönü)	56	[MPa]
Basma (X Yönü)	-398	[MPa]
Basma (Y Yönü)	-113	[MPa]
Basma (Z Yönü)	-113	[MPa]
Kayma (XY)	66	[MPa]
Kayma (YZ)	56	[MPa]
Kayma (XZ)	66	[MPa]

3.5. Deney Numunelerinin Hazırlanması

İlk önce 2 mm (4 kat) kalınlığındaki cam elyaf takviyeli kompozit levha 60x140 mm boyutlarında kestirilmiştir. Daha sonra bu plakaların ortasına Şekil 3.6'de gösterildiği gibi (D-d) olmak üzere 24-11 mm boyutlarında elips delik açılmıştır. Şekil 3.5'da gösterildiği gibi kompozit yamalar (X-Y) olmak üzere 40x40, 40x50, 40x60 50x40 60x40 mm boyutlarında 0,5 mm, 1 mm, 1,5 mm (2 kat, 4 kat, 6 kat) her kat için ayrı ayrı kestirilmiştir. Numune parametreleri ve değerleri ise Çizelge 3.3 'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Yama boyutları



Şekil 3.6. Elips delik açılmış cam elyaf takviyeli kompozit malzeme

Çizelge 3.5. Numune parametreleri ve değerleri

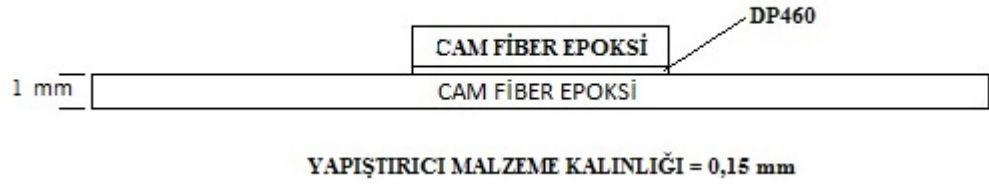
DENEY NUMUNESİ BOYUTLARI						
HASARLI LEVHALAR (4 Tabaka, 0-90 Lif Açılı, Cam-Epoksi Kompozit)				YAMALAR (2, 4 ve 6 Tabaka, 0-90 Lif Açılı, Cam-Epoksi Kompozit)		
Levha Boyutu (mm)	Yapıştırıcı Kalınlığı (mm)	Eliptik Hasar Boyutu		Yama Malzeme Boyutu		Yama Kalınlık (mm)
		D Büyük Elips Çapı (mm)	d Küçük Elips Çapı (mm)	X (mm)	Y (mm)	
60x140x1	0,15	24	11	40	40	0,5 mm (2 kat)
				40	50	
				40	60	
				50	40	
				60	40	
				40	40	1 mm (4 kat)
				40	50	
				40	60	
				50	40	
				60	40	1,5 mm (6 kat)
				40	40	
				40	50	
				40	60	
				50	40	
				60	40	

Yapıştırma işlemine başlamadan önce yapıştırılacak malzemeler bir gün boyunca saf aseton içinde bekletilmiş ve çıplak el temas ettirilmeden (eldiven yardımıyla) aseton içinden çıkartılmıştır. Suyla durulandıktan sonra toz almayan bir yerde kurutulmaya bırakılmıştır.

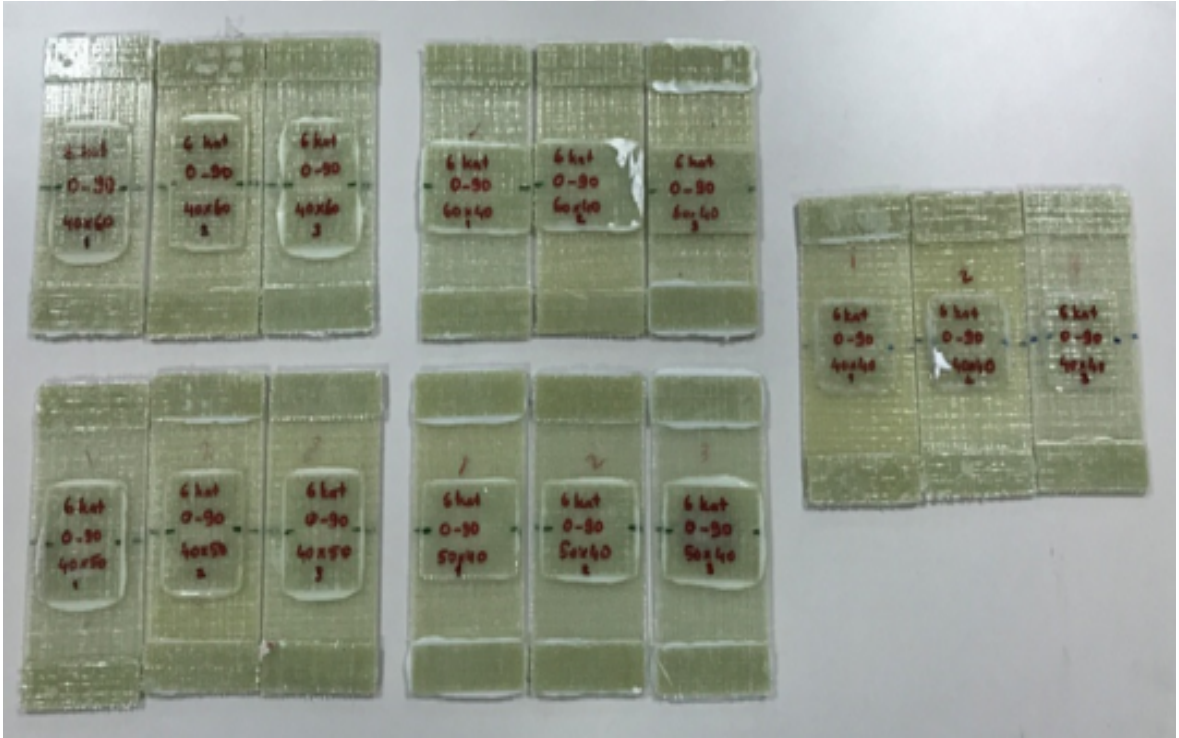
İlk olarak cam elyaf takviyeli kompozit yamaların üst yüzeyleri 3M™ DP-460 yapıştırıcı ile ince bir tabaka olacak şekilde ıslatılmıştır. Daha sonra bu ıslatılan yüzeyler

cam elyaf takviyeli kompozit levhaların ortasına elips delikleri kapatacak ve ortalayacak şekilde yapıştırılmıştır. Yapışan yüzeylerin kaymasını engellemek için bu levhalar (yapıştırıcı az bir miktar kürleşene kadar) düz bir zeminde bekletilmiştir. En son olarak deney numunelerinin üzerine ağırlıklar yerleştirilmiştir. Bu şekilde üç gün bekletilerek 3M™ DP-460 yapıştırıcının kürleşmesi sağlanmıştır.

Hazırlanan deney numunelerinin şematik gösterimi Şekil 3.7'de, numunelerin fotoğrafları da Şekil 3.8'da verilmiştir.



Şekil 3.7. Hazırlanan deney numunelerinin şematik gösterimi



Şekil 3.8. Hazırlanan 6 katlı deney numunelerinin gösterimi

3.6. Deneysel Hasar Yüklerinin Belirlenmesi

Bütün deneyler ZWICK Z100 çekme cihazı ile bilgisayar kontrolünde 1 mm/dk sabit çekme hızında yapılmıştır. İlk önce yamasız numunelerin daha sonra da cam elyaf takviyeli kompozit yamalarla oluşturulan tek taraflı bindirme bağlantılarının çekme testleri yapılmıştır. Her numuneden üçer adet yapıştırılıp testler gerçekleştirilmiştir. Deneyler tamamlandıktan sonra numuneler iyice gözlemlenip hasar bölgeleri incelenmiş ve fotoğrafları çekilmiştir. Numunelerin taşıdıkları maksimum yükler ve hasar tipleri kaydedilmiştir. ZWICK Z100 test cihazı Şekil 3.9'da görülmektedir.

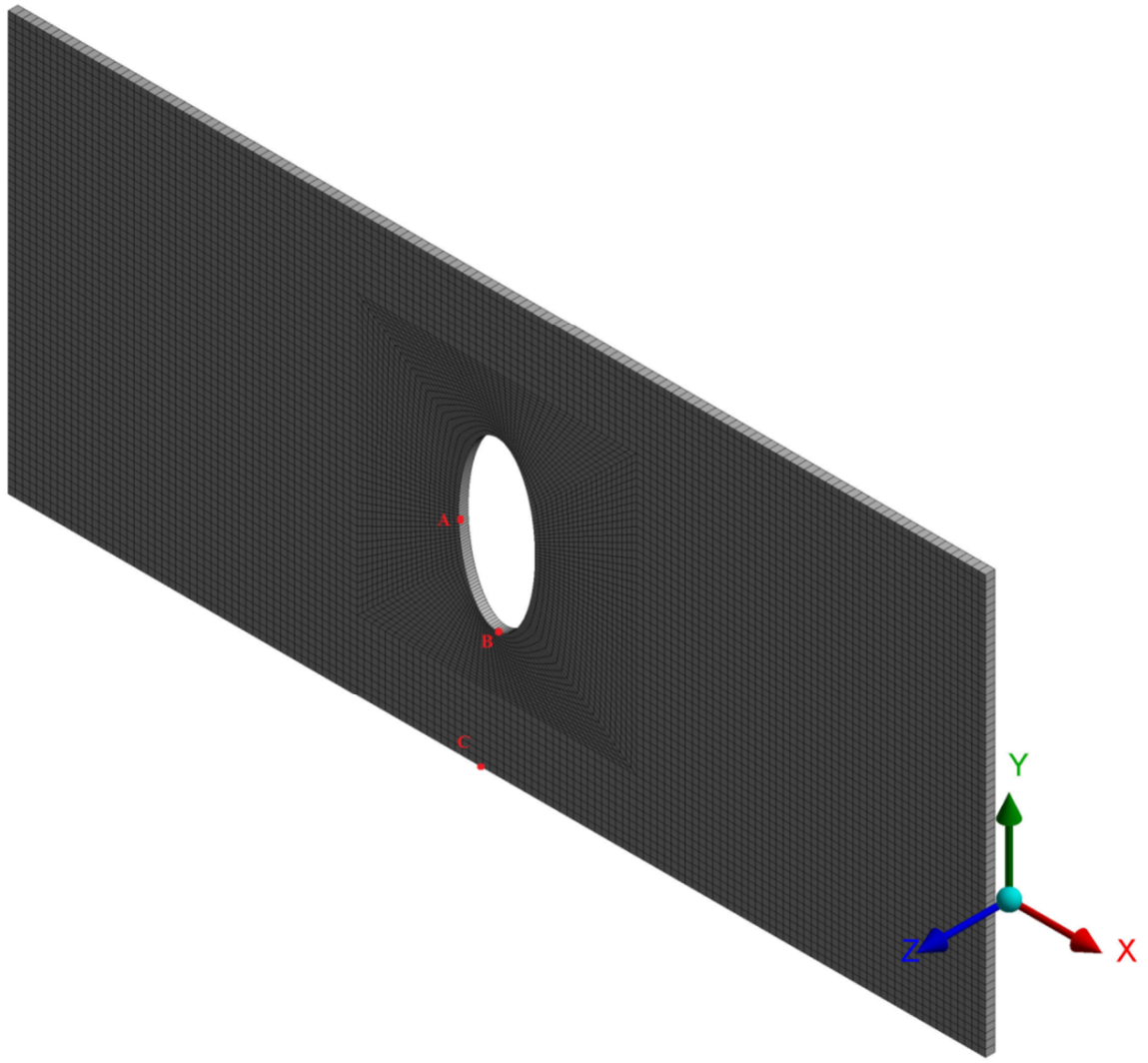


Şekil 3.9. ZWICK Z100 test cihazı

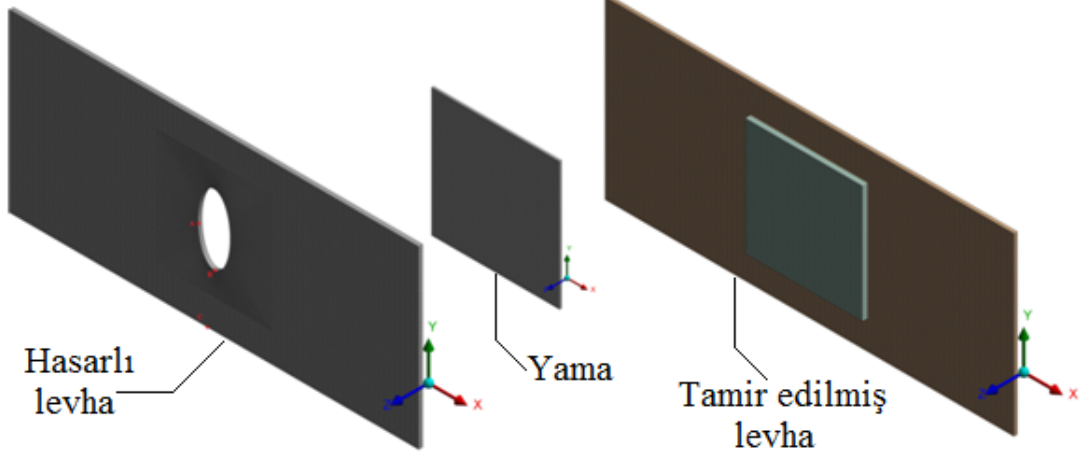
3.7. Nümerik Analiz

ANSYS paket programı gerilme, yorulma ve termal analizler gibi bir çok nümerik analizde kullanılmaktadır. İki boyutlu ve üç boyutlu modellemeler WORKBENCH kısmındaki komutlar kullanılarak kolaylıkla yapılabilmektedir. Burada en önemli olan aşama, her bir tabakada düzgün bir ağ yapısı (mesh) oluşturup her bir elemanın (node) üst üste gelmesini sağlamaktır.

Gerilme sonlu eleman analizleri ANSYS 19.0 paket programı yardımıyla yapılmıştır. Öncelikle çekme testine tabi tutulan bütün numuneler üç boyutlu olarak modellenmiştir. Modelleme esnasında SOLIDWORKS programı kullanılmıştır. Kritik öneme sahip gerilme hatları belirlenmiş ve σ_x , σ_y , σ_z , τ_{xy} , τ_{yz} , τ_{xz} , σ_{eqv} gerilme dağılımları incelenmiştir. Gerilme dağılımları bakımından kritik öneme sahip bölgelerde oluşturulan düzgün ve hassas ağ yapısı, sınır şartları ve numunelere uygulanan kuvvetler Şekil 3.10'da gösterildiği gibidir.



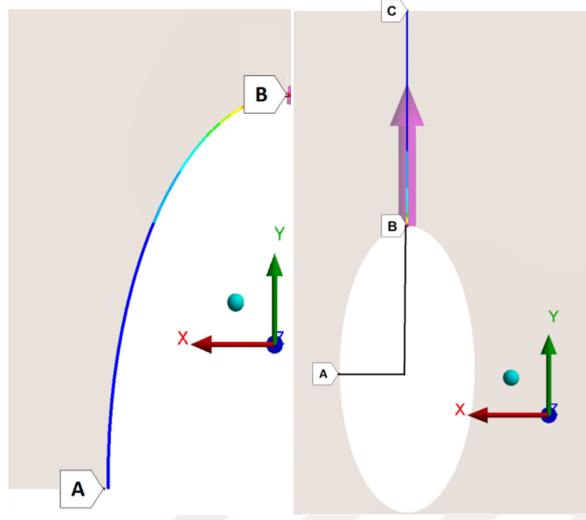
(a)



(b)

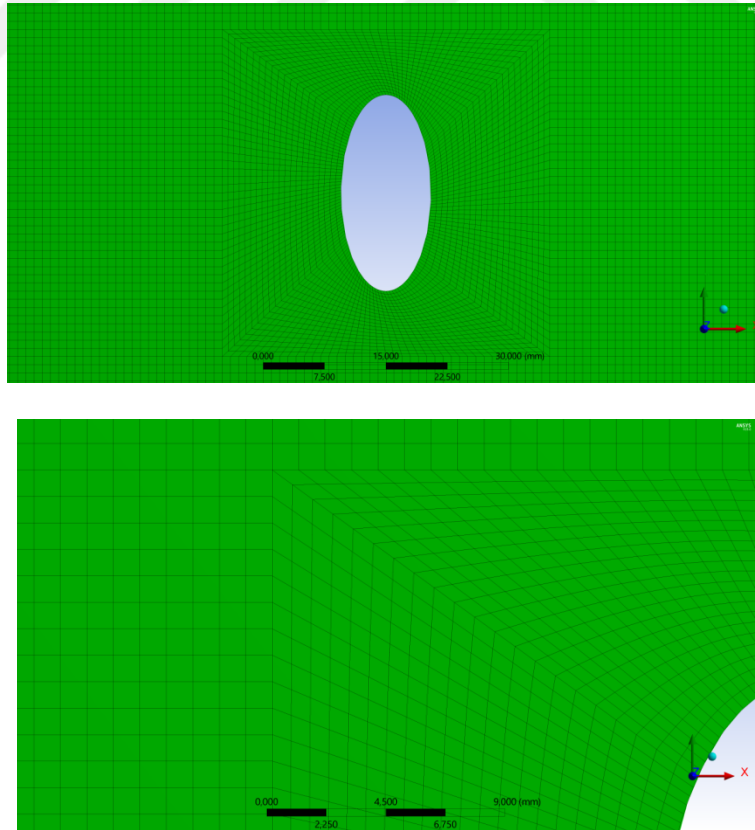
Şekil 3.10. (a) Hasarlı malzemenin nümerik analizde modellenen ağ yapıları, (b) Hasarlı malzeme ve yamanın birbirine yapıştırılması

Şekil 3.10 (a)'daki A, B ve C noktaları ile ifade edilen, kompozit malzeme ve DP-460 yapıştırıcı malzemesi üzerindeki gerilme hatları Şekil 3.11'de verilmiştir.



Şekil 3.11. Nümerik analizde incelenen AB ve BC gerilme hatları

Sadece kritik bölgeler için değil numunenin tümü için düzgün ağ yapısı planlanmış ve oluşturulmuştur. Bu oluşturulan ağ yapısı Şekil 3.12. de gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Nümerik analizde incelenen malzemelere atanan Mesh (Ağ) yapısı

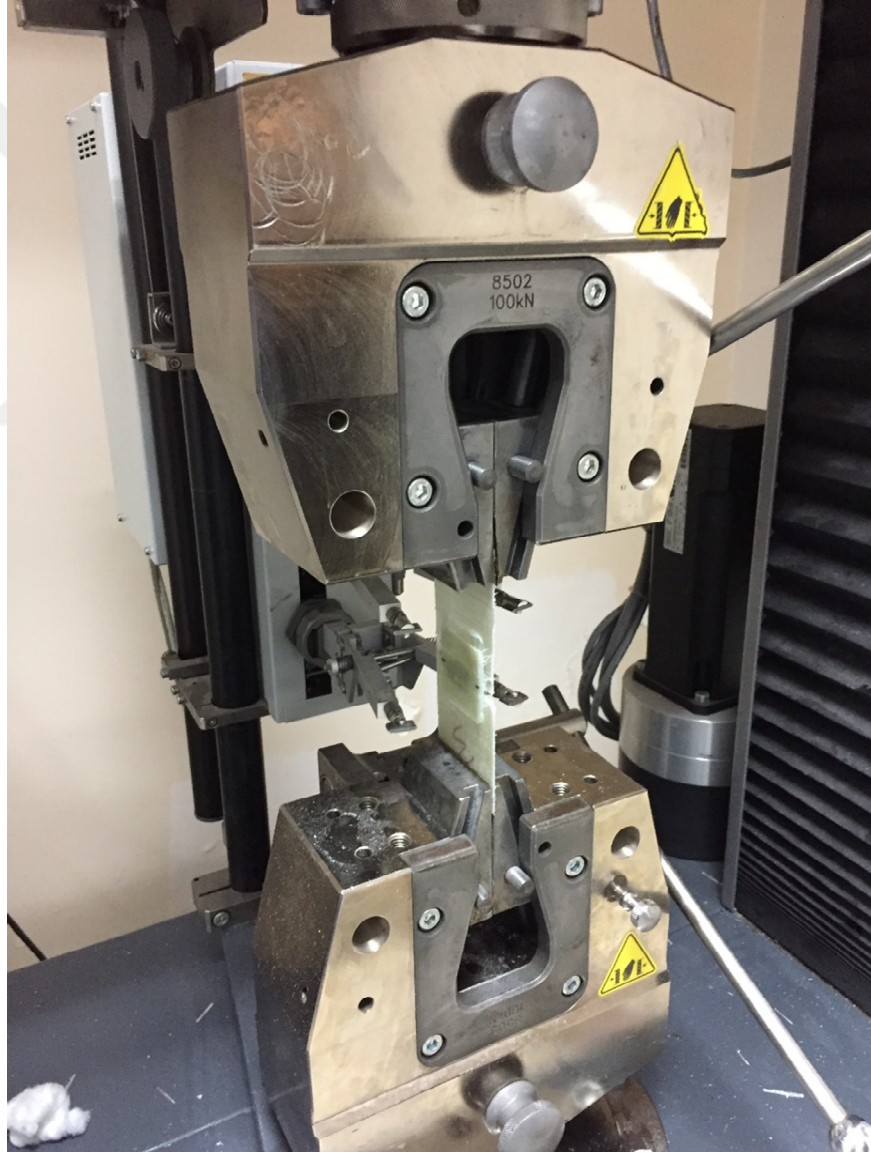
Çizelge 3.6. Hasarsız yamasız, hasarlı yamasız, x (genişlik), y (uzunluk) ve z (kalınlık) değişimde görülen mesh (ağ) yapısında kullanılan düğüm (node) ve eleman sayıları

YAMA KAT SAYISI	YAMA BOYUTU (en x boy)	Ağ Tipi	Düğüm sayısı (Node)	Element Sayısı
HASARSIZ YAMASIZ	-	Quadrilateral	8601	8400
HASARLI YAMASIZ	-	Quadrilateral	10180	9876
2 TABAKA	40 X 40	Quadrilateral	23724	13360
	40 X 50	Quadrilateral	27914	15080
	40 X 60	Quadrilateral	32304	17000
	50 X 40	Quadrilateral	27914	15080
	60 X 40	Quadrilateral	32304	17000
4 TABAKA	40 X 40	Quadrilateral	23724	13360
	40 X 50	Quadrilateral	27914	15080
	40 X 60	Quadrilateral	32304	17000
	50 X 40	Quadrilateral	27914	15080
	60 X 40	Quadrilateral	32304	17000
6 TABAKA	40 X 40	Quadrilateral	23724	13360
	40 X 50	Quadrilateral	27914	15080
	40 X 60	Quadrilateral	32304	17000
	50 X 40	Quadrilateral	27914	15080
	60 X 40	Quadrilateral	32304	17000

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Deneysel Bulgular

Yamasız ve tek taraflı bindirme bağlantılı olarak hazırlanan deney numuneleri ZWICK marka test cihazı kullanılarak 1 mm/dk sabit çekme hızında çekme yüküne maruz bırakılmıştır. Yamalı bir numunenin, çekme cihazı çeneleri arasında iken, yama içi ve yama dışı cam epoksiden kopma anı resmi Şekil 4.1'de verilmiştir. Deney sonuçlarının daha doğru elde edilebilmesi amacıyla her bir oryantasyon için üçer numune test edilip ortalama hasar yükleri bulunmuştur. Her bir oryantasyon için bulunan ortalama hasar yükleri ve nümerik hasar yükleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Numune kopma anı

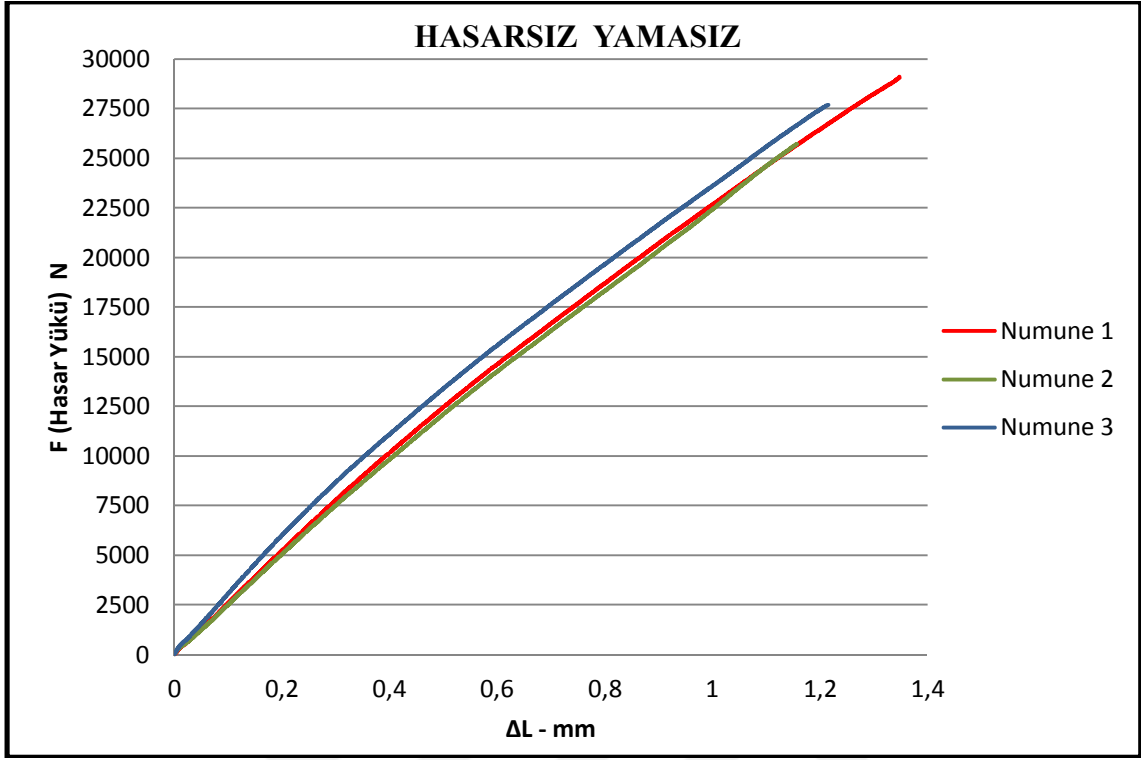
Çizelge 4.1. Bindirme bağlantılarının hasar yükleri ve hasar tipleri

YAMA KAT SAYISI	YAMA BOYUTU (en x boy)	DENEYSEL HASAR YÜKÜ F_m (N)	NÜMERİK HASAR YÜKÜ (N)	NHY/DHY	HASAR TİPLEERİ
HASARSIZ YAMASIZ	-	27508	27190	98.84%	-
HASARLI YAMASIZ	-	10500	10823	103.08%	EKK
2 KAT	40 X 40	20400	20408	100.04%	EKK
	40 X 50	21800	21789	99.95%	EKK
	40 X 60	22800	22730	99.69%	EKK
	50 X 40	20633	20858	101.09%	EKK
	60 X 40	21100	21250	100.71%	EKK
4 KAT	40 X 40	21500	21571	100.33%	YDK
	40 X 50	22300	22272	99.87%	YDK
	40 X 60	24067	23717	98.55%	YDK
	50 X 40	24567	24460	99.56%	YDK
	60 X 40	24967	24798	99.32%	YDK
6 KAT	40 X 40	23093	23070	99.90%	YDK
	40 X 50	26307	26517	100.80%	YDK
	40 X 60	26921	29029	107.83%	YDK
	50 X 40	24918	24794	99.50%	YDK
	60 X 40	25764	25817	100.21%	YDK

EKK : Elips Kesitinden Kopma

YDK : Yama Dışı Kopma

4.1.1. Hasarsız yamasız numunelerin hasar yükleri

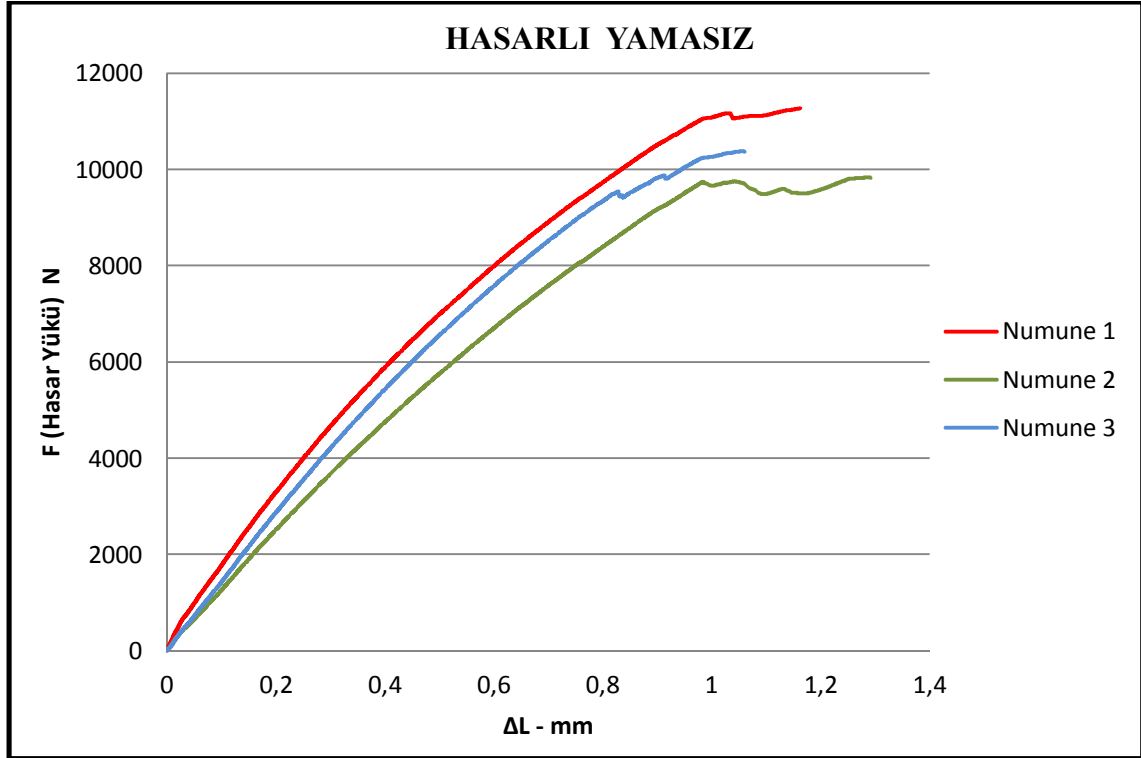


Şekil 4.2. Hasarsız ve yamasız 3 numunenin hasar yükü değişimi

Şekil 4.2'de hasarsız ve yamasız deney numunelerinde 1. numune 29101 N 2. numune 25731 N 3. numune 27692 N hasar yükü tespit edilmiştir. Bu 3 numunenin ortalaması olarak 27508 N bir hasar yükü görülmektedir. Kıyaslamalarda kullanacağımız kuvvet bu 3 numunenin ortalaması olan 27508 N değeridir.

4.1.2. Hasarlı numunelerde yama boyutlarının değişiminin deneysel hasar yüklerine etkisi

4.1.2.1. Yamasız numunelerin hasar yükleri



Şekil 4.3. Hasarlı ve yamasız 3 numunenin hasar yükü değişimi

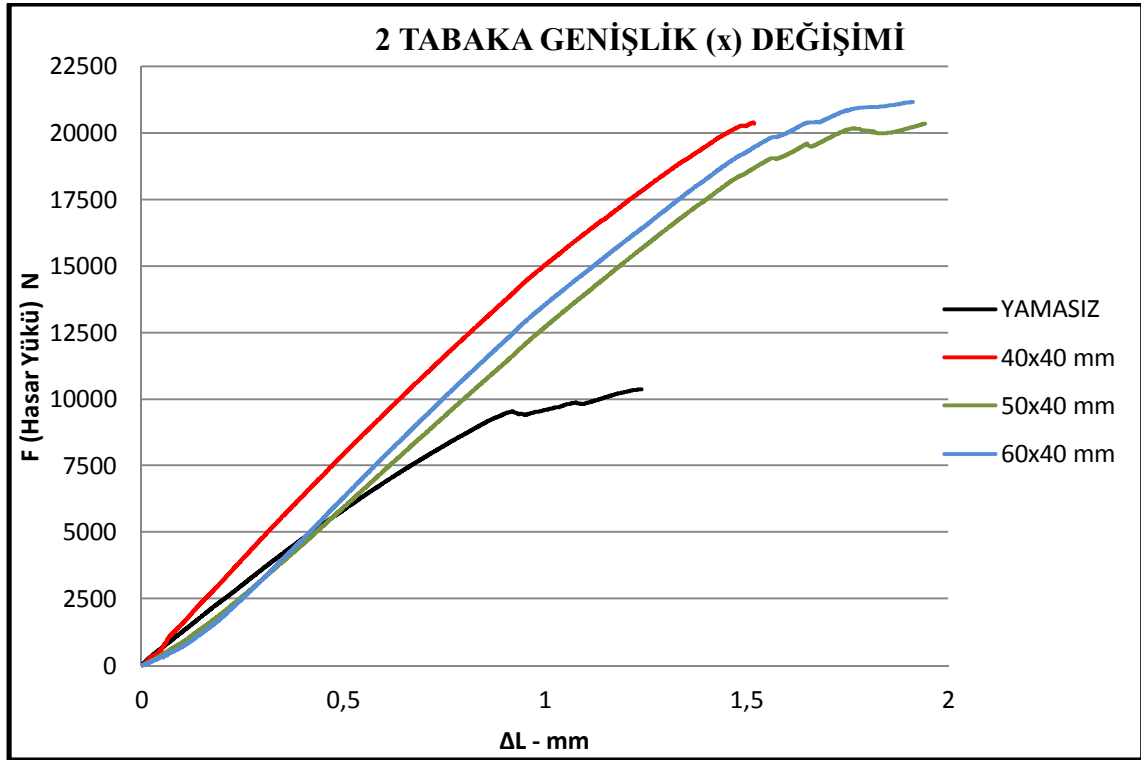
Şekil 4.3'de hasarlı ve yamasız deney numunelerinde 1. numune 11275 N 2. numune 9843 N 3. numune 10383 N hasar yükü tespit edilmiştir. Bu 3 numunenin ortalaması olarak 10500 N bir hasar yükü görülmektedir. Kıyaslamalarda kullanacağımız kuvvet bu 3 numunenin ortalaması olan 10500 N değeridir.

Hasar görmüş numunelerin çekme testine maruz bırakıldıktan sonra hasarsız numuneye oranla % 62 gibi mukavemetinde azalma gözlemlenmiştir. Hasar görmüş numuneler tamir edilerek çekme testi uygulanmıştır ve yapılan bu tamirde başarı oranı yüzdelik olarak verilmiştir.

Malzemenin hasar gördüğü yer elips kesitidir. Bunun sebebi kompozit malzemenin çekme yüküne dik olacak şekilde kesiti alındığında en az yüzey alanına sahip bölge elips bölgesidir ve hasarın en fazla olduğu yerdir. Bu nedenle çekmeye karşı gösterilen direncin en az olduğu yer elips uç kısımlarının olduğu bölgedir. Hasar ilk bu bölgede oluşur ve tahribat elips kesitinden gerçekleşir.

4.1.2.2. Yama genişliğinin (x) hasar yüklerine etkisi

4.1.2.2.1. Tabaka sayısı 2 olan 40x40, 50x40 ve 60x40 mm yamalarda genişlik değişiminin hasar yüküne etkisi



Şekil 4.4. 2 kat tabakalı 40x40 mm, 50x40 mm, 60x40 mm boyutlarındaki yamalar için hasar yükü değişimleri

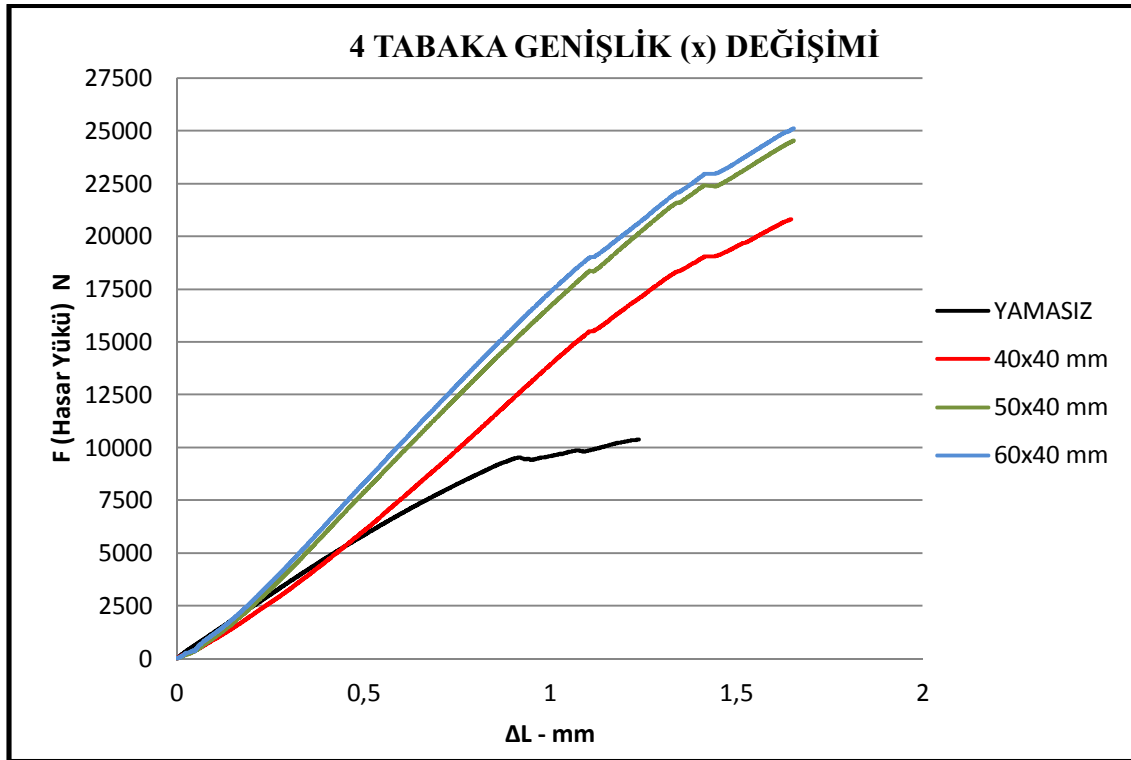
Şekil 4.4'de verildiği gibi yama uzunluğu (y) ve kalınlığı (z) sabit tutulup yama genişliği (x) arttıkça yapışma yüzey alanı da büyüdüğü için hasar yükleri artmaktadır.

Tabaka sayısı 2 olan; 40x40 mm 20400 N'luk, 50x40 mm 20633 N'luk ve 60x40 mm numuneler ortalama 21100 N'luk hasar yüküne mukavemet göstermişlerdir.

40x40 mm %94, 50x40 mm %97 ve 60x40 mm boyutlarındaki numunenin yamasız olarak çekme yüküne maruz bırakılan numuneden %101 oranında fazla yük taşıdığı grafikte görülmektedir.

Malzemenin hasar gördüğü yer elips kesitidir. Bunun sebebi kompozit malzemenin çekme yüküne dik olacak şekilde kesiti alındığında en az yüzey alanına sahip bölge elips bölgesidir ve hasarın en fazla olduğu yerdir. Bu nedenle çekmeye karşı gösterilen direncin en az olduğu yer elips uç kısımlarının olduğu bölgedir. Hasar ilk bu bölgede oluşur ve tahribat elips kesitinden gerçekleşir.

4.1.2.2.2. Tabaka sayısı 4 olan 40x40, 50x40 ve 60x40 mm yamalarda genişlik değişiminin hasar yüküne etkisi



Şekil 4.5. 4 kat tabakalı 40x40 mm, 50x40 mm, 60x40 mm boyutlarındaki yamalar için hasar yükü değişimleri

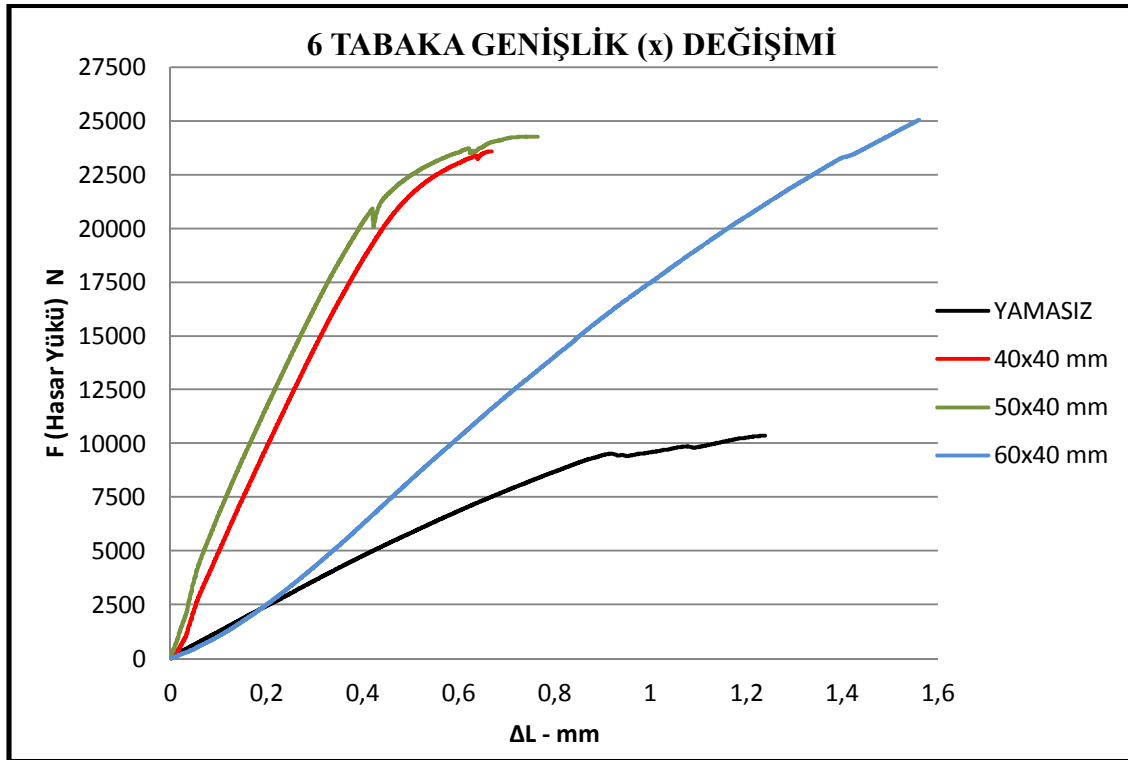
Şekil 4.5'de verildiği gibi yama uzunluğu (y) ve kalınlığı (z) sabit tutulup yama genişliği (x) arttıkça yapışma yüzey alanı da büyüdüğü için hasar yükleri artmaktadır.

Tabaka sayısı 4 olan; 40x40 mm 21500 N'luk, 50x40 mm 24567 N'luk ve 60x40 mm numuneler ortalama 24967 N'luk hasar yüküne mukavemet göstermişlerdir

40x40 mm %104, 50x40 mm %133 ve 60x40 mm boyutlarında numunenin ise yamasız olarak çekme yüküne maruz bırakılan numuneden %137 oranında fazla yük taşıdığı grafikte görülmektedir.

Malzemenin hasar gördüğü yer yama dışındadır. Bunun sebebi kompozit malzemenin çekme yüküne dik olacak şekilde kesiti alındığında en az yüzey alanına sahip bölgeler yama dışındaki bölgelerdir ve hasarın en fazla olduğu yerlerdir. Bu nedenle çekmeye karşı gösterilen direncin en az olduğu yer yama yapılmayan bölgelerdir. Hasar ilk yama dışındaki bölgelerde oluşur ve tahribat yama dışından gerçekleşir.

4.1.2.2.3. Tabaka sayısı 6 olan 40x40, 50x40 ve 60x40 mm yamalarda genişlik değişiminin hasar yüküne etki



Şekil 4.6. 6 kat tabakalı 40x40 mm, 50x40 mm, 60x40 mm boyutlarındaki yamalar için hasar yükü değişimleri

Şekil 4.6'de verildiği gibi yama uzunluğu (y) ve kalınlığı (z) sabit tutulup yama genişliği (x) arttıkça yapışma yüzey alanı da büyüdüğü için hasar yükleri artmaktadır.

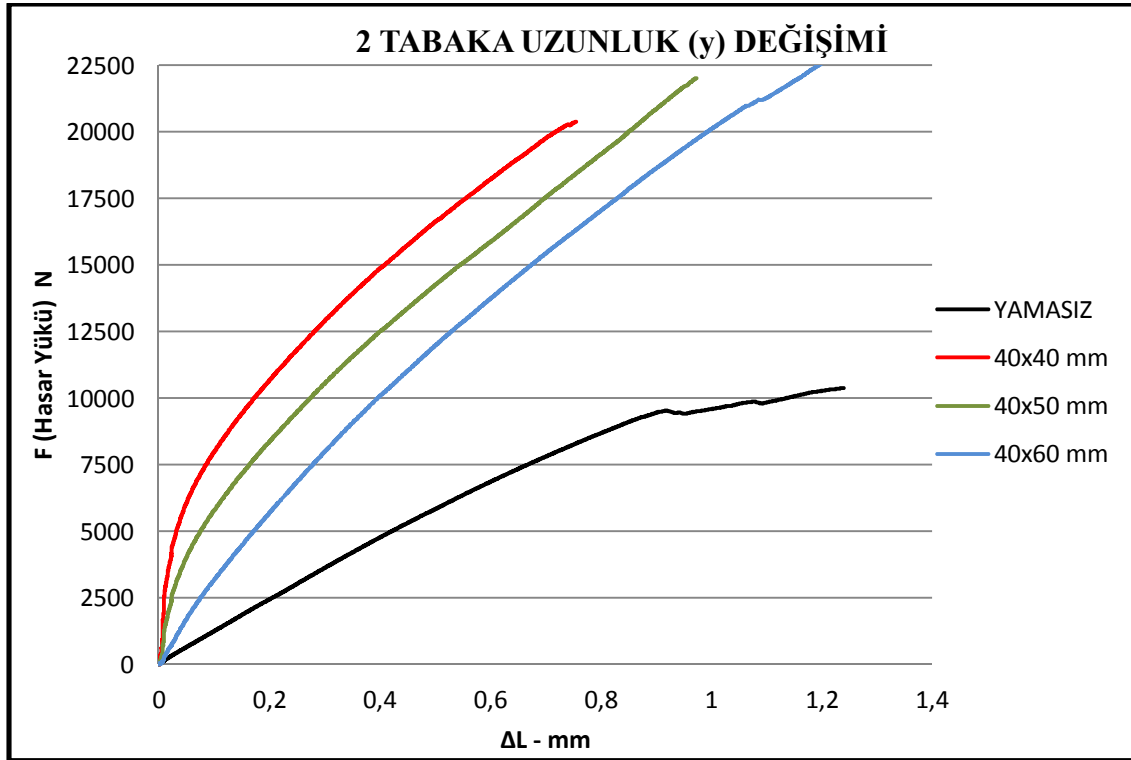
Tabaka sayısı 6 olan; 40x40 mm 23093 N'luk, 50x40 mm 24918 N'luk ve 60x40 mm numuneler ortalama 25764 N'luk hasar yüküne mukavemet göstermişlerdir

40x40 mm %119, 50x40 mm %137 ve 60x40 mm boyutlarında numunenin ise yamasız olarak çekme yüküne maruz bırakılan numuneden %145 oranında fazla yük taşıdığı grafikte görülmektedir.

Malzemenin hasar gördüğü yer yama dışındadır. Bunun sebebi kompozit malzemenin çekme yüküne dik olacak şekilde kesiti alındığında en az yüzey alanına sahip bölgeler yama dışındaki bölgelerdir ve hasarın en fazla olduğu yerlerdir. Bu nedenle çekmeye karşı gösterilen direncin en az olduğu yer yama yapılmayan bölgelerdir. Hasar ilk yama dışındaki bölgelerde oluşur ve tahribat yama dışından gerçekleşir.

4.1.2.3. Yama uzunluğunun (y) hasar yüklerine etkisi

4.1.2.3.1. Tabaka sayısı 2 olan 40x40, 40x50 ve 40x60 mm yamalarda uzunluk değişiminin hasar yüküne etkisi



Şekil 4.7. 2 kat tabakalı 40x40 mm, 40x50 mm, 40x60 mm boyutlarındaki yamalar için hasar yükü değişimleri

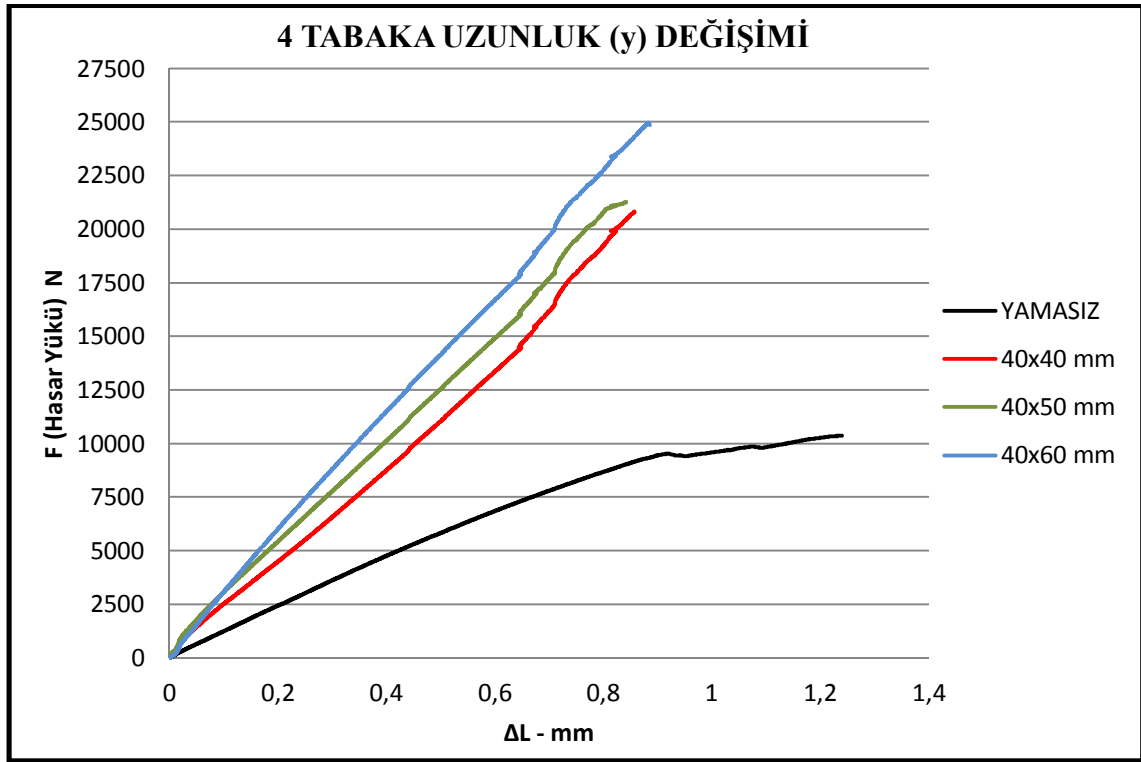
Şekil 4.7'de verildiği gibi yama genişliği (x) ve kalınlığı (z) sabit tutulup yama uzunluğu (y) arttıkça yapışma yüzey alanı da büyüdüğü için hasar yükleri artmaktadır.

Tabaka sayısı 2 olan; 40x40 mm 20400 N'luk, 40x50 mm 21800 N'luk ve 40x60 mm numuneler ortalama 22800 N'luk hasar yüküne mukavemet göstermişlerdir

40x40 mm %94, 40x50 mm %108 ve 40x60 mm boyutlarında numunenin ise yamasız olarak çekme yüküne maruz bırakılan numuneden %117 oranında fazla yük taşıdığı grafikte görülmektedir.

Malzemenin hasar gördüğü yer elips kesitidir. Bunun sebebi kompozit malzemenin çekme yüküne dik olacak şekilde kesiti alındığında en az yüzey alanına sahip bölge elips bölgesidir ve hasarın en fazla olduğu yerdir. Bu nedenle çekmeye karşı gösterilen direncin en az olduğu yer elips uç kısımlarının olduğu bölgedir. Hasar ilk bu bölgede oluşur ve tahribat elips kesitinden gerçekleşir.

4.1.2.3.2. Tabaka sayısı 4 olan 40x40, 40x50 ve 40x60 mm yamalarda uzunluk değişiminin hasar yüküne etkisi



Şekil 4.8. 4 kat tabakalı 40x40 mm, 40x50 mm, 40x60 mm boyutlarındaki yamalar için hasar yükü değişimleri

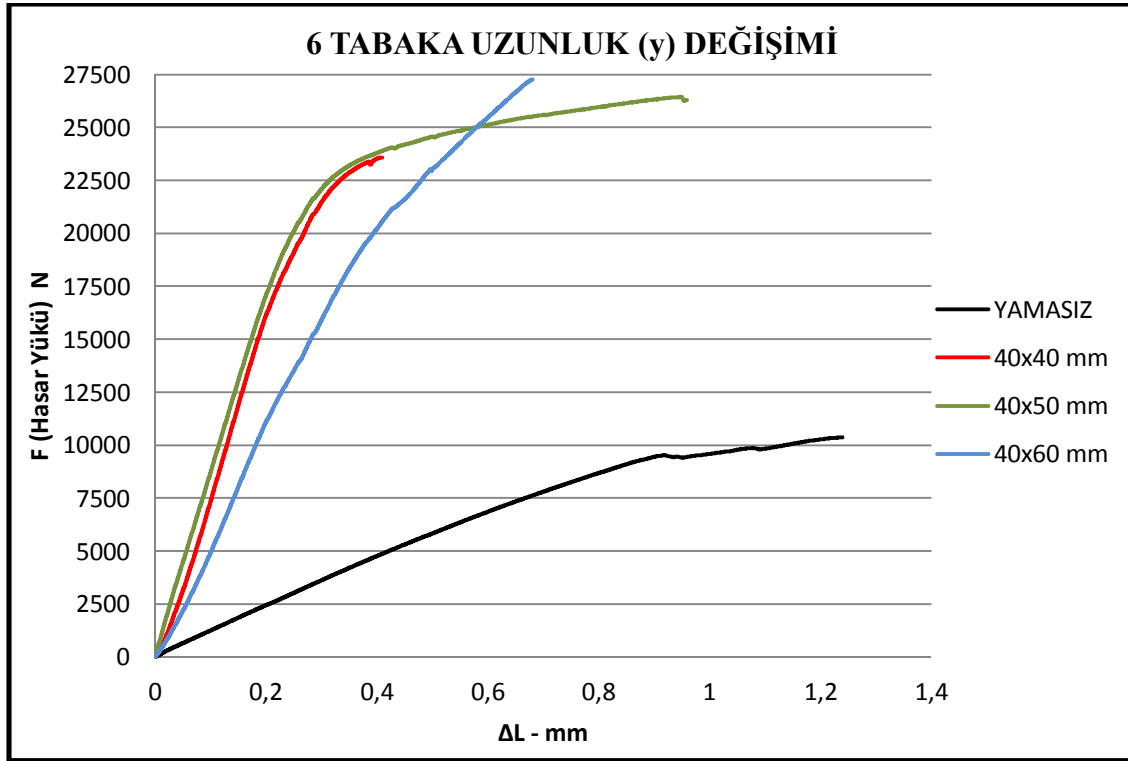
Şekil 4.8'de verildiği gibi yama genişliği (x) ve kalınlığı (z) sabit tutulup yama uzunluğu (y) arttıkça yapışma yüzey alanı da büyüdüğü için hasar yükleri artmaktadır.

Tabaka sayısı 4 olan; 40x40 mm 21500 N'luk, 40x50 mm 22300 N'luk 40x60 mm numuneler ortalama 24067 N'luk hasar yüküne mukavemet göstermişlerdir

40x40 mm %94, 40x50 mm %112 ve 40x60 mm boyutlarında numunenin ise yamasız olarak çekme yüküne maruz bırakılan numuneden %129 oranında fazla yük taşıdığı grafikte görülmektedir.

Malzemenin hasar gördüğü yer yama dışındadır. Bunun sebebi kompozit malzemenin çekme yüküne dik olacak şekilde kesiti alındığında en az yüzey alanına sahip bölgeler yama dışındaki bölgelerdir ve hasarın en fazla olduğu yerlerdir. Bu nedenle çekmeye karşı gösterilen direncin en az olduğu yer yama yapılmayan bölgelerdir. Hasar ilk yama dışındaki bölgelerde oluşur ve tahribat yama dışından gerçekleşir.

4.1.2.3.3. Tabaka sayısı 6 olan 40x40, 40x50 ve 40x60 mm yamalarda uzunluk değişiminin hasar yüküne etkisi



Şekil 4.9. 6 kat tabakalı 40x40 mm, 40x50 mm, 40x60 mm boyutlarındaki yamalar için hasar yükü değişimleri

Şekil 4.9'de verildiği gibi yama genişliği (x) ve kalınlığı (z) sabit tutulup yama uzunluğu (y) arttıkça yapışma yüzey alanı da büyüdüğü için hasar yükleri artmaktadır.

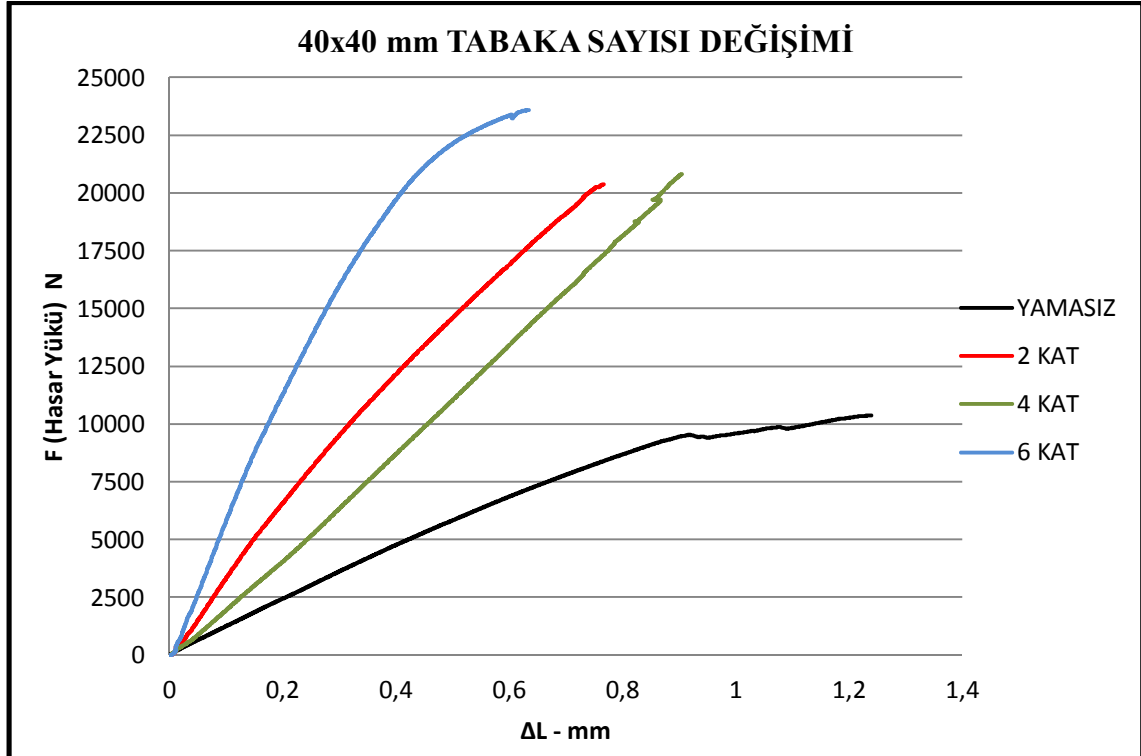
Tabaka sayısı 6 olan; 40x40 mm 23093 N'luk, 40x50 mm 26307 N'luk ve 40x60 mm numuneler ortalama 26921 N'luk hasar yüküne mukavemet göstermişlerdir.

40x40 mm %119, 40x50 mm %151, 40x60 mm boyutlarında numunenin ise yamasız olarak çekme yüküne maruz bırakılan numuneden %156 oranında fazla yük taşıdığı grafikte görülmektedir.

Malzemenin hasar gördüğü yer yama dışındadır. Bunun sebebi kompozit malzemenin çekme yüküne dik olacak şekilde kesiti alındığında en az yüzey alanına sahip bölgeler yama dışındaki bölgelerdir ve hasarın en fazla olduğu yerlerdir. Bu nedenle çekmeye karşı gösterilen direncin en az olduğu yer yama yapılmayan bölgelerdir. Hasar ilk yama dışındaki bölgelerde oluşur ve tahribat yama dışından gerçekleşir.

4.1.2.4. Yama kalınlığının (z) hasar yüklerine etkisi

4.1.2.4.1. 40x40 mm genişlik ve uzunluğa sahip yamalarda tabaka sayısının 2, 4 ve 6 kat olarak değişiminin hasar yüküne etkisi



Şekil 4.10. 40x40 mm genişlik ve uzunluğa sahip yamanın 2 kat, 4 kat ve 6 kat tabaka sayılarında hasar yükü değişimleri

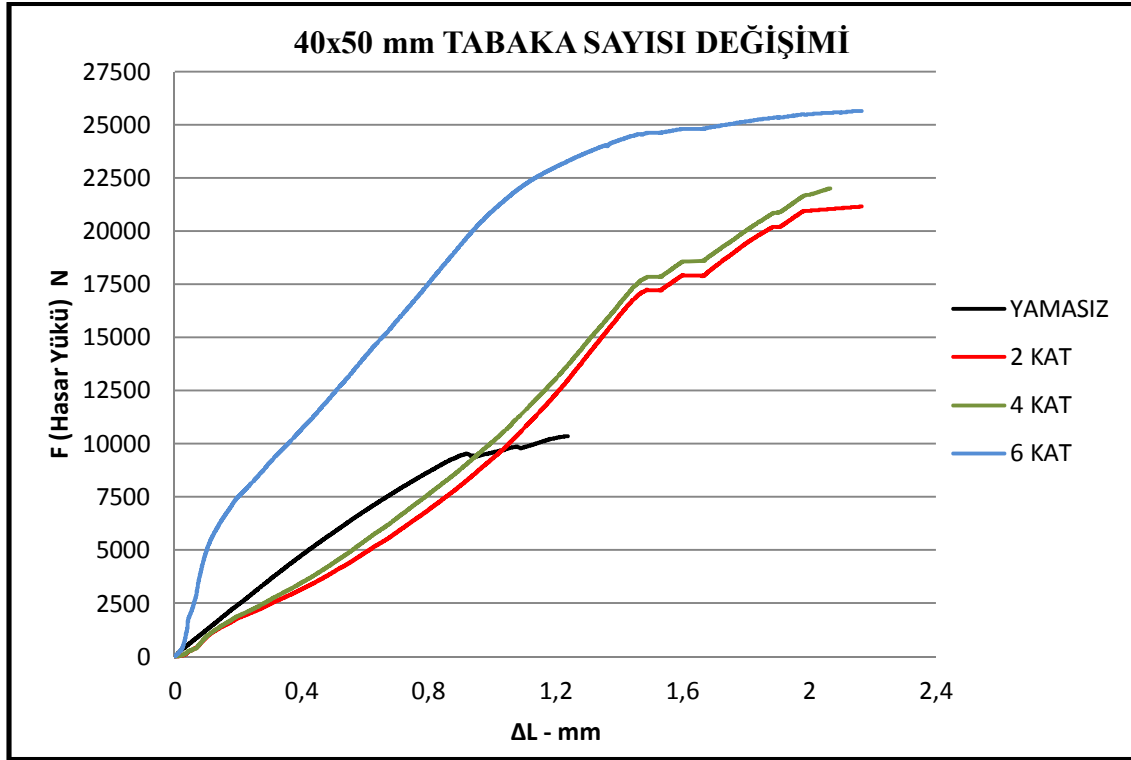
Şekil 4.10'da verildiği gibi yama genişliği (x) ve uzunluğu (y) sabit tutulup yama kalınlığı (z) arttıkça tabaka sayısı arttığı için hasar yükleri artmaktadır.

40x40 mm uzunluk ve genişliğe sahip olan; 2 kat 20400 N'luk, 4 kat 21500 N'luk ve 6 kat numuneler ortalama 23093 N'luk hasar yüküne mukavemet göstermişlerdir

2 kat %94, 4 kat %104 ve 6 kat numunenin ise yamasız olarak çekme yüküne maruz bırakılan numuneden %119 oranında fazla yük taşıdığı görülmektedir.

Malzemenin hasar gördüğü yer 2 katta elips kesiti 4 ve 6 katta yama dışındadır. Bunun sebebi kompozit malzemenin çekme yüküne dik olacak şekilde kesiti alındığında 2 katta az, 4 ve 6 katta fazla yüzey alanına sahip olmasıdır Bu nedenle çekmeye karşı gösterilen direncin en az olduğu ve tahribatının ilk başladığı yer 2 katta elips kesiti 4 ve 6 katta yama dışındadır.

4.1.2.4.2. 40x50 mm genişlik ve uzunluğa sahip yamalarda tabaka sayısının 2, 4 ve 6 kat olarak değişiminin hasar yüküne etkisi



Şekil 4.11. 40x50 mm genişlik ve uzunluğa sahip yamanın 2 kat, 4 kat ve 6 kat tabaka sayılarında hasar yükü değişimleri

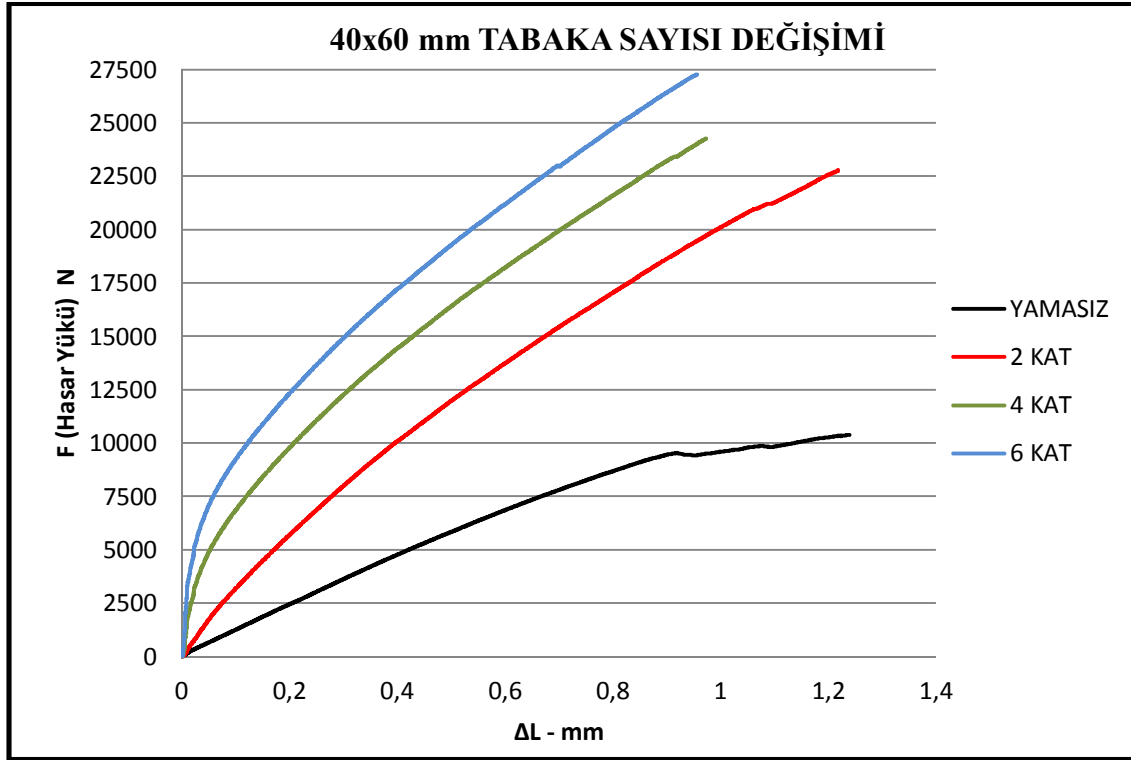
Şekil 4.11'de verildiği gibi yama genişliği (x) ve uzunluğu (y) sabit tutulup yama kalınlığı (z) arttıkça tabaka sayısı arttığı için hasar yükleri artmaktadır.

40x50 mm uzunluk ve genişliğe sahip olan; 2 kat 21800 N'luk, 4 kat 22300 N'luk ve 6 kat numuneler ortalama 26307 N'luk hasar yüküne mukavemet göstermişlerdir

2 kat %107, 4 kat %112 ve 6 kat numunenin ise yamasız olarak çekme yüküne maruz bırakılan numuneden %151 oranında fazla yük taşıdığı görülmektedir.

Malzemenin hasar gördüğü yer 2 katta elips kesiti 4 ve 6 katta yama dışındadır. Bunun sebebi kompozit malzemenin çekme yüküne dik olacak şekilde kesiti alındığında 2 katta az, 4 ve 6 katta fazla yüzey alanına sahip olmasıdır Bu nedenle çekmeye karşı gösterilen direncin en az olduğu ve tahribatının ilk başladığı yer 2 katta elips kesiti 4 ve 6 katta yama dışındadır.

4.1.2.4.3. 40x60 mm genişlik ve uzunluğa sahip yamaların tabaka sayısının 2, 4 ve 6 kat olarak değişiminin hasar yüküne etkisi



Şekil 4.12. 40x60 mm genişlik ve uzunluğa sahip yamanın 2 kat, 4 kat ve 6 kat tabaka sayılarında hasar yükü değişimleri

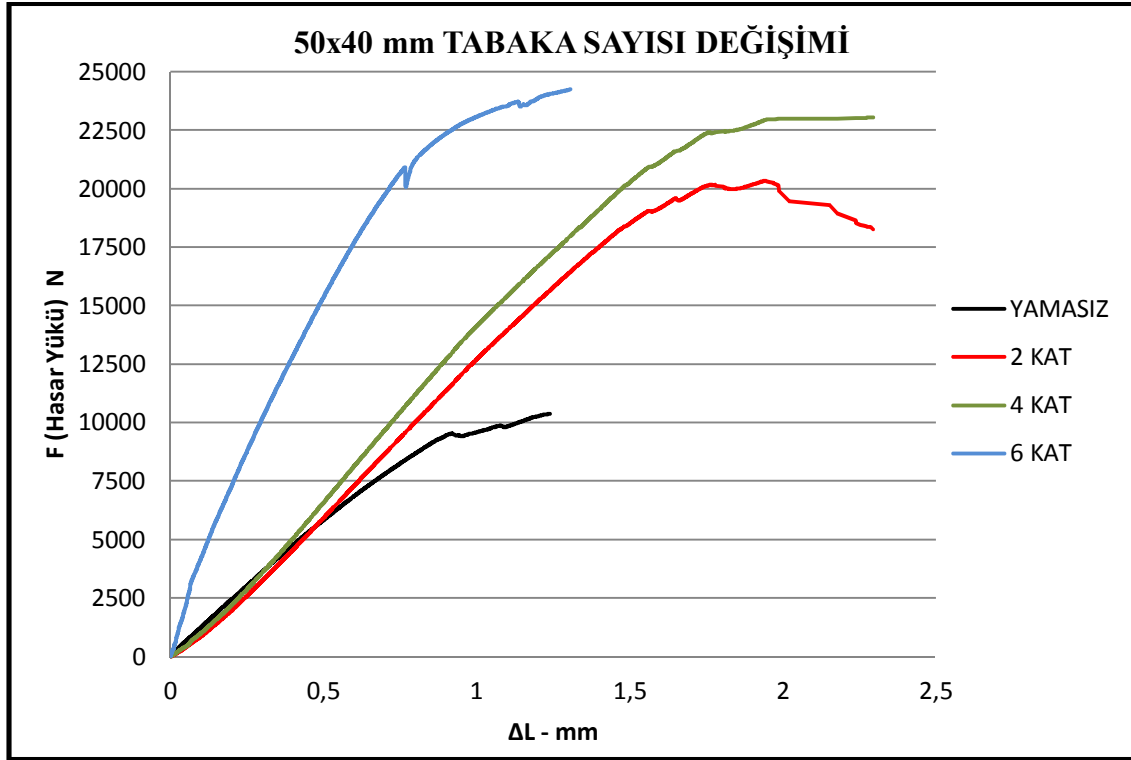
Şekil 4.12'de verildiği gibi yama genişliği (x) ve uzunluğu (y) sabit tutulup yama kalınlığı (z) arttıkça tabaka sayısı arttığı için hasar yükleri artmaktadır.

40x60 mm uzunluk ve genişliğe sahip olan; 2 kat 22800 N'luk, 4 kat 24067 N'luk ve 6 kat numuneler ortalama 26921 N'luk hasar yüküne mukavemet göstermişlerdir

2 kat %107, 4 kat %129 ve 6 kat numunenin ise yamasız olarak çekme yüküne maruz bırakılan numuneden %156 oranında fazla yük taşıdığı görülmektedir.

Malzemenin hasar gördüğü yer 2 katta elips kesiti 4 ve 6 katta yama dışındadır. Bunun sebebi kompozit malzemenin çekme yüküne dik olacak şekilde kesiti alındığında 2 katta az, 4 ve 6 katta fazla yüzey alanına sahip olmasıdır Bu nedenle çekmeye karşı gösterilen direncin en az olduğu ve tahribatının ilk başladığı yer 2 katta elips kesiti 4 ve 6 katta yama dışındadır.

4.1.2.4.4. 50x40 mm genişlik ve uzunluğa sahip yamalarda tabaka sayısının 2, 4 ve 6 kat olarak değişiminin hasar yüküne etkisi



Şekil 4.13. 50x40 mm genişlik ve uzunluğa sahip yamanın 2 kat, 4 kat ve 6 kat tabaka sayılarında hasar yükü değişimleri

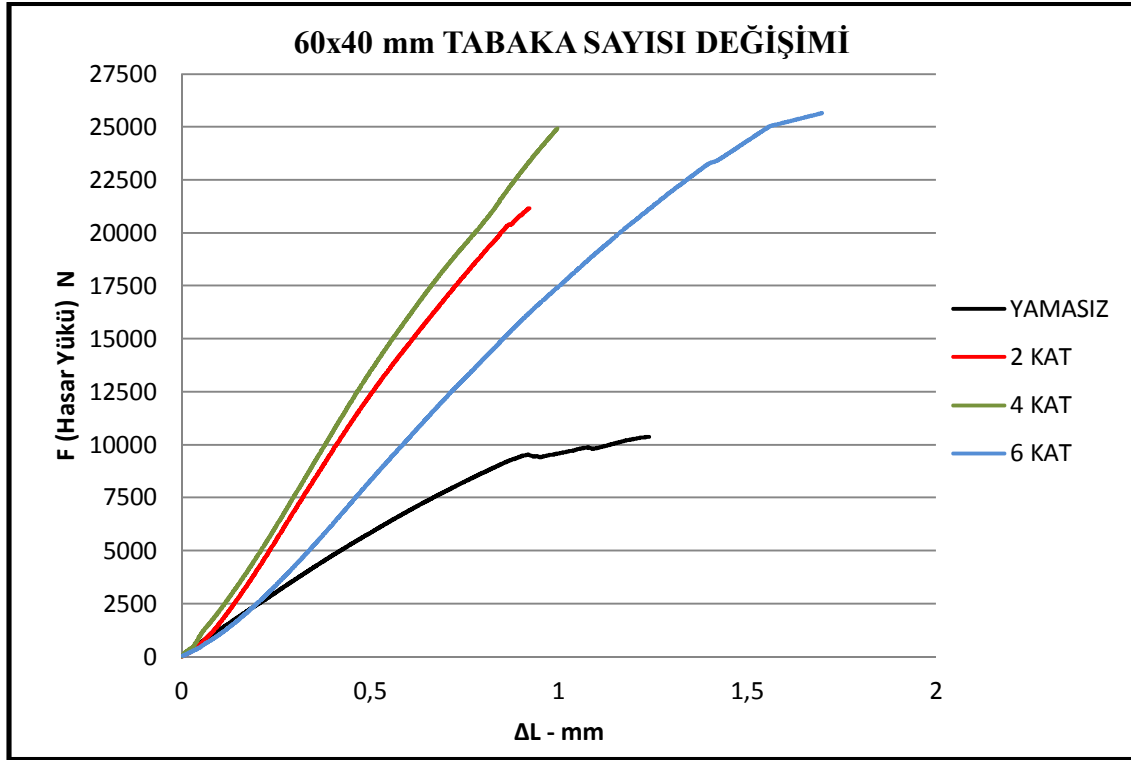
Şekil 4.13'de verildiği gibi yama genişliği (x) ve uzunluğu (y) sabit tutulup yama kalınlığı (z) arttıkça tabaka sayısı arttığı için hasar yükleri artmaktadır.

50x40 mm uzunluk ve genişliğe sahip olan; 2 kat 20633 N'luk, 4 kat 24567 N'luk ve 6 kat numuneler ortalama 24918 N'luk hasar yüküne mukavemet göstermişlerdir

2 kat %97, 4 kat %133 ve 6 kat numunenin ise yamasız olarak çekme yüküne maruz bırakılan numuneden %137 oranında fazla yük taşıdığı görülmektedir.

Malzemenin hasar gördüğü yer 2 katta elips kesiti 4 ve 6 katta yama dışındadır. Bunun sebebi kompozit malzemenin çekme yüküne dik olacak şekilde kesiti alındığında 2 katta az, 4 ve 6 katta fazla yüzey alanına sahip olmasıdır Bu nedenle çekmeye karşı gösterilen direncin en az olduğu ve tahribatının ilk başladığı yer 2 katta elips kesiti 4 ve 6 katta yama dışındadır.

4.1.2.4.5. 60x40 mm genişlik ve uzunluğa sahip yamalarda tabaka sayısının 2, 4 ve 6 kat olarak değişiminin hasar yüküne etkisi



Şekil 4.14. 60x40 mm genişlik ve uzunluğa sahip yamanın 2 kat, 4 kat ve 6 kat tabaka sayılarında hasar yükü değişimleri

Şekil 4.14'de verildiği gibi yama genişliği (x) ve uzunluğu (y) sabit tutulup yama kalınlığı (z) arttıkça tabaka sayısı arttığı için hasar yükleri artmaktadır.

60x40 mm uzunluk ve genişliğe sahip olan; 2 kat 21100 N'luk, 4 kat 24967 N'luk ve 6 kat numuneler ortalama 25764 N'luk hasar yüküne mukavemet göstermişlerdir

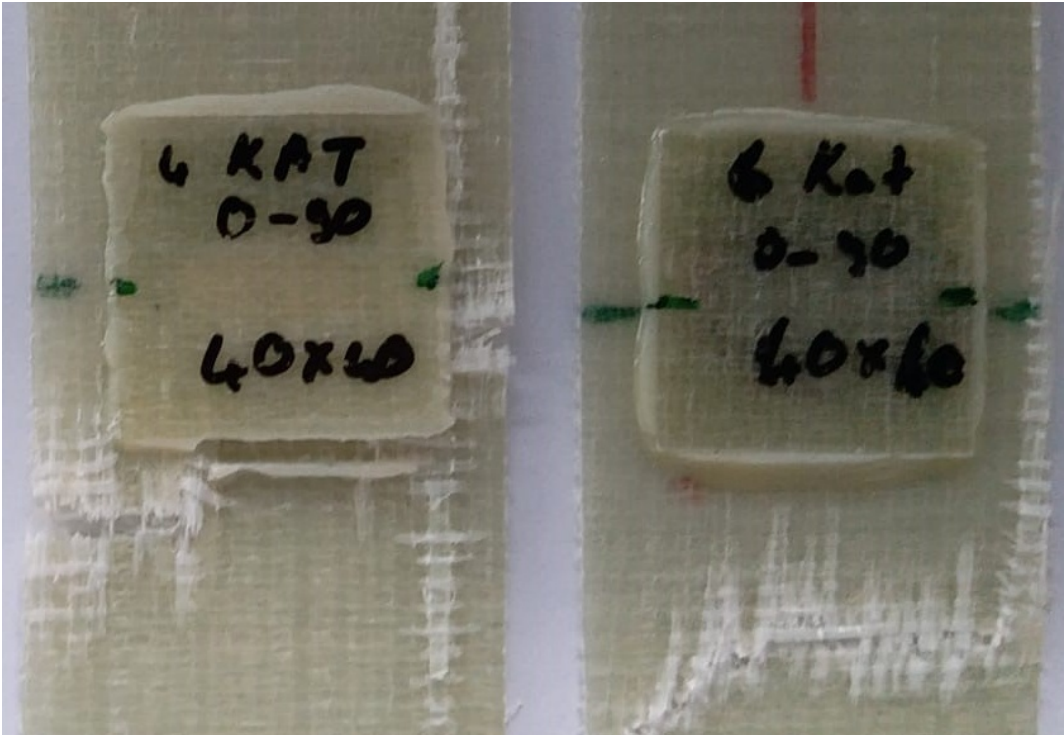
2 kat %101, 4 kat %138 ve 6 kat numunenin ise yamasız olarak çekme yüküne maruz bırakılan numuneden %145 oranında fazla yük taşıdığı görülmektedir.

Malzemenin hasar gördüğü yer 2 katta elips kesiti 4 ve 6 katta yama dışındadır. Bunun sebebi kompozit malzemenin çekme yüküne dik olacak şekilde kesiti alındığında 2 katta az, 4 ve 6 katta fazla yüzey alanına sahip olmasıdır Bu nedenle çekmeye karşı gösterilen direncin en az olduğu ve tahribatının ilk başladığı yer 2 katta elips kesiti 4 ve 6 katta yama dışındadır.

Şekil 4.15'te tabaka sayısı 2 olan yamalarda görülen elips kesitinden kopma, Şekil4.16'da tabaka sayısı 4 ve 6 olan yamalarda görülen yama dışından kopmalar gösterilmiştir.



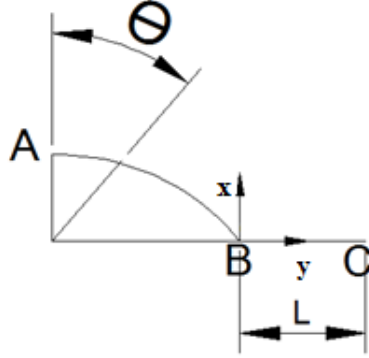
Şekil 4.15. Tabaka sayısı 2 olan yamalarda görülen elips kesitinden kopma anı



Şekil 4.16. Tabaka sayısı 4 ve 6 olan yamalarda görülen yama dışından kopma anı

4.2. Nümerik Bulgular

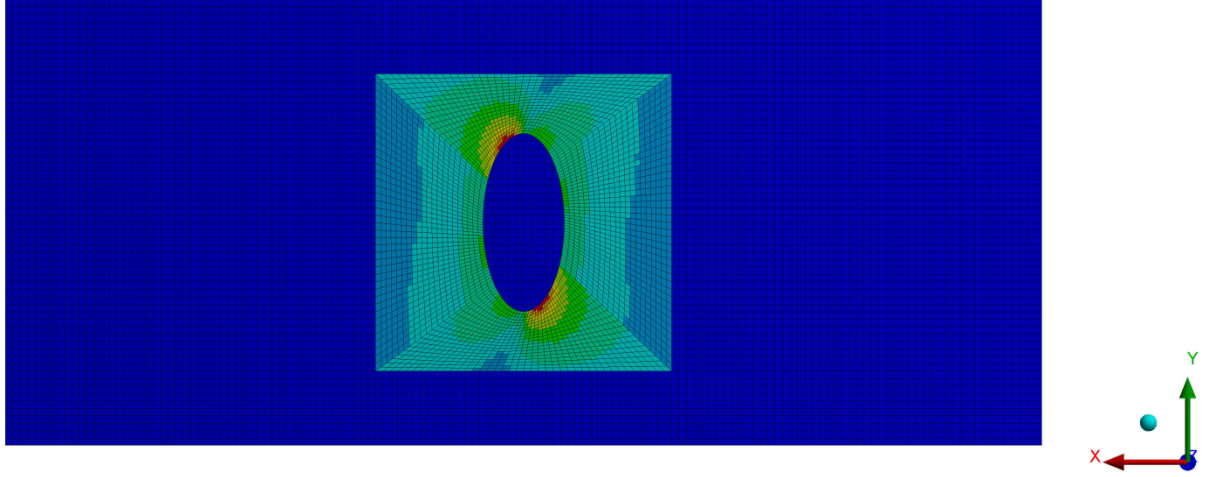
Nümerik analizde incelenen cam elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerindeki gerilme hatları Şekil 4.17'de verilmiştir.



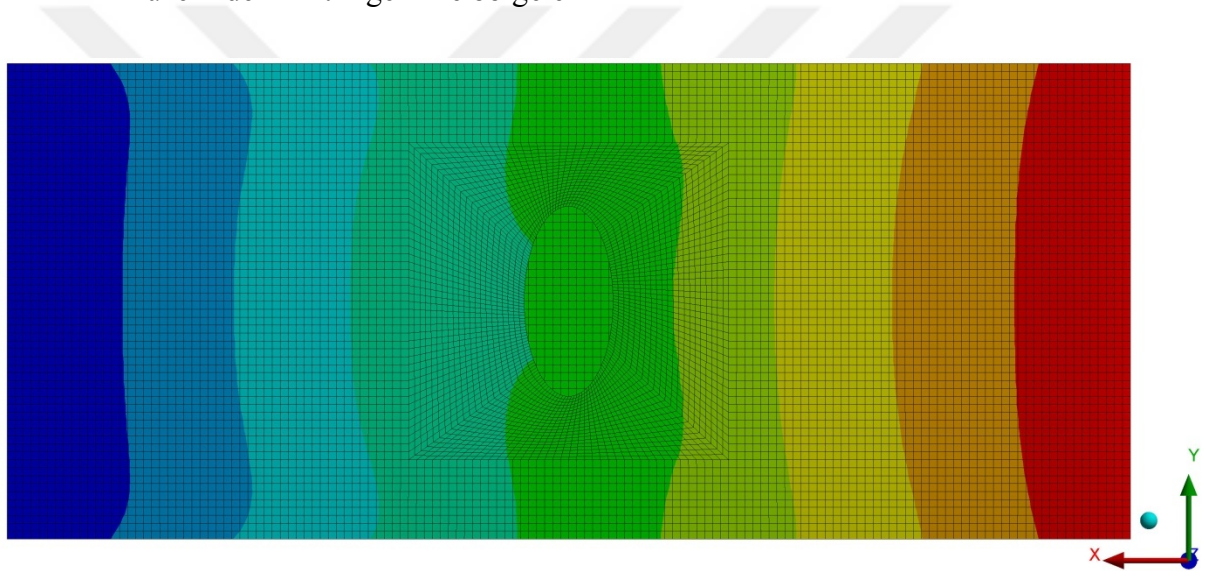
Şekil 4.17. Nümerik analizde incelenen AB ve BC gerilme hatları

AB Hattı tamir edilecek levha üzerine açılan eliptik hasarın $\frac{1}{4}$ kısmını gösterir. BC Hattı ise Eliptik hasarın uzun köşegeninin ucu ile levhanın kenarı arasında kalan mesafe olarak tanımlanmış olup; sayısal olarak grafiklendirilmiştir. Nümerik analizde en kritik bölge olan BC hattı üzerindeki gerilme dağılımları incelenmiştir.

ANSYS programı ile yapılan nümerik analiz sonrasında, hasarlı numune üzerindeki kritik gerilme bölgeleri Şekil 4.18 ve 4.19'da verilmiştir. Kritik gerilme bölgeleri incelendiğinde, en kritik bölgelerin yama sınırları olduğu görülmektedir. Bu da deneysel hasar durumlarına uygundur. Çünkü numuneler tam bu bölgelerden plastik (kalıcı) olarak çekmeye maruz kalmıştır. Diğer bir kritik bölge de elips uzun köşegenlerinin uçlarında görülmektedir. Bu da normaldir. Çünkü bu bölgelerde çentik etkisi artmaktadır. Aşağıdaki nümerik analizlerde maksimum gerilme görülen yama bitimleri değil de, bu çalışmada özellikle incelenen elips uzun köşegen uçları ile lama kenarı arasındaki kritik gerilme bölgesi yukarıdaki şekilde verilen BC hattında incelenmiştir.



Şekil 4.18. ANSYS programı ile yapılan nümerik analiz sonrasında, 2 tabakalı numune üzerindeki kritik gerilme bölgeleri



Şekil 4.19. ANSYS programı ile yapılan nümerik analiz sonrasında, 4 ve 6 tabakalı numune üzerindeki kritik gerilme bölgeleri

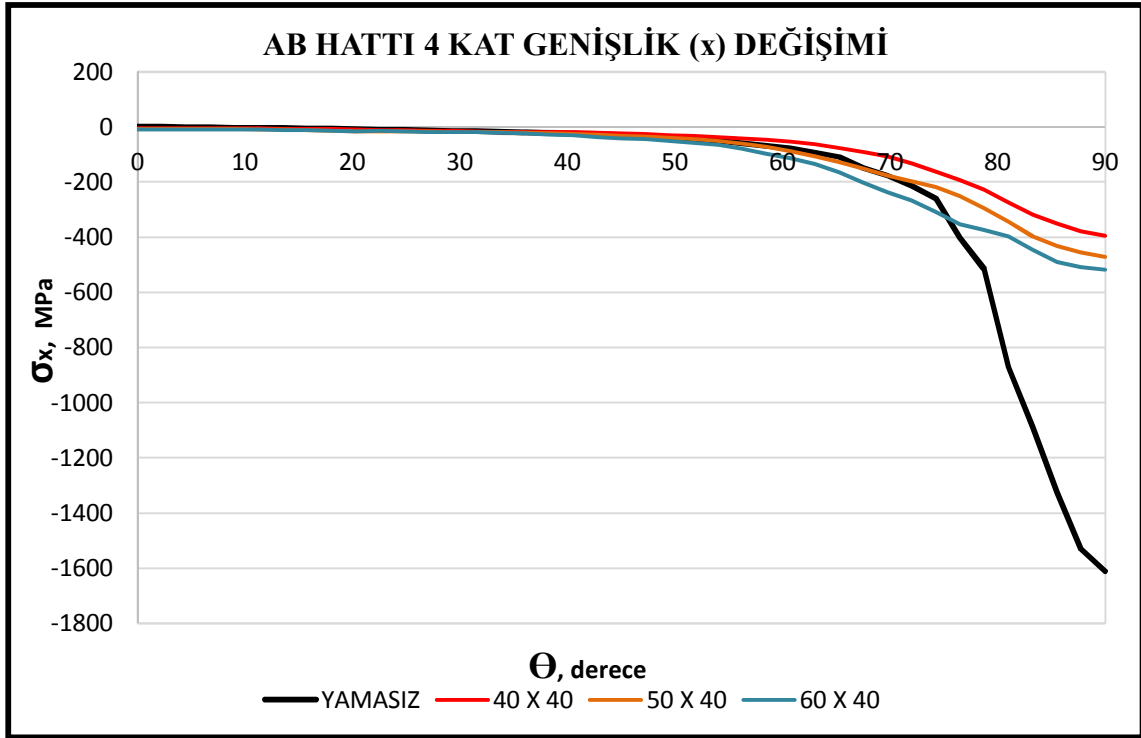
4.2.1. AB hattı

AB hattı malzeme üzerine açılan eliptik deliğin çeyrek kısmıdır. Bu çeyrek kısım açısal olarak grafiklenmiştir.

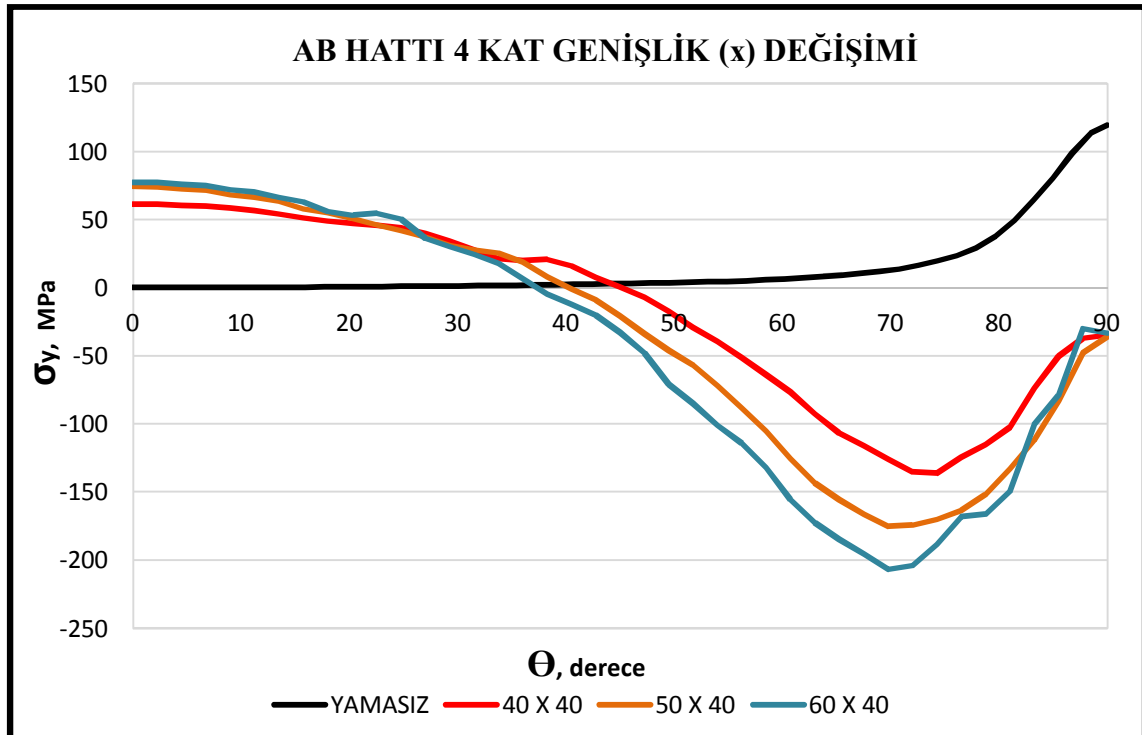
4.2.1.1. Hasarlı numunelerde yama boyutlarının değişiminin nümerik hasar yüklerine etkisi

Hasarlı numunemizin tamiri değişik boyutlardaki yamalar vasıtasıyla tamir edilmiştir. Bu yamaların genişlik, uzunluk ve tabaka sayısı olarak değişimleri sayısal olarak incelenerek grafikler elde edilmiştir.

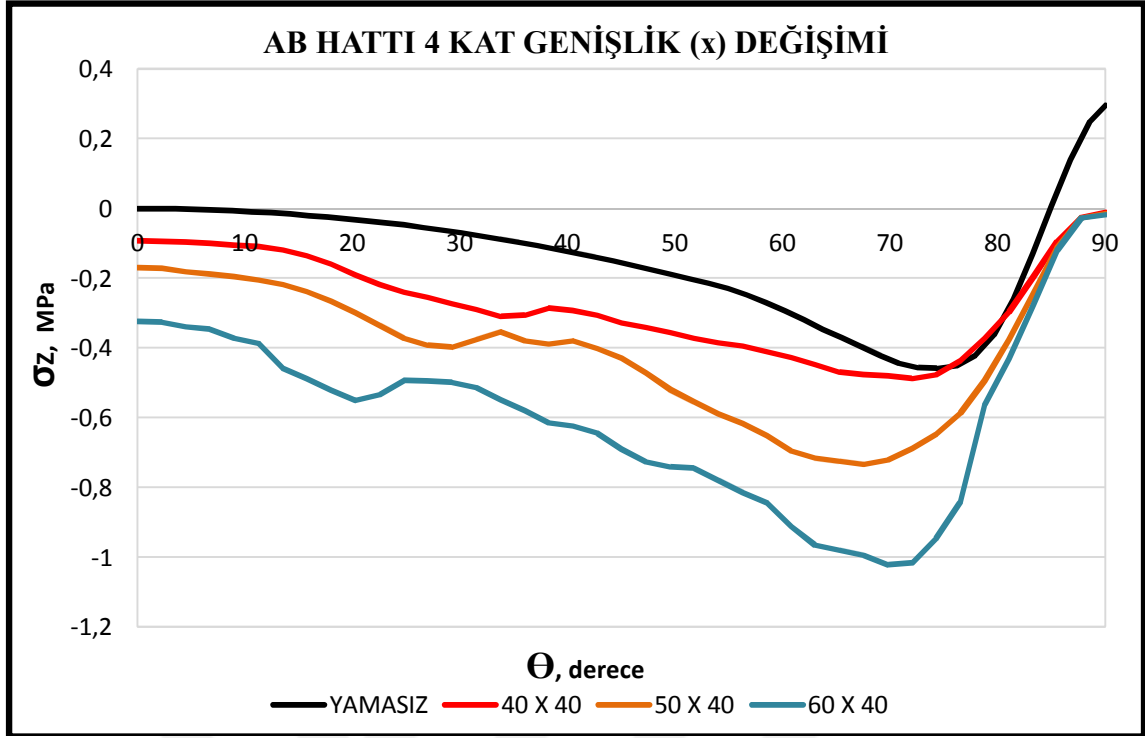
4.2.1.1.1. Tabaka sayısı 4 olan 40x40, 50x40 ve 60x40 mm yamalarda genişlik (x) değişiminin hasar yüküne etkisi



Şekil 4.20. Boyutları 40x40, 50x40 ve 60x40 mm olan yama genişliği (x) değişiminin AB hattı üzerindeki ($\sigma_x - \Theta$) gerilme dağılım grafiği



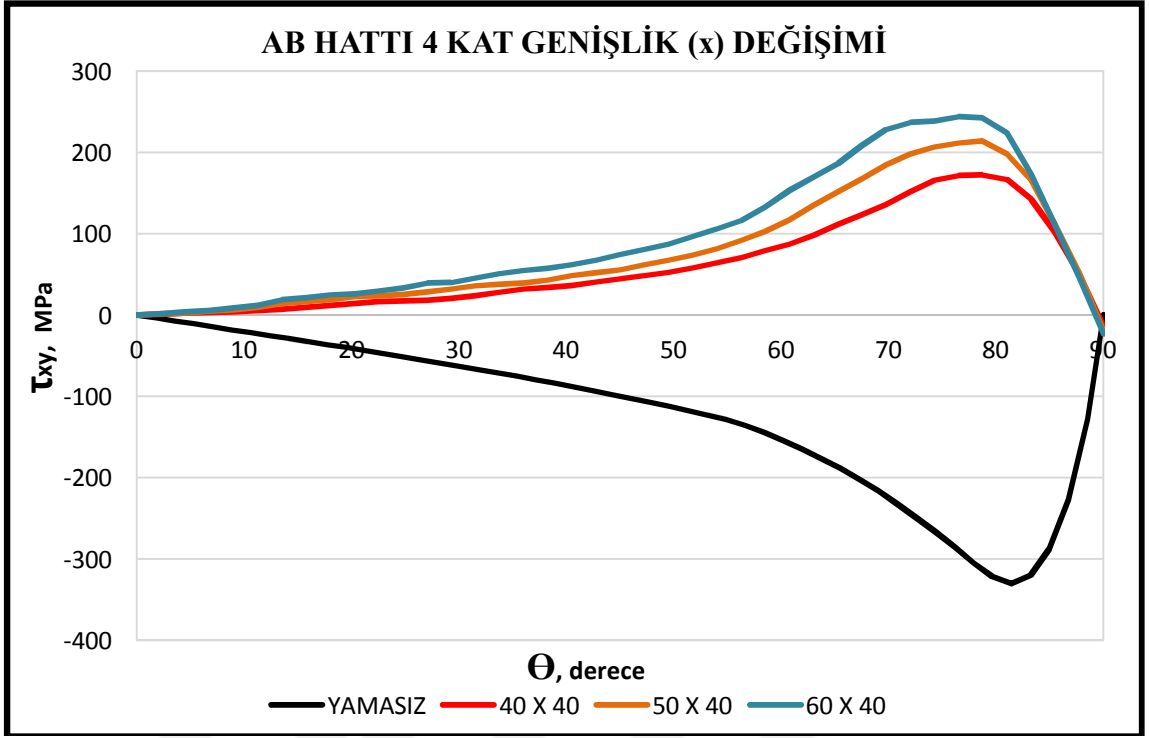
Şekil 4.21. Boyutları 40x40, 50x40 ve 60x40 mm olan yama genişliği (x) değişiminin AB hattı üzerindeki ($\sigma_y - \Theta$) gerilme dağılım grafiği



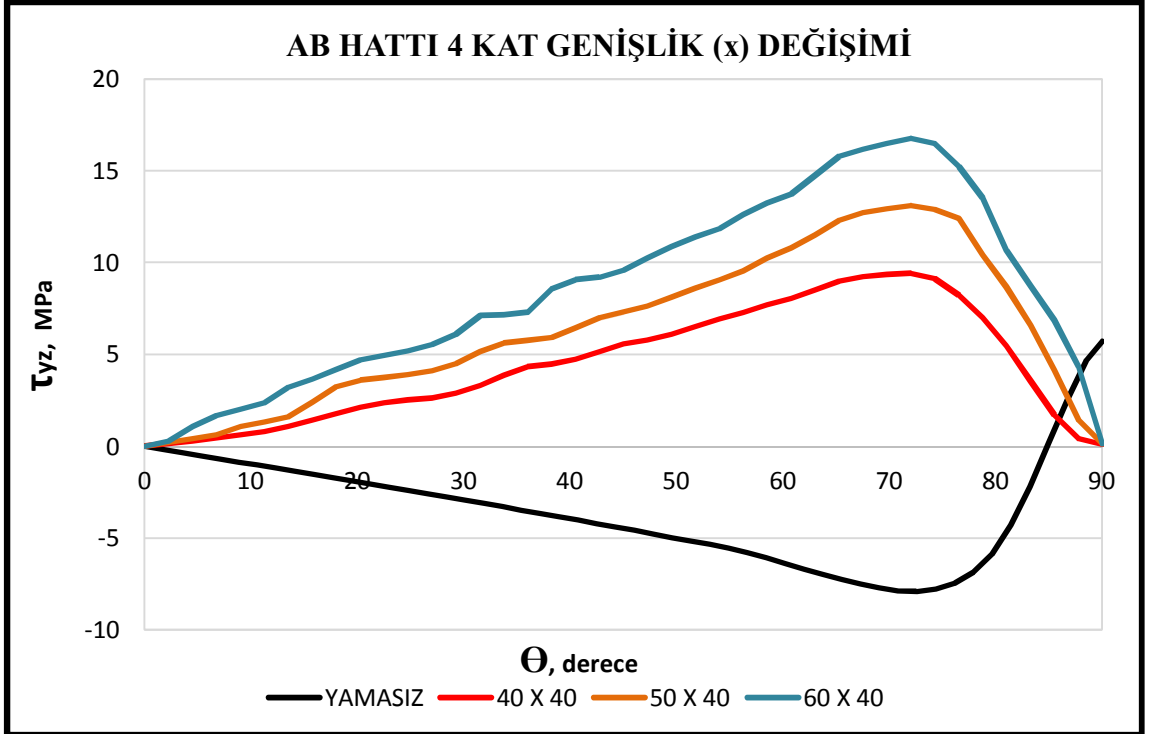
Şekil 4.22. Boyutları 40x40, 50x40 ve 60x40 mm olan yama genişliği (x) değişiminin AB hattı üzerindeki ($\sigma_z - \Theta$) gerilme dağılım grafiği

Şekil 4.20, 4.21, ve 4.22'de yama genişliği (x) 40, 50 ve 60 mm olan cam elyaf takviyeli kompozit numunelerin, AB hattı boyunca (σ_x , σ_y , σ_z) gerilme dağılımları verilmiştir. σ_x gerilmeleri A noktasında negatif değerde başlayıp Θ açisal değeri arttıkça azalma göstermiştir, B noktasında ise yamanın genişliği arttıkça σ_x gerilmeleri de negatif değerde artarak minimuma ulaşmıştır. σ_y , A noktasında pozitif değerde başlamış Θ açisal değeri 0° - 70° arasında azalma göstermiş 70° - 80° arasında minimuma ulaşmıştır ve 80° - 90° arasında artmıştır. σ_z gerilmeleri A noktasında negatif değerde başlamış Θ açisal değeri 0° - 70° arasında azalma göstermiş 70° - 80° arasında minimuma ulaşmıştır ve 80° - 90° arasında artma meydana gelmiştir.

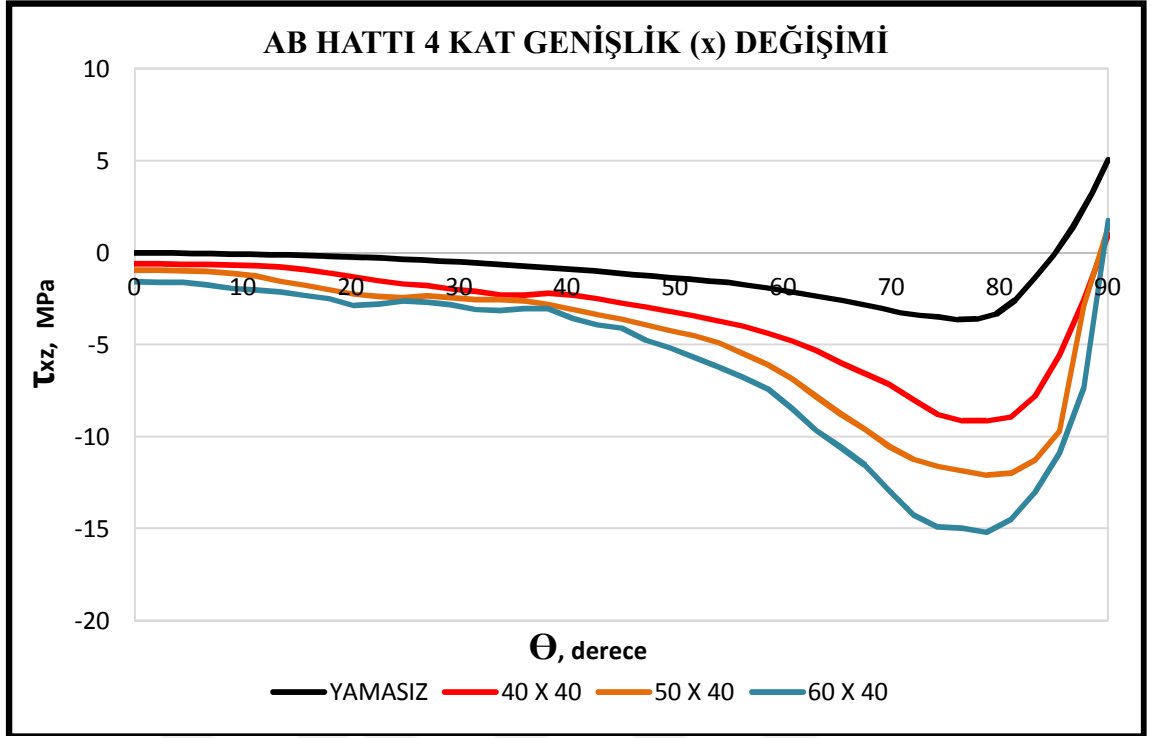
Numunelerde σ_x , σ_y , σ_z gerilmelerininin yama genişliği arttıkça maksimum noktasında artış gösterme sebebi, yapıştırılmış yüzey alanının fazla olmasıdır.



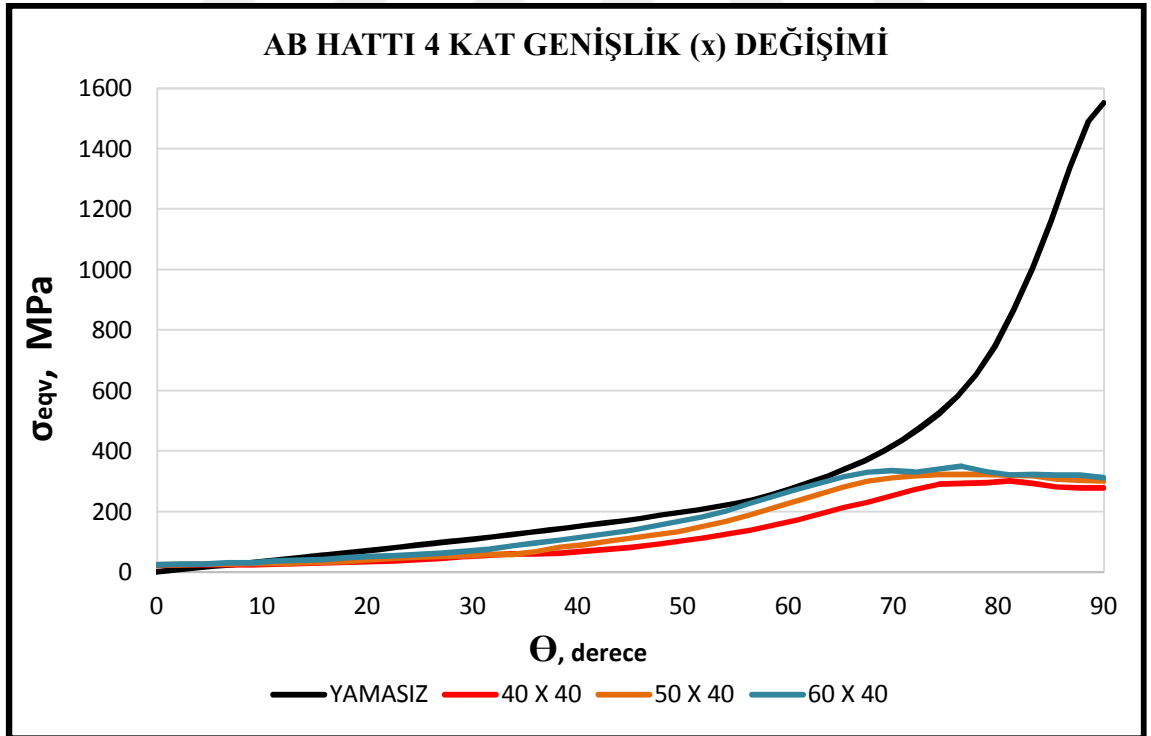
Şekil 4.23. Boyutları 40x40, 50x40 ve 60x40 mm olan yama genişliği (x) değişiminin AB hattı üzerindeki (τ_{xy} - Θ) gerilme dağılım grafiği



Şekil 4.24. Boyutları 40x40, 50x40 ve 60x40 mm olan yama genişliği (x) değişiminin AB hattı üzerindeki (τ_{yz} - Θ) gerilme dağılım grafiği



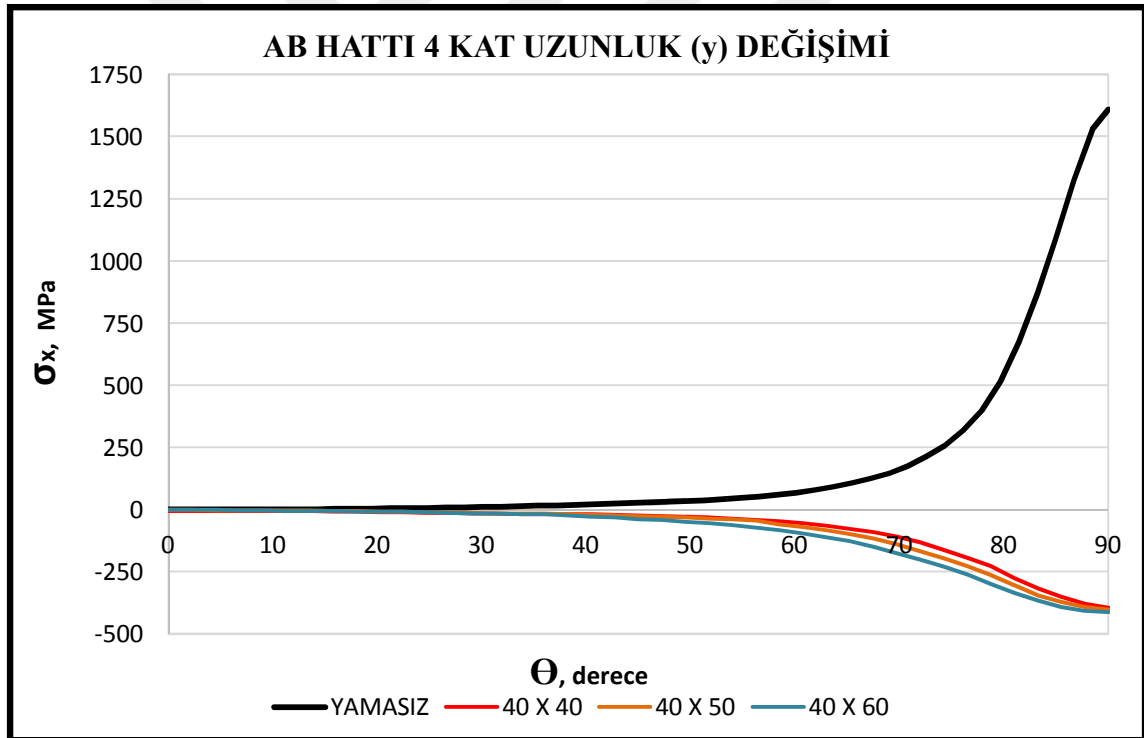
Şekil 4.25. Boyutları 40x40, 50x40 ve 60x40 mm olan yama genişliği (x) değişiminin AB hattı üzerindeki (τ_{xz} - Θ) gerilme dağılım grafiği



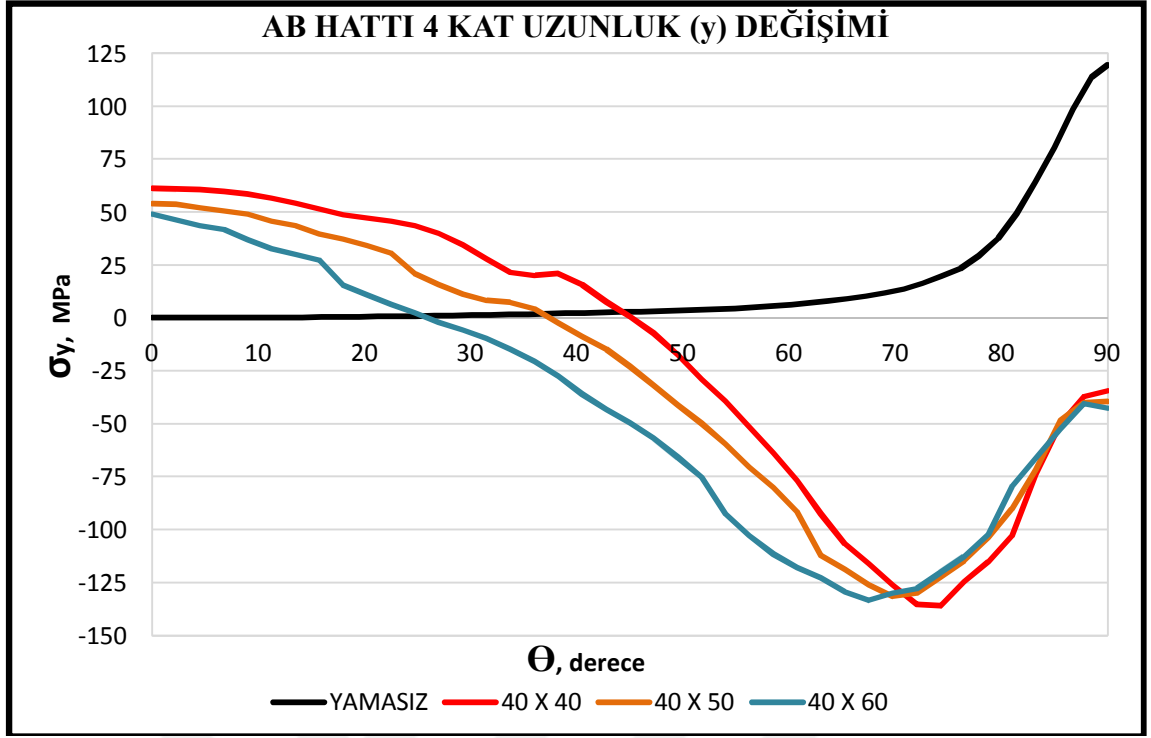
Şekil 4.26. Boyutları 40x40, 50x40 ve 60x40 mm olan yama genişliği (x) değişiminin AB hattı üzerindeki (σ_{eqv} - Θ) gerilme dağılım grafiği

Şekil 4.23, 4.24, 4.25, ve 4.26'de yama genişliği (x) 40, 50 ve 60 mm olan cam elyaf takviyeli kompozit numunelerin AB, hattı boyunca (τ_{xy} , τ_{yz} , τ_{xz} , σ_{eqv}) gerilme dağılımları verilmiştir. τ_{xy} gerilmeleri A noktasında 0'a yakın bir değerde başlayıp 0^0-70^0 arasında artış göstermiştir, 70^0-80^0 arasında maksimuma ulaşmıştır ve 80^0-90^0 arasında azalma meydana gelmiştir. τ_{yz} gerilmeleri A noktasında 0'a yakın bir değerde başlayıp 0^0-70^0 arasında artış göstermiştir, 70^0-80^0 maksimuma ulaşmıştır ve 80^0-90^0 arasında azalma meydana gelmiştir. τ_{xz} gerilmeleri A noktasında negatif bir değerde başlayıp 0^0-75^0 arasında azalma göstermiştir, 75^0-85^0 minimuma ulaşmıştır ve 85^0-90^0 arasında artma meydana gelmiştir. σ_{eqv} gerilmeleri A noktasında pozitif bir değerde başlayıp 0^0-70^0 arasında artış göstermiştir, 70^0-90^0 hızlı bir artışla maksimuma ulaşmıştır

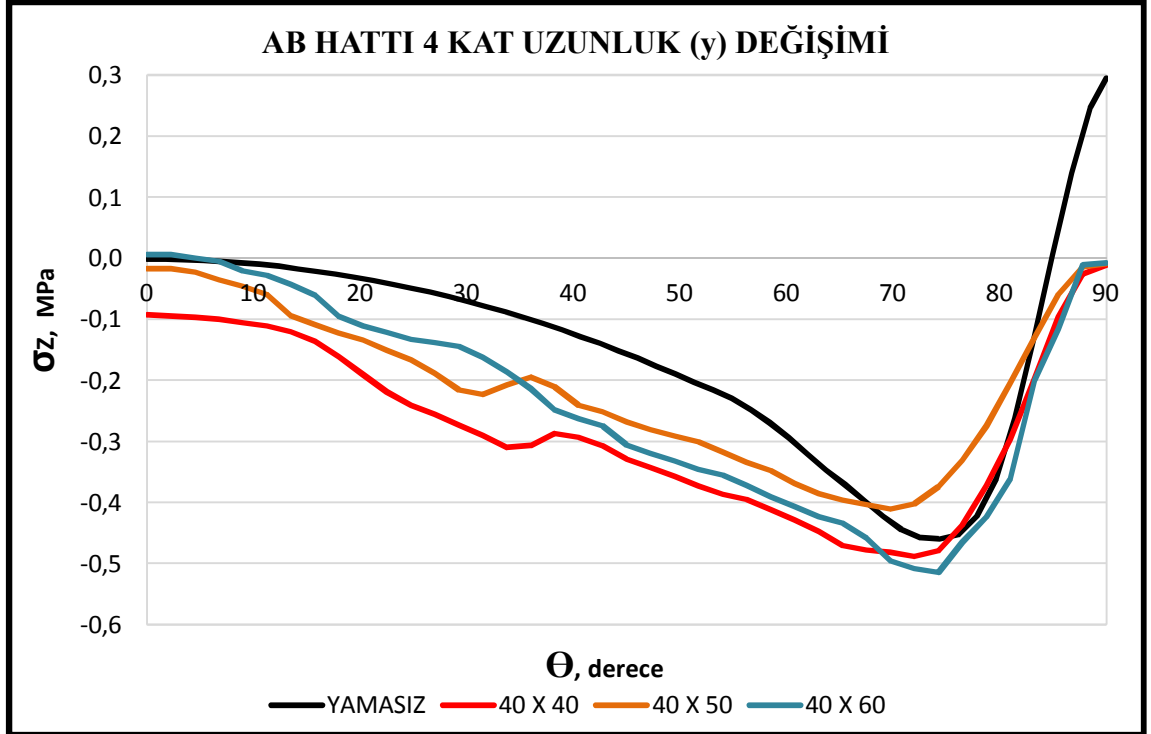
4.2.1.1.2. Tabaka sayısı 4 olan 40x40, 40x50 ve 40x60 mm yamalarda uzunluk (y) değişiminin hasar yüküne etkisi



Şekil 4.27. Boyutları 40x40, 40x50 ve 40x60 mm olan yama uzunluğu (y) değişiminin AB hattı üzerindeki ($\sigma_x - \Theta$) gerilme dağılım grafiği

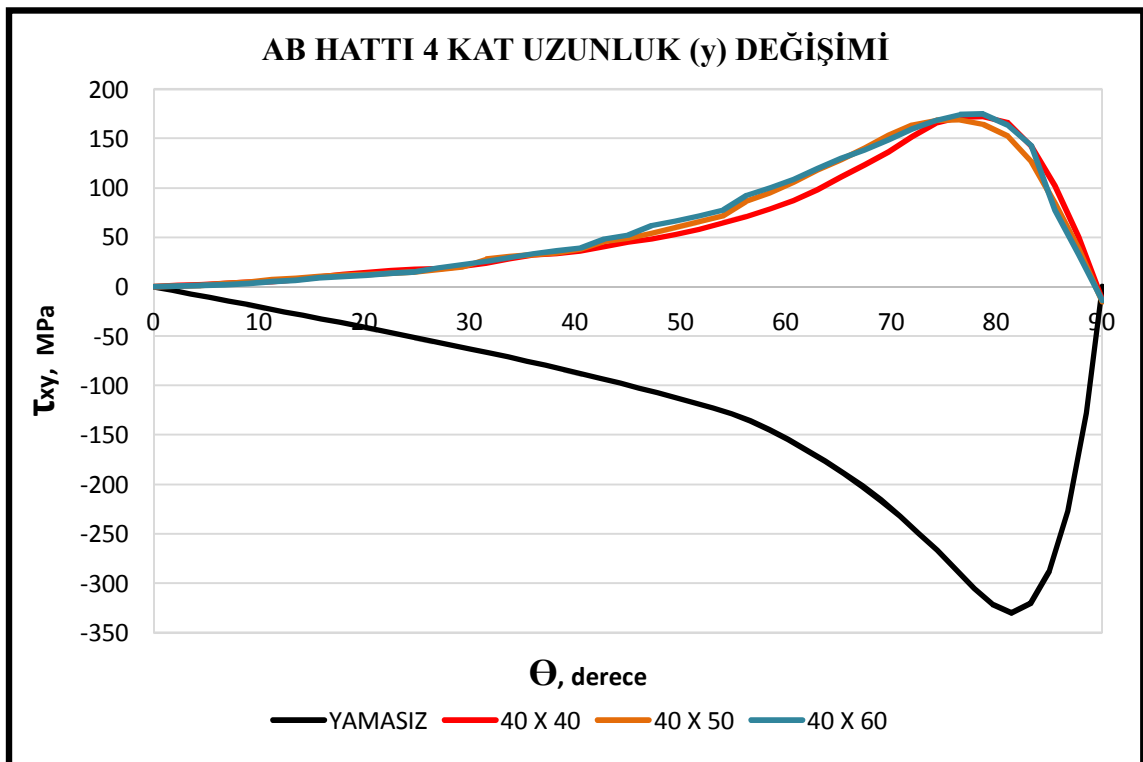


Şekil 4.28. Boyutları 40x40, 40x50 ve 40x60 mm olan yama uzunluğu (y) değişiminin AB hattı üzerindeki ($\sigma_y - \Theta$) gerilme dağılım grafiği

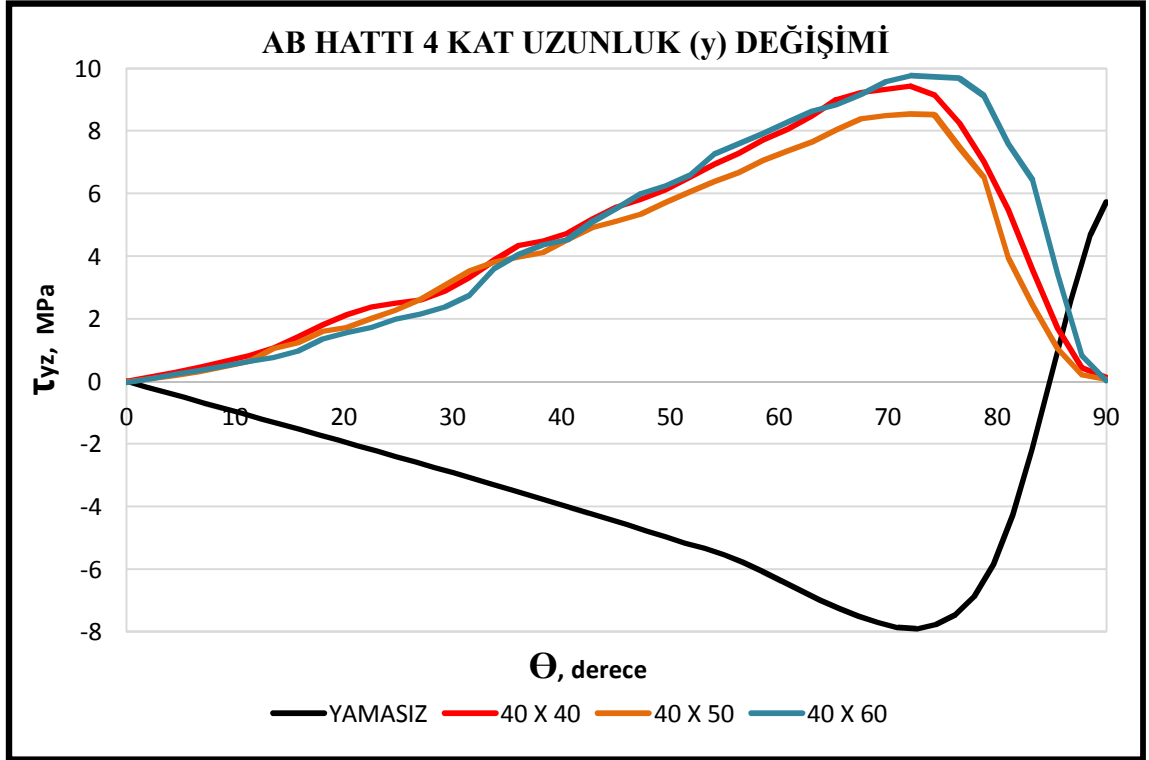


Şekil 4.29. Boyutları 40x40, 40x50 ve 40x60 mm olan yama uzunluğu (y) değişiminin AB hattı üzerindeki ($\sigma_z - \Theta$) gerilme dağılım grafiği

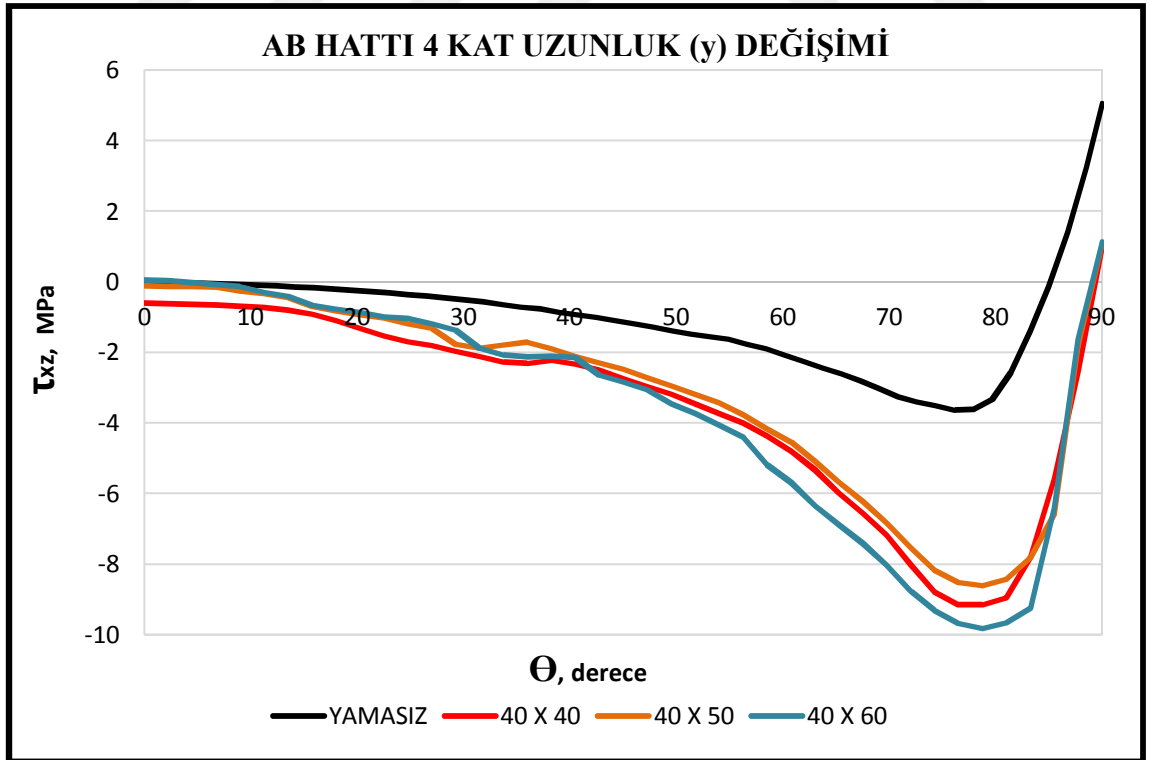
Şekil 4.27, 4.28, ve 4.29'de yama uzunluğu (y) 40, 50 ve 60 mm olan cam elyaf takviyeli kompozit numunelerin, AB hattı boyunca (σ_x , σ_y , σ_z) gerilme dağılımları verilmiştir. σ_x gerilmeleri A noktasında 0'a yakın bir değerde başlayıp Θ açılal değeri arttıkça azalma göstermiştir, B noktasında ise yamanın uzunluğu arttıkça σ_x gerilmeleri de artarak negatif değerde minimuma ulaşmıştır. σ_y , A noktasında pozitif değerde başlamış Θ açılal değeri 0° - 70° arasında azalma göstermiş 70° - 75° arasında minimuma ulaşmıştır ve 75° - 90° arasında artma meydana gelmiştir. σ_z gerilmeleri A noktasında negatif değerde başlamış Θ açılal değeri arttıkça 0° - 65° arasında azalma göstermiş 65° - 75° arasında minimuma ulaşmıştır ve 75° - 90° arasında artma meydana gelmiştir.



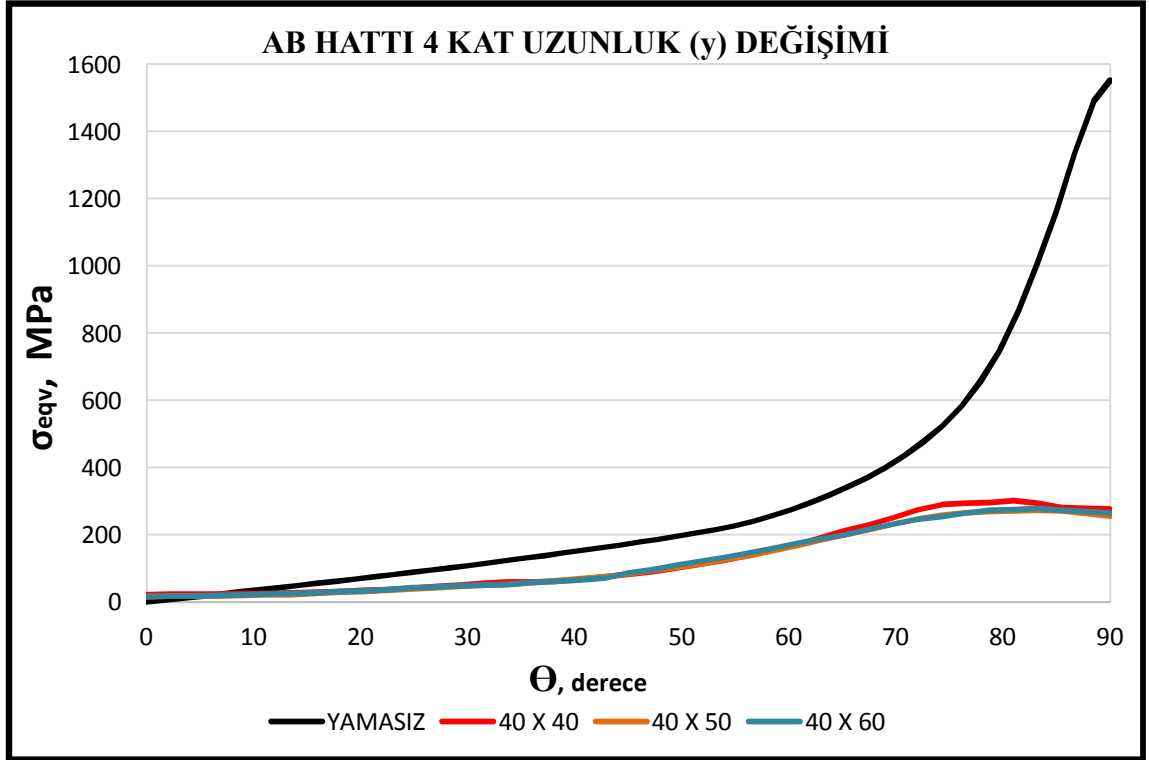
Şekil 4.30. Boyutları 40x40, 40x50 ve 40x60 mm olan yama uzunluğu (y) değışiminin AB hattı üzerindeki (τ_{xy} - Θ) gerilme dağılım grafiği



Şekil 4.31. Boyutları 40x40, 40x50 ve 40x60 mm olan yama uzunluğu (y) değişiminin AB hattı üzerindeki ($\tau_{yz} - \Theta$) gerilme dağılım grafiği



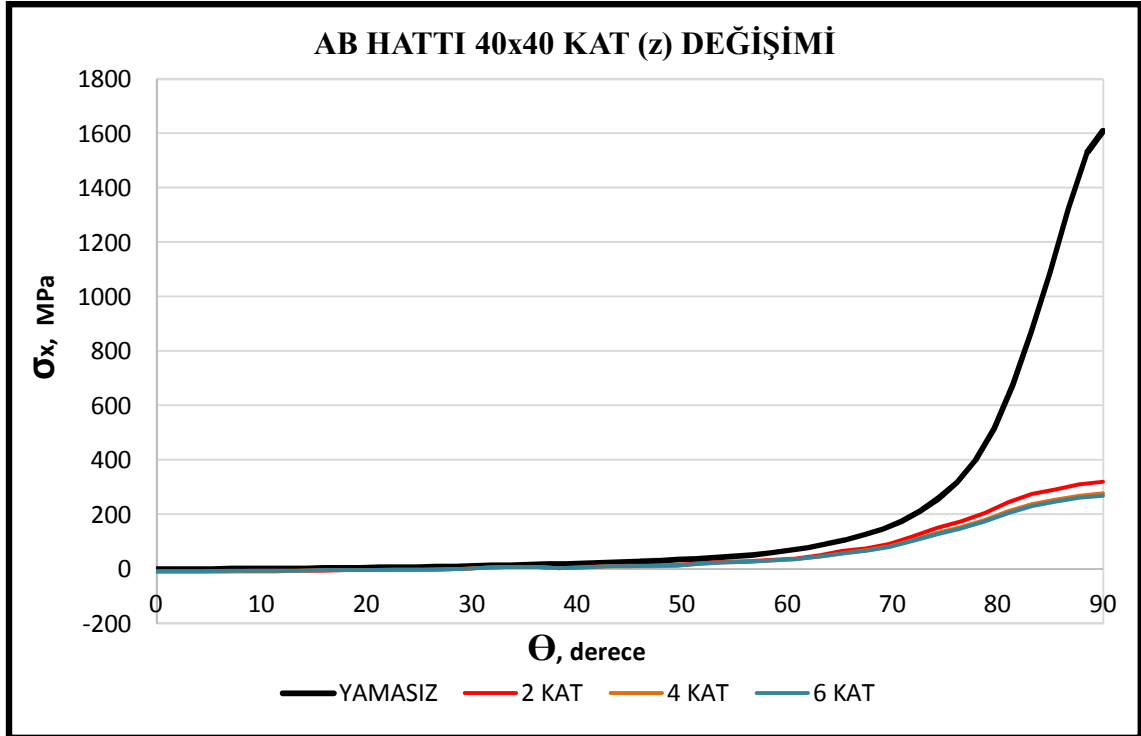
Şekil 4.32. Boyutları 40x40, 40x50 ve 40x60 mm olan yama uzunluğu (y) değişiminin AB hattı üzerindeki ($\tau_{xz} - \Theta$) gerilme dağılım grafiği



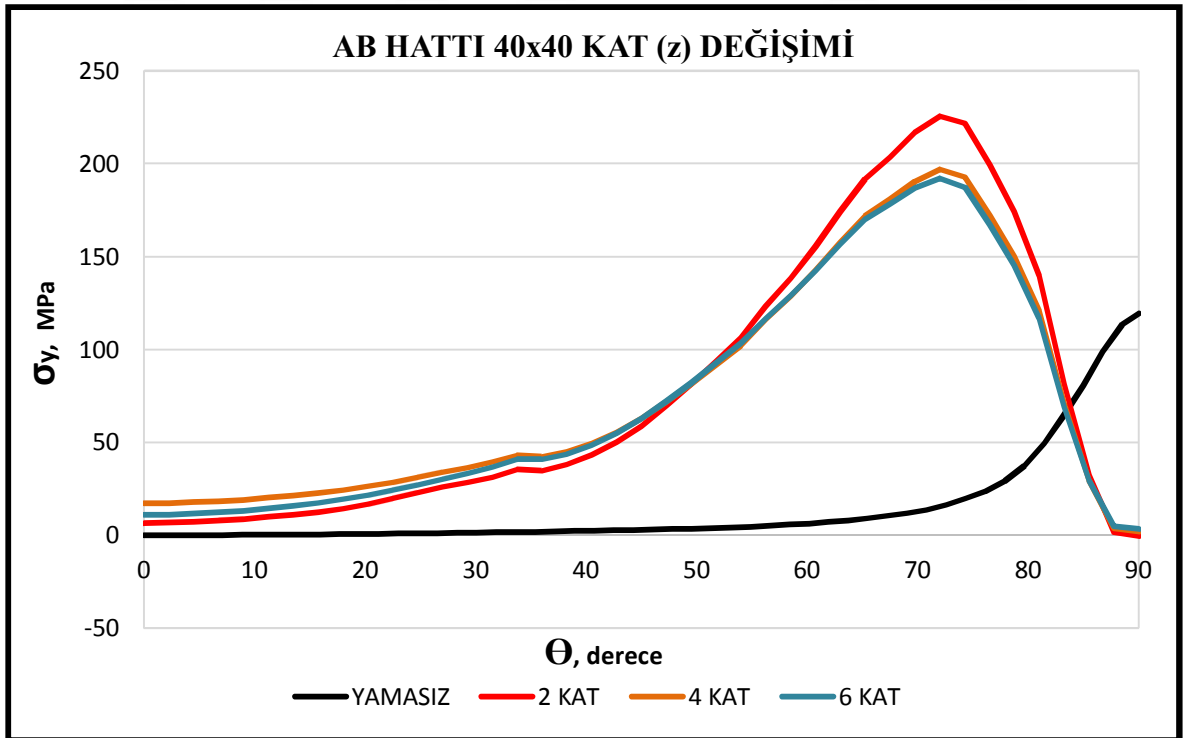
Şekil 4.33. Boyutları 40x40, 40x50 ve 40x60 mm olan yama uzunluğu (y) değişiminin AB hattı üzerindeki (σ_{eqv} - Θ) gerilme dağılım grafiği

Şekil 4.30, 4.31, 4.32, ve 4.33'de yama uzunluğu (y) 40, 50 ve 60 mm olan cam elyaf takviyeli kompozit numunelerin, AB hattı boyunca (τ_{xy} , τ_{yz} , τ_{xz} , σ_{eqv}) gerilme dağılımları verilmiştir. τ_{xy} gerilmeleri A noktasında 0'a yakın bir değerde başlayıp 0^0 - 75^0 arasında artış göstermiştir, 75^0 - 80^0 arasında maksimuma ulaşmıştır ve 80^0 - 90^0 arasında azalma meydana gelmiştir. τ_{yz} gerilmeleri A noktasında 0'a yakın bir değerde başlayıp 0^0 - 70^0 arasında artış göstermiştir, 70^0 - 75^0 arasında maksimuma ulaşmıştır ve 75^0 - 90^0 arasında azalma meydana gelmiştir. τ_{xz} gerilmeleri A noktasında negatif değerde başlamış Θ açılal değeri arttıkça 0^0 - 65^0 arasında azalma göstermiş 75^0 - 80^0 arasında minimuma ulaşmıştır ve 80^0 - 90^0 arasında artma meydana gelmiştir. σ_{eqv} gerilmeleri A noktasında pozitif bir değerde başlayıp 0^0 - 70^0 arasında artış göstermiştir, 70^0 - 90^0 hızlı bir artışla maksimuma ulaşmıştır

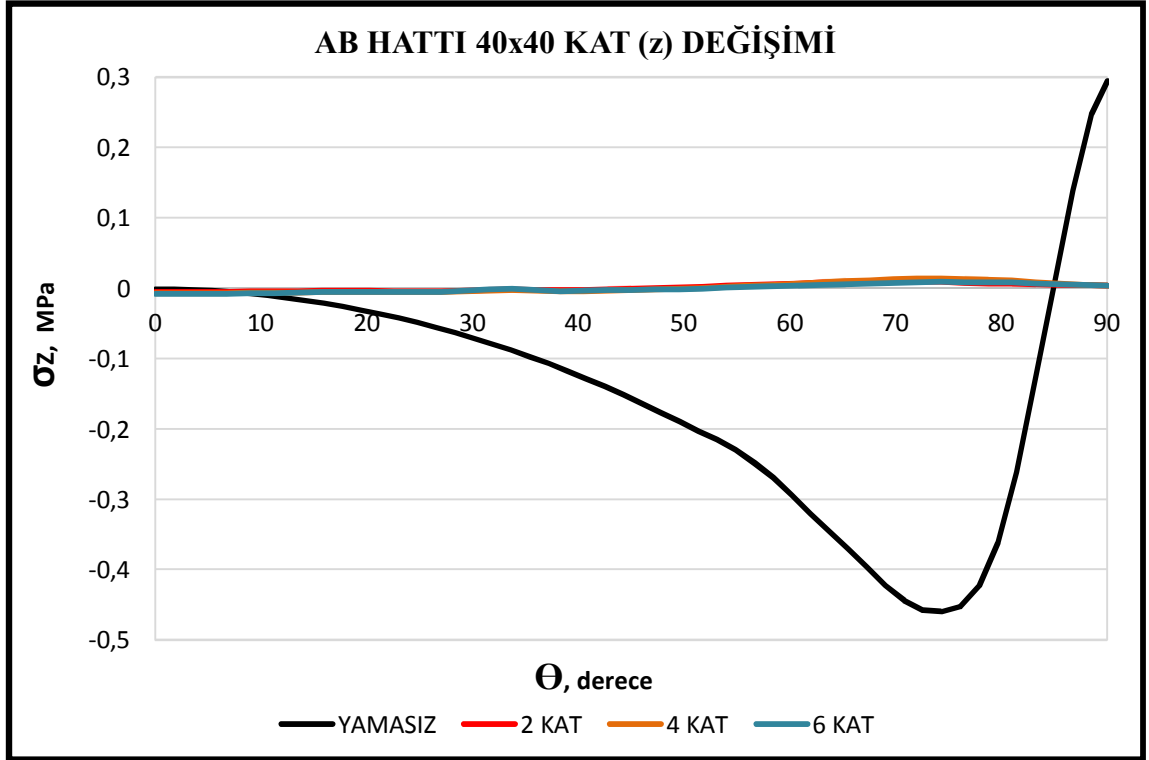
4.2.1.1.3. 40x40 mm'lik yamalarda tabaka sayısının (z) değişiminin hasar yüküne etkisi



Şekil 4.34. Tabaka sayıları 2, 4 ve 6 kat olan yama kalınlığı (z) değişiminin AB hattı üzerindeki ($\sigma_x - \Theta$) gerilme dağılım grafiği

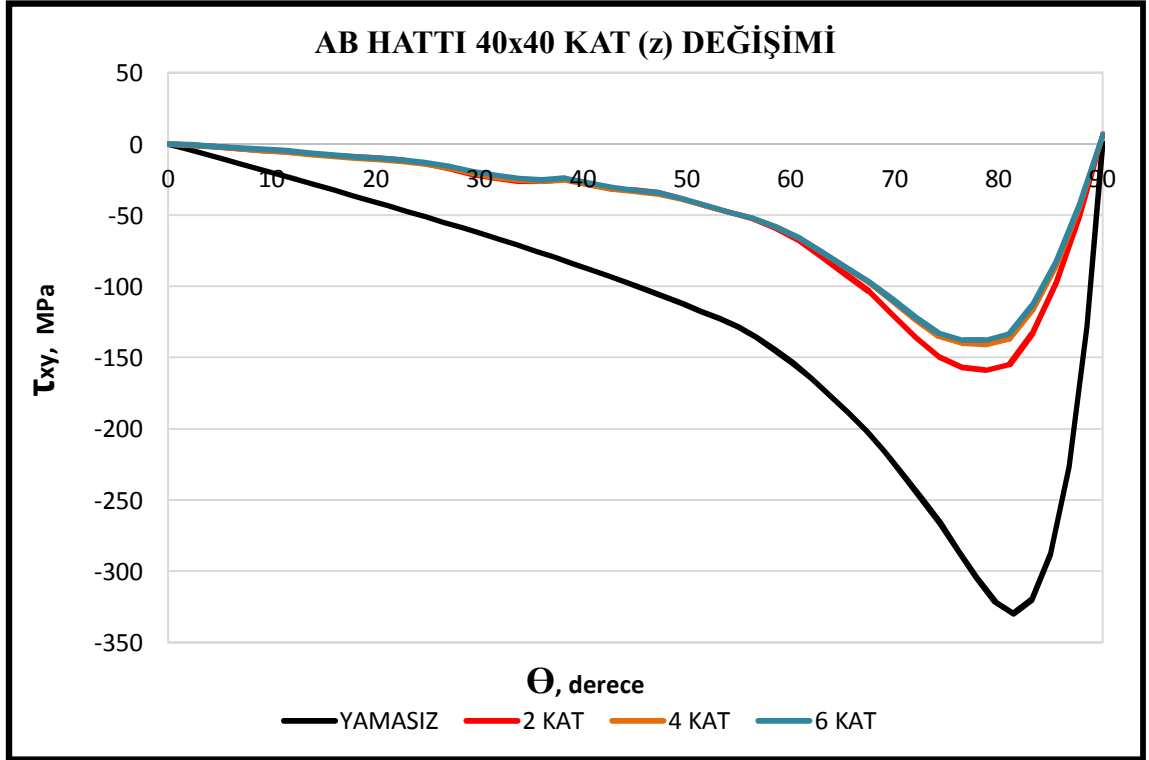


Şekil 4.35. Tabaka sayıları 2, 4 ve 6 kat olan yama kalınlığı (z) değişiminin AB hattı üzerindeki ($\sigma_y - \Theta$) gerilme dağılım grafiği

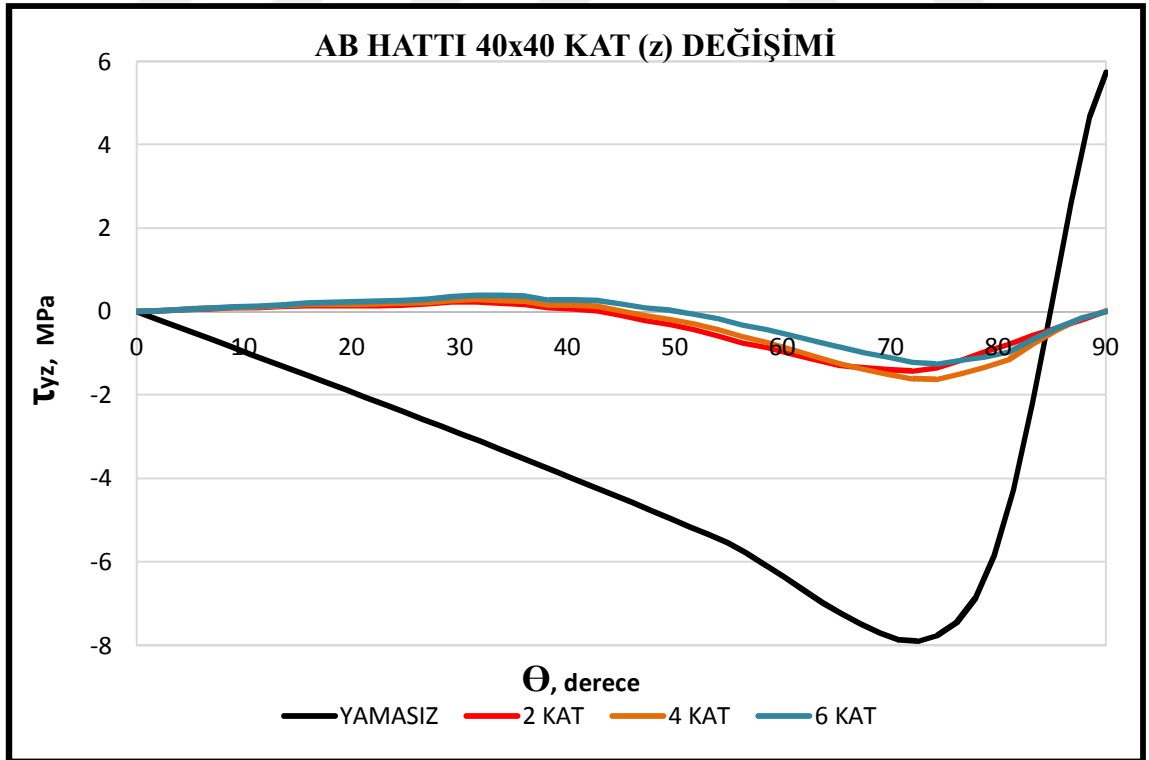


Şekil 4.36. Tabaka sayıları 2, 4 ve 6 kat olan yama kalınlığı (z) değişiminin AB hattı üzerindeki ($\sigma_z - \Theta$) gerilme dağılım grafiği

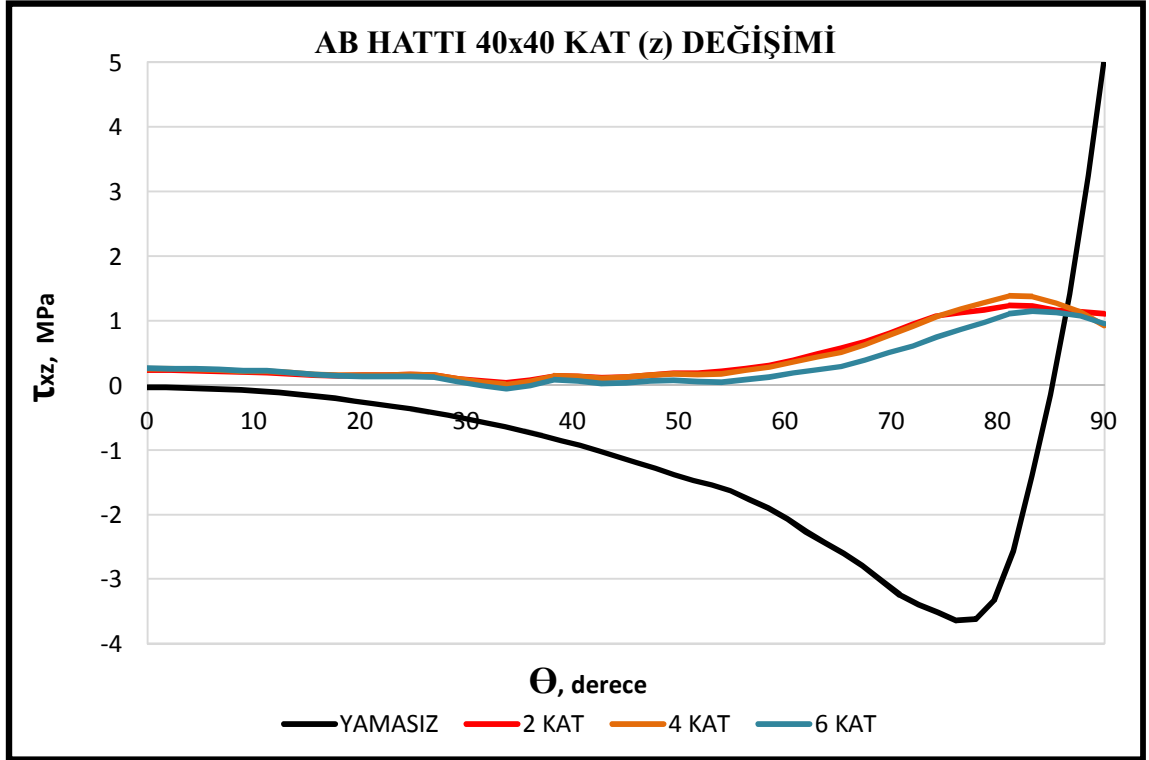
Şekil 4.34, 4.35, ve 4.36'de yama kalınlığı (z) 2, 4 ve 6 kat olan cam elyaf takviyeli kompozit numunelerin, AB hattı boyunca (σ_x , σ_y , σ_z) gerilme dağılımları verilmiştir. σ_x gerilmeleri A noktasında 0'a yakın bir değerde başlayıp Θ açısai değeri arttıkça mutlak değerde artış göstermiştir, B noktasında ise yamanın uzunluğu arttıkça σ_x gerilmeleri de artarak pozitif değerde maksimuma ulaşmıştır. σ_y , A noktasında pozitif değerde başlamış Θ açısai değeri 0^0-70^0 arasında artış göstermiş 70^0-75^0 arasında maksimuma ulaşmıştır ve 75^0-90^0 arasında azalma meydana gelmiştir. σ_z gerilmeleri A noktasında B noktasına kadar 0'a yakın bir değerlerde kalmıştır.



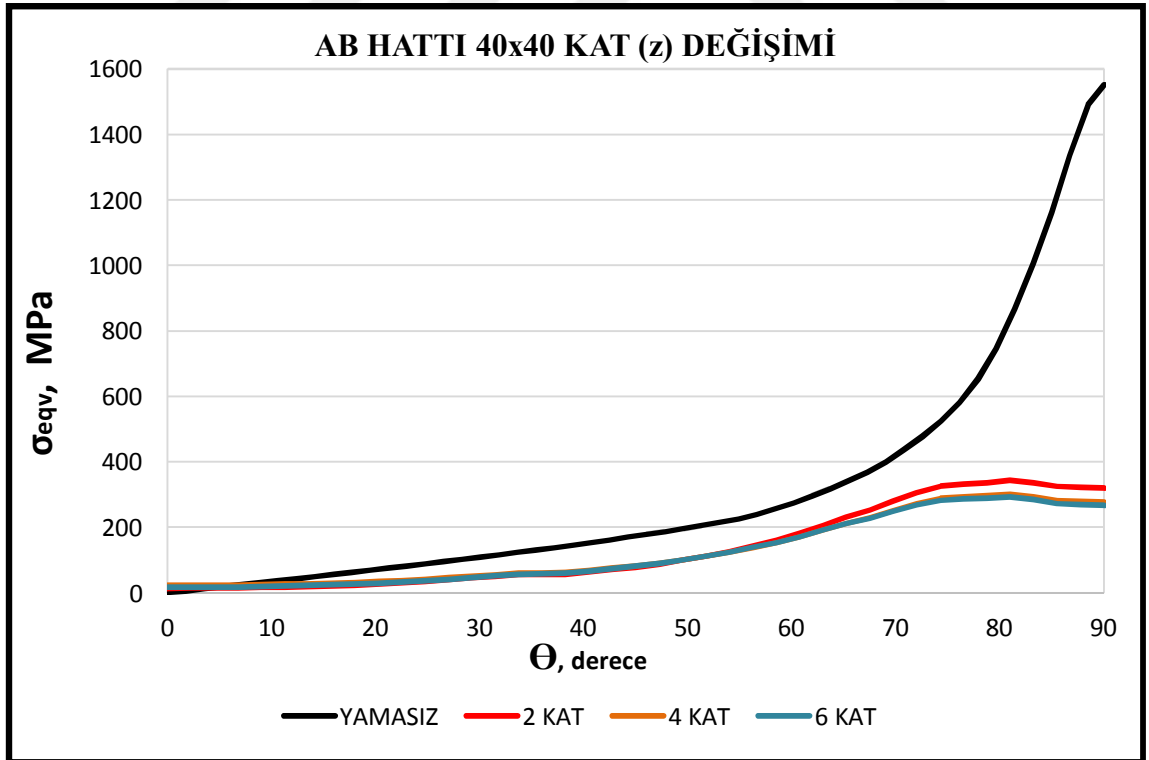
Şekil 4.37. Tabaka sayıları 2, 4 ve 6 kat olan yama kalınlığı (z) değişiminin AB hattı üzerindeki ($\tau_{xy} - \Theta$) gerilme dağılım grafiği



Şekil 4.38. Tabaka sayıları 2, 4 ve 6 kat olan yama kalınlığı (z) değişiminin AB hattı üzerindeki ($\tau_{yz} - \Theta$) gerilme dağılım grafiği



Şekil 4.39. Tabaka sayıları 2, 4 ve 6 kat olan yama kalınlığı (z) değişiminin AB hattı üzerindeki ($\tau_{xz} - \Theta$) gerilme dağılım grafiği



Şekil 4.40. Tabaka sayıları 2, 4 ve 6 kat olan yama kalınlığı (z) değişiminin AB hattı üzerindeki ($\sigma_{eqv} - \Theta$) gerilme dağılım grafiği

Şekil 4.37, 4.38, 4.39, ve 4.40'da yama kalınlığı (z) 2, 4 ve 6 kat olan cam elyaf takviyeli kompozit numunelerin, AB hattı boyunca (τ_{xy} , τ_{yz} , τ_{xz} , σ_{eqv}) gerilme dağılımları verilmiştir. τ_{xy} gerilmeleri A noktasında 0'a yakın bir değerde başlayıp 0^0-75^0 arasında azalma göstermiştir, 75^0-80^0 arasında minimuma ulaşmıştır ve 80^0-90^0 arasında artış meydana gelmiştir. τ_{yz} gerilmeleri A noktasında 0'a yakın bir değerde başlayıp 0^0-30^0 arasında artış göstermiştir, 30^0-70^0 arasında azalma göstermiştir, 70^0-75^0 minimuma ulaşmıştır ve 75^0-90^0 arasında artış meydana gelmiştir. τ_{xz} gerilmeleri A noktasında pozitif bir değerde başlayıp 0^0-35^0 arasında azalma göstermiştir, 35^0-80^0 arasında artış göstermiştir, 80^0-85^0 maksimuma ulaşmıştır ve 85^0-90^0 arasında azalma meydana gelmiştir. σ_{eqv} gerilmeleri A noktasında pozitif bir değerde başlayıp 0^0-70^0 arasında artış göstermiştir, 70^0-90^0 hızlı bir artışla maksimuma ulaşmıştır

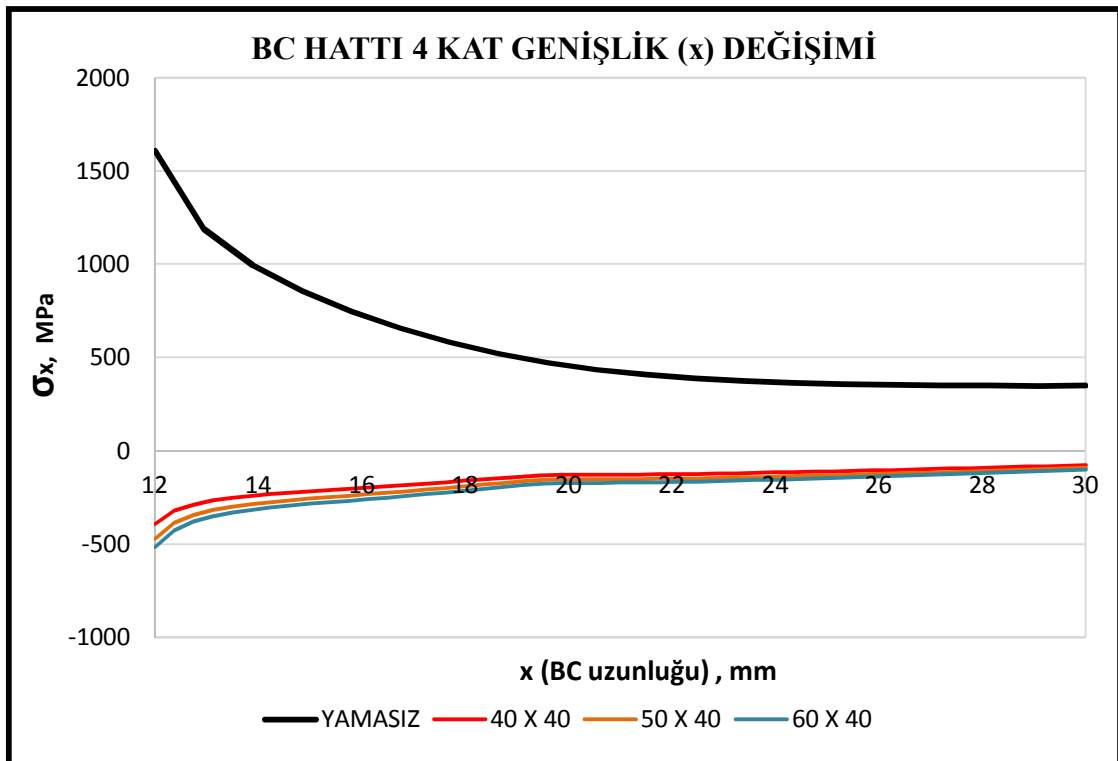


4.2.2. BC hattı

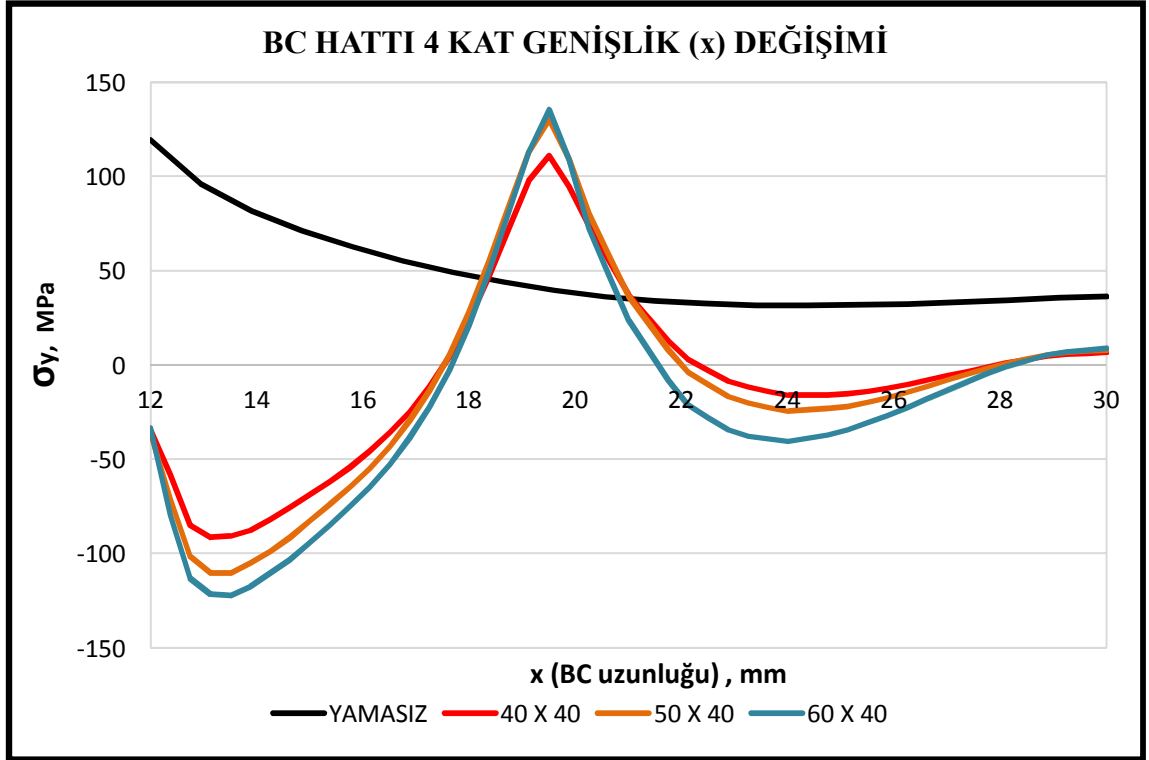
BC hattı malzeme üzerine açılan eliptik deliğin uç kısmından hasarlı malzemenin bittiği yere kadar olan kısımdır. Bu uzunluk sayısal olarak grafiklenmiştir.

4.2.2.1. Hasarlı numunelerde yama boyutlarının değişiminin nümerik hasar yüklerine etkisi

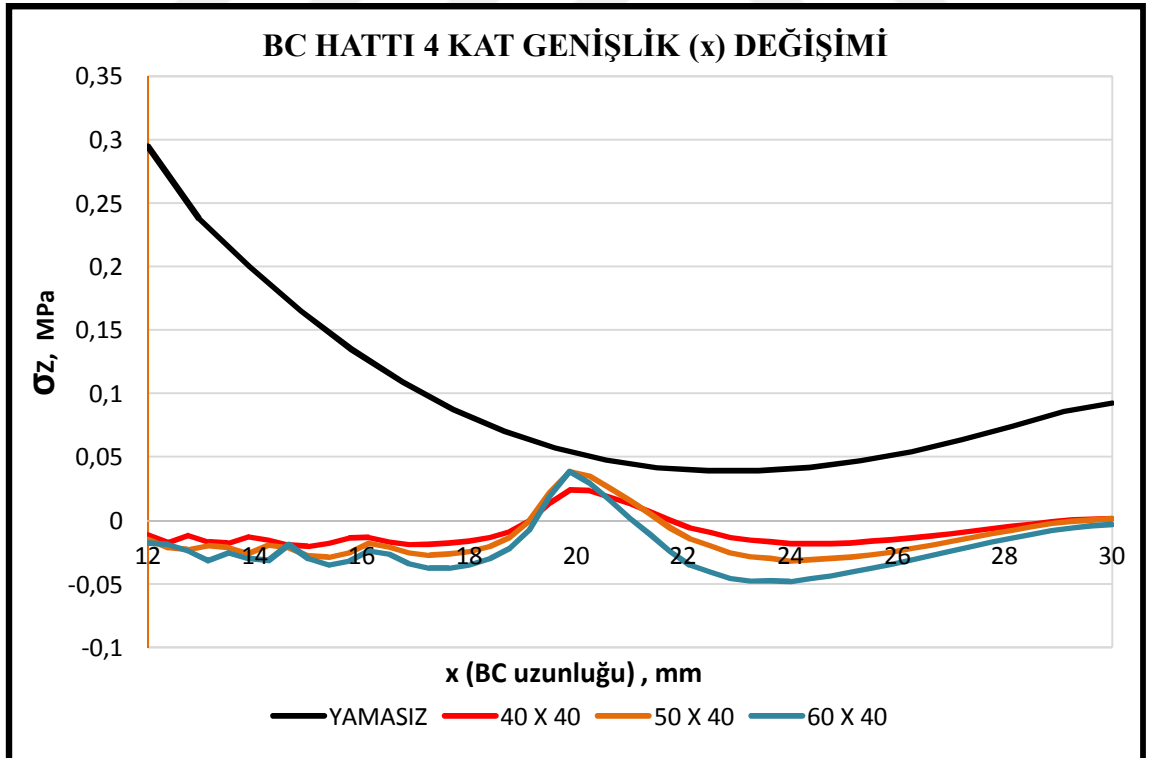
4.2.2.1.1. Tabaka sayısı 4 olan 40x40, 50x40 ve 60x40 mm yamalarda genişlik (x) değişiminin hasar yüküne etkisi



Şekil 4.41. Boyutları 40x40, 50x40 ve 60x40 mm olan yama genişliği (x) değişiminin BC hattı üzerindeki ($\sigma_x - x$) gerilme dağılım grafiği



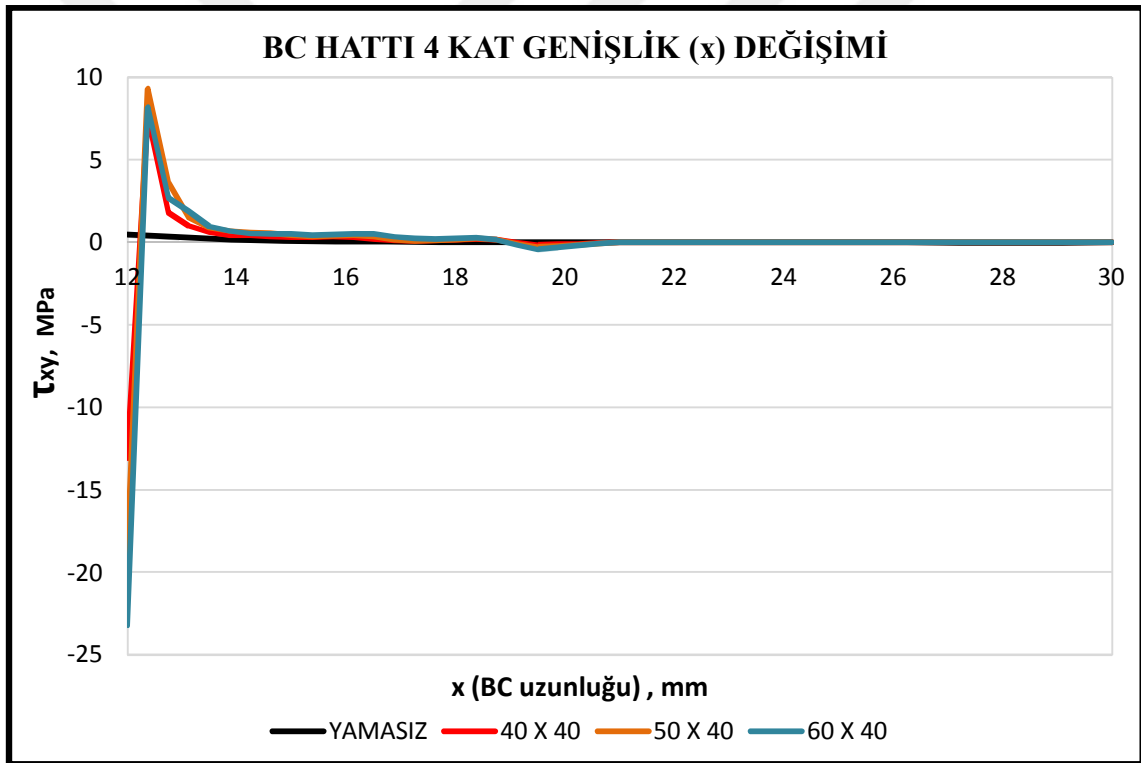
Şekil 4.42. Boyutları 40x40, 50x40 ve 60x40 mm olan yama genişliği (x) değişiminin BC hattı üzerindeki ($\sigma_y - x$) gerilme dağılım grafiği



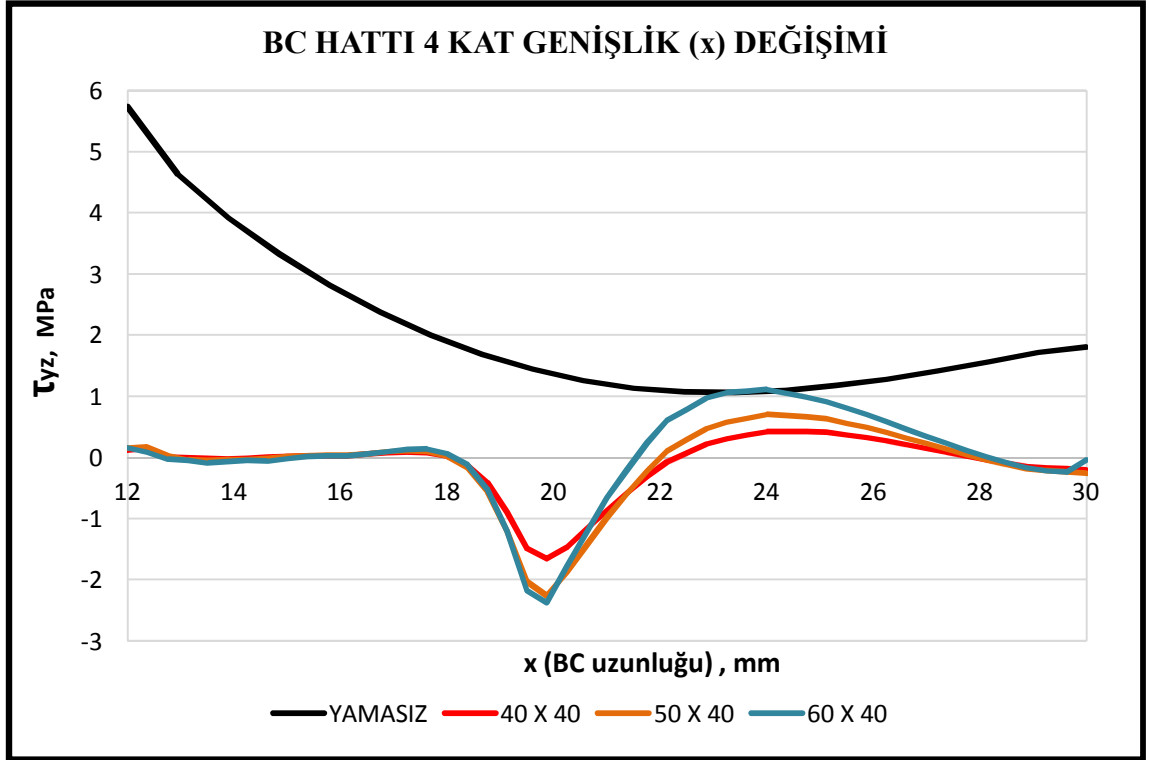
Şekil 4.43. Boyutları 40x40, 50x40 ve 60x40 mm olan yama genişliği (x) değişiminin BC hattı üzerindeki ($\sigma_z - x$) gerilme dağılım grafiği

Şekil 4.41, 4.42, ve 4.43'de yama genişliği (x) 40, 50 ve 60 mm olan cam elyaf takviyeli kompozit numunelerin, BC hattı boyunca (σ_x , σ_y , σ_z) gerilme dağılımları verilmiştir. σ_x gerilmeleri B noktasında negatif değerde başlayıp 12-30 mm arasında artış göstermiştir. σ_y , B noktasında negatif değerde başlamış değeri 12-13 mm arasında azalma göstermiş, 13-15 mm arasında minimuma ulaşmıştır ve 15-19 mm arasında artış başlamıştır. Artış 19-20 mm arasında maksimuma ulaşarak 20-30 mm arasında azalma meydana gelmiştir. σ_z gerilmeleri B noktasında negatif değerde başlamış 12-19 mm arasında küçük artış ve azalışlar göstermiştir, 19-21 mm arasında maksimuma ulaşmıştır, 21-24 arasında azalma meydana gelmiştir ve 24-30 mm arasında artış gözlemlenmiştir.

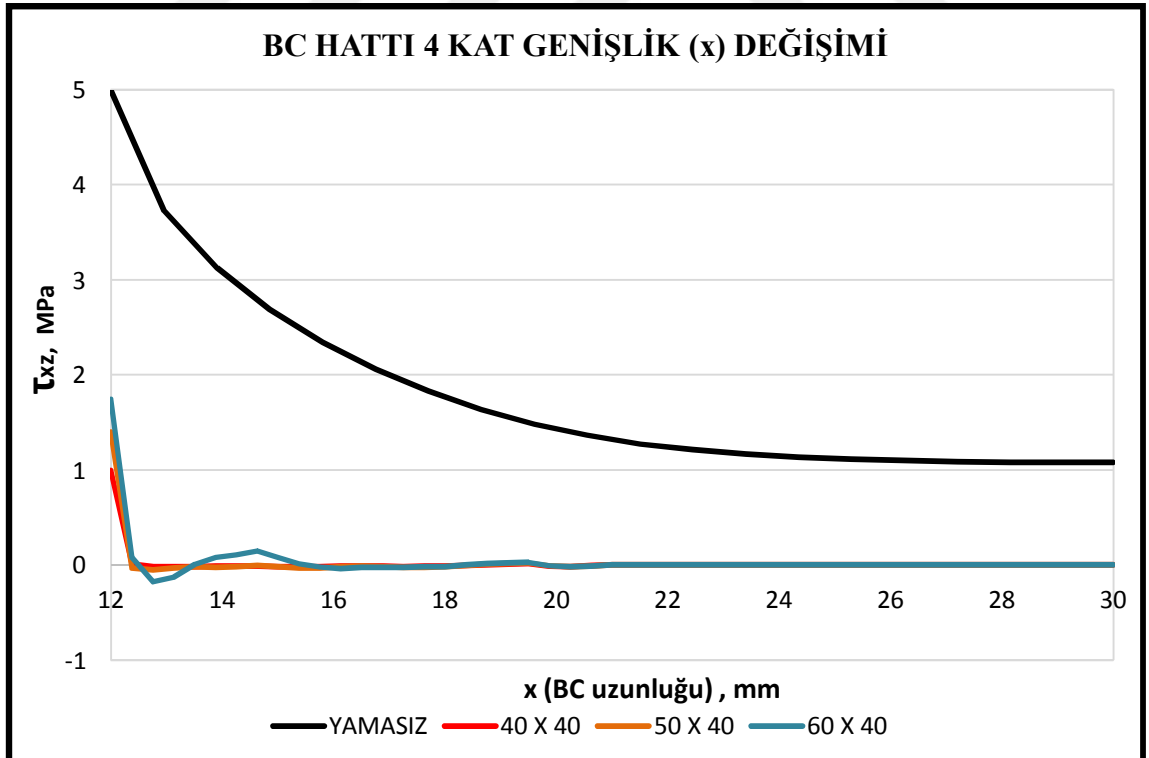
Bu gerilme değerlerinde 20 mm noktasının kritik nokta olmasının sebebi yamanın yapılandırılan malzeme üzerinde bittiği yerdir.



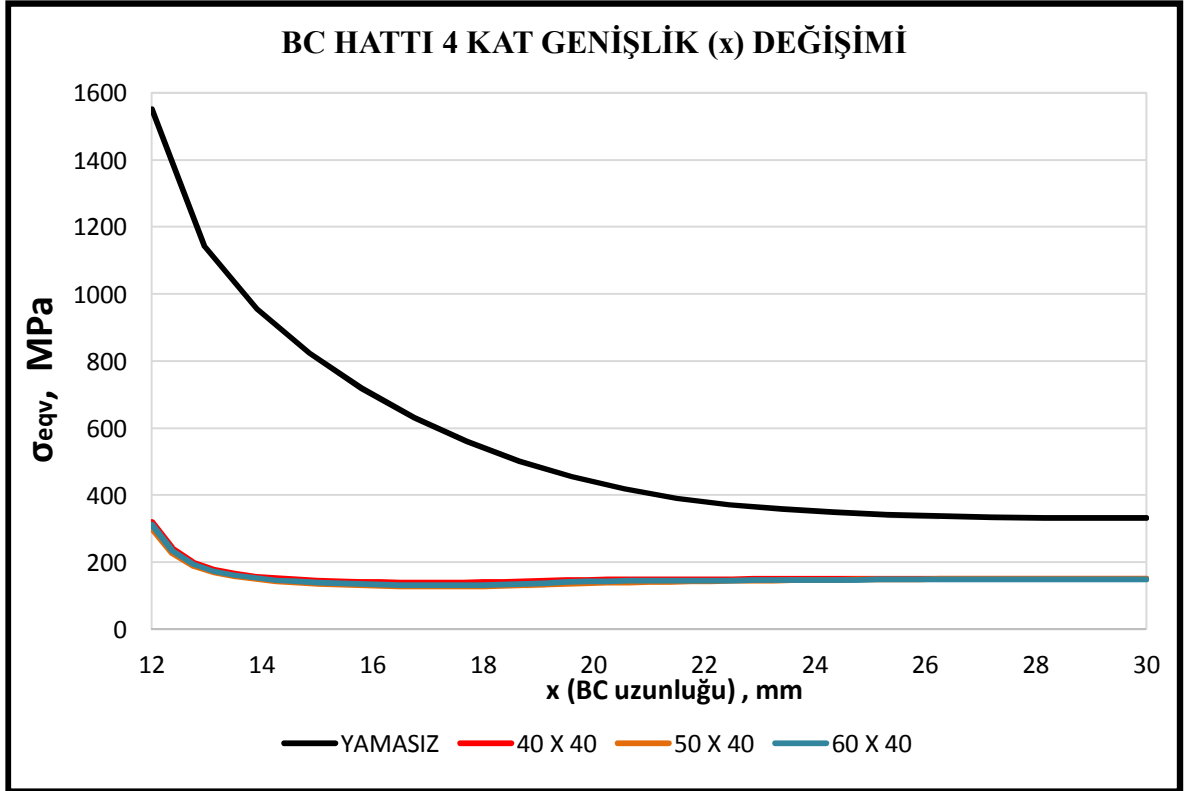
Şekil 4.44. Boyutları 40x40, 50x40 ve 60x40 mm olan yama genişliği (x) değişiminin BC hattı üzerindeki (τ_{xy} - x) gerilme dağılım grafiği



Şekil 4.45. Boyutları 40x40, 50x40 ve 60x40 mm olan yama genişliği (x) değişiminin BC hattı üzerindeki ($\tau_{yz} - x$) gerilme dağılım grafiği



Şekil 4.46. Boyutları 40x40, 50x40 ve 60x40 mm olan yama genişliği (x) değişiminin BC hattı üzerindeki ($\tau_{xz} - x$) gerilme dağılım grafiği

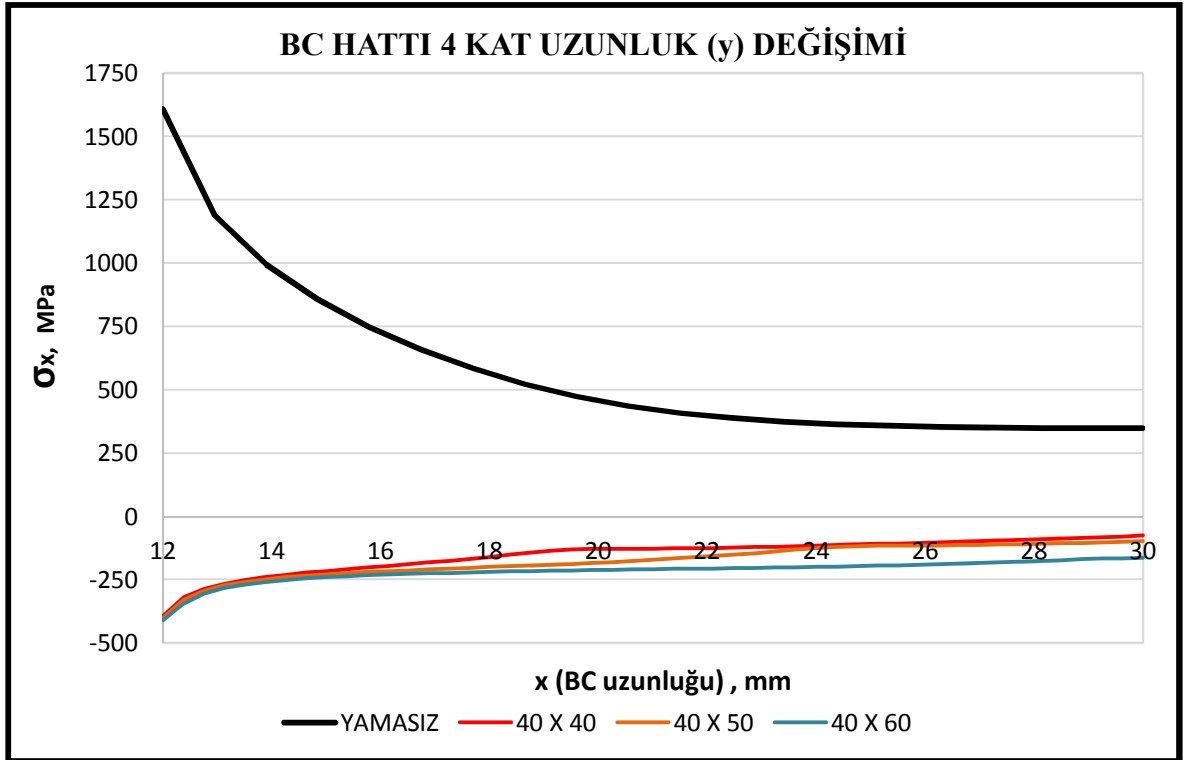


Şekil 4.47. Boyutları 40x40, 50x40 ve 60x40 mm olan yama genişliği (x) değişiminin BC hattı üzerindeki (σ_{eqv} - x) gerilme dağılım grafiği

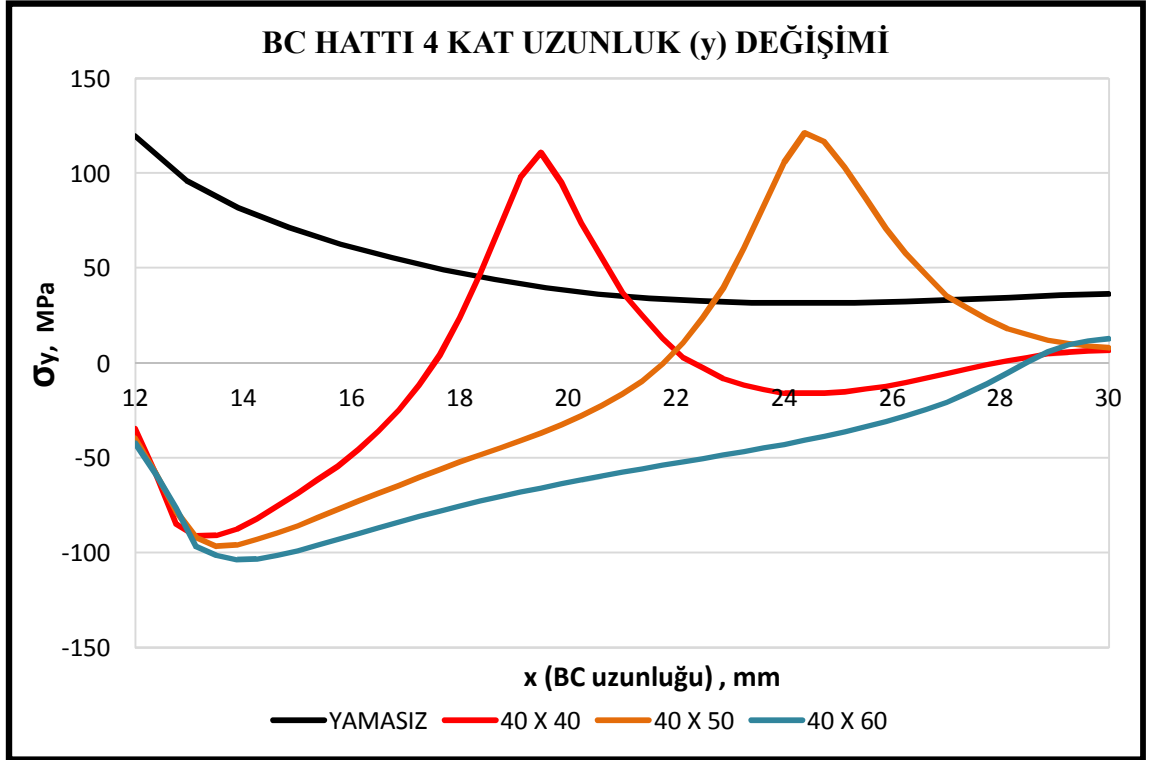
Şekil 4.44, 4.45, 4.46, ve 4.47'de yama genişliği (x) 40, 50 ve 60 mm olan cam elyaf takviyeli kompozit numunelerin, BC hattı boyunca (τ_{xy} , τ_{yz} , τ_{xz} , σ_{eqv}) gerilme dağılımları verilmiştir. τ_{xy} gerilmeleri B noktasında negatif bir değerde başlayıp 12-13 arasında ani bir artış göstererek maksimuma ulaşmıştır, 13-14 mm arasında ani bir düşüşle 0'a yakın bir değere gelmiştir, 14-30 mm arasında gerilme 0'a yakın bir değerdedir. τ_{yz} gerilmeleri B noktasında pozitif bir değerde başlayıp 12-18 mm arasında 0'a yakın bir değerde ilerleyip, 18-21 mm arasında minimuma ulaşmış, 21-23 mm artış göstermiş ve 23-25 mm arasında maksimuma ulaşmıştır ve 25-30 mm arasında tekrar azalma göstermiştir. τ_{xz} gerilmeleri B noktasında pozitif bir değerde başlayıp 12-13 mm arasında ani bir azalma göstermiştir, 13-30 mm arasında gerilme 0'a yakın bir değerdedir. σ_{eqv} gerilmeleri B noktasında pozitif bir değerde başlayıp 12-14 mm arasında azalma göstermiş, 14-30 mm arasında gerilme sabitlenmiştir.

Bu gerilme değerlerinde 20 mm noktasının kritik nokta olmasının sebebi yamanın yapılandırılan malzeme üzerinde bittiği yerdir.

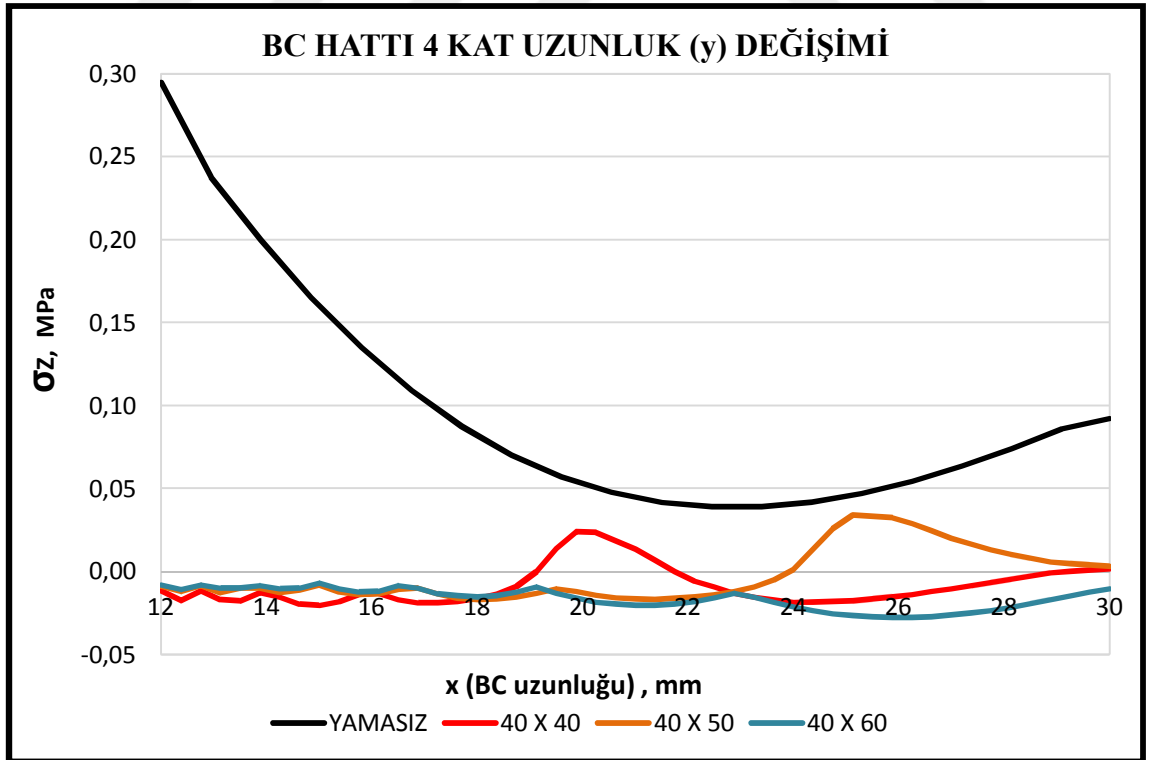
4.2.2.1.2. Tabaka sayısı 4 olan 40x40, 40x50 ve 40x60 mm yamalarda uzunluk (y) değişiminin hasar yüküne etkisi



Şekil 4.48. Boyutları 40x40, 40x50 ve 40x60 mm olan yama uzunluğu (y) değişiminin BC hattı üzerindeki ($\sigma_x - x$) gerilme dağılım grafiği



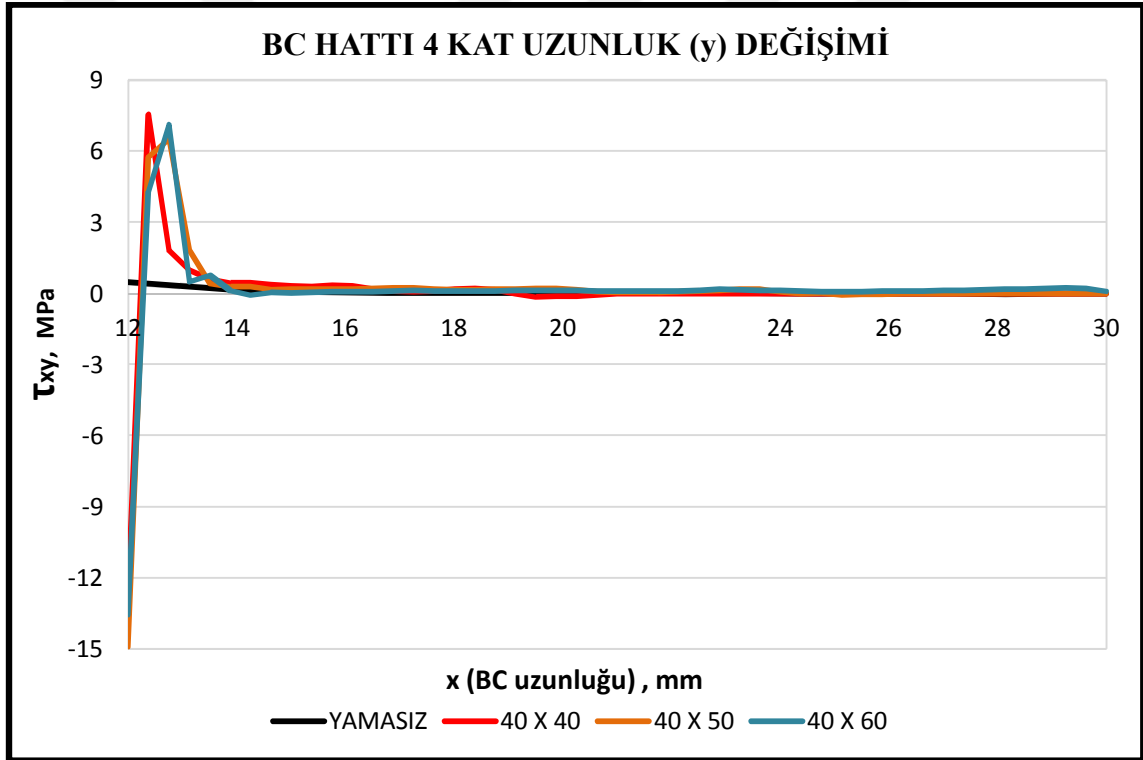
Şekil 4.49. Boyutları 40x40, 40x50 ve 40x60 mm olan yama uzunluğu (y) değişiminin BC hattı üzerindeki ($\sigma_y - x$) gerilme dağılım grafiği



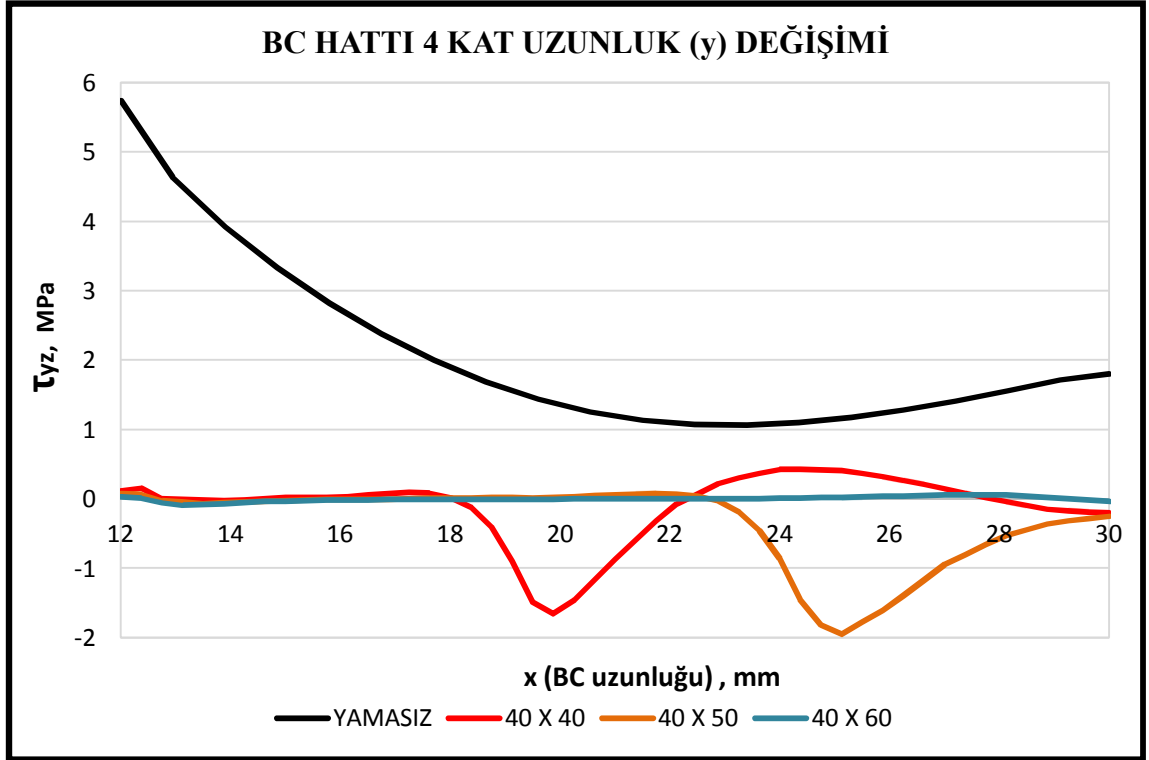
Şekil 4.50. Boyutları 40x40, 40x50 ve 40x60 mm olan yama uzunluğu (y) değişiminin BC hattı üzerindeki ($\sigma_z - x$) gerilme dağılım grafiği

Şekil 4.48, 4.49, ve 4.50'de yama uzunluğu (y) 40, 50 ve 60 mm olan cam elyaf takviyeli kompozit numunelerin, BC hattı boyunca (σ_x , σ_y , σ_z) gerilme dağılımları verilmiştir. σ_x gerilmeleri B noktasında minimum değerde başlayıp 12-20 mm arasında artış göstermiş, 20-30 mm arasında sabitlenmiştir. σ_y , B noktasında negatif değerde başlamış değeri 12-13 mm arasında azalma göstermiş, 40 mm uzunluk için 19-20 mm arasında 50 mm uzunluk için 24-25 mm arasında 60 mm uzunluk için C noktasında maksimuma ulaşmıştır. σ_z gerilmeleri B noktasında negatif değerde başlamış 12-18 mm arasında artışlar ve azalmalar göstermiştir. 40 mm uzunluk için 20-21 mm arasında 50 mm uzunluk için 24-25 mm arasında 60 mm uzunluk için C noktasında maksimuma ulaşmıştır.

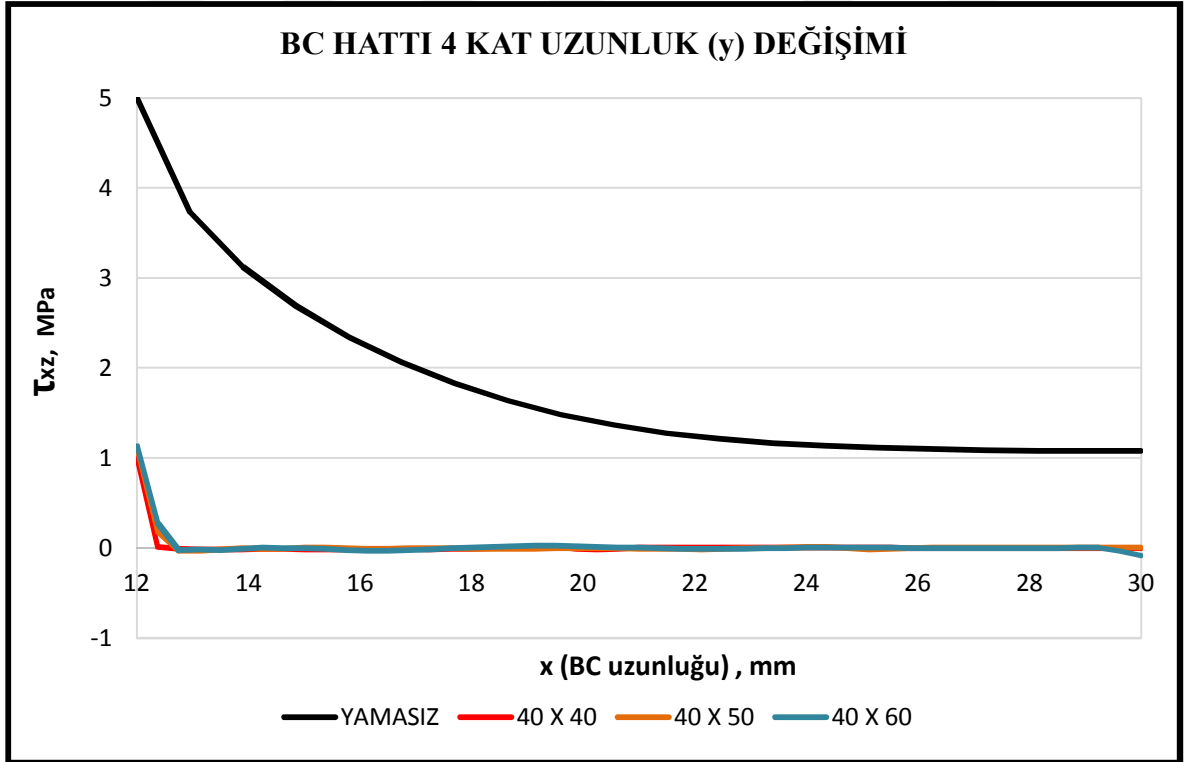
Bu gerilme değerlerinde 20, 24 ve 30 mm noktalarının kritik nokta olmasının sebebi yamanın yapıştırılan malzeme üzerinde bittiği yerlerdir.



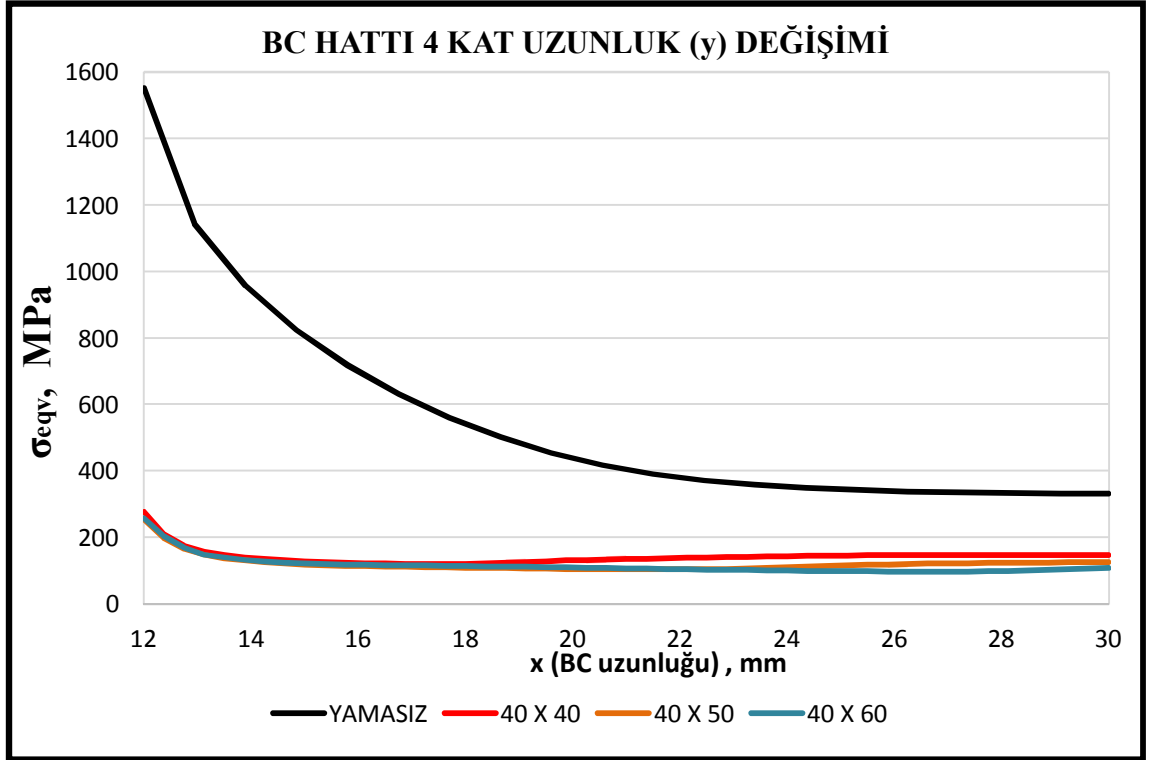
Şekil 4.51. Boyutları 40x40, 40x50 ve 40x60 mm olan yama uzunluğu (y) değişiminin BC hattı üzerindeki (τ_{xy} - x) gerilme dağılım grafiği



Şekil 4.52. Boyutları 40x40, 40x50 ve 40x60 mm olan yama uzunluğu (y) değişiminin BC hattı üzerindeki ($\tau_{yz} - x$) gerilme dağılım grafiği



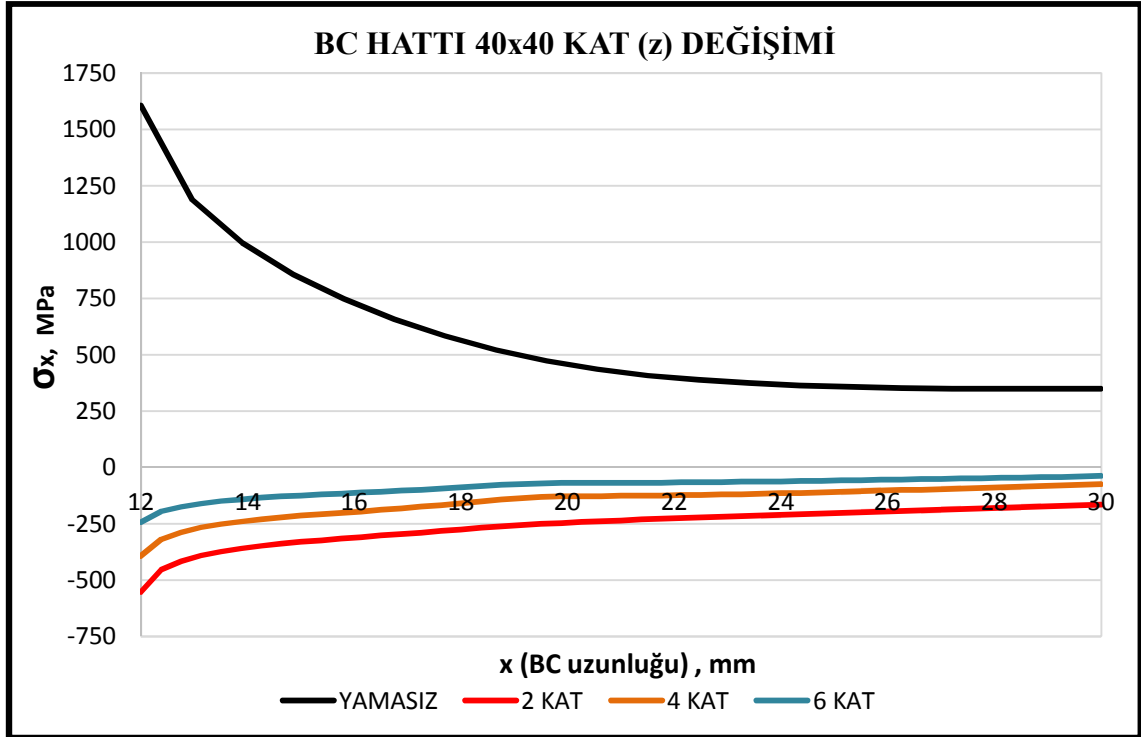
Şekil 4.53. Boyutları 40x40, 40x50 ve 40x60 mm olan yama uzunluğu (y) değişiminin BC hattı üzerindeki ($\tau_{xz} - x$) gerilme dağılım grafiği



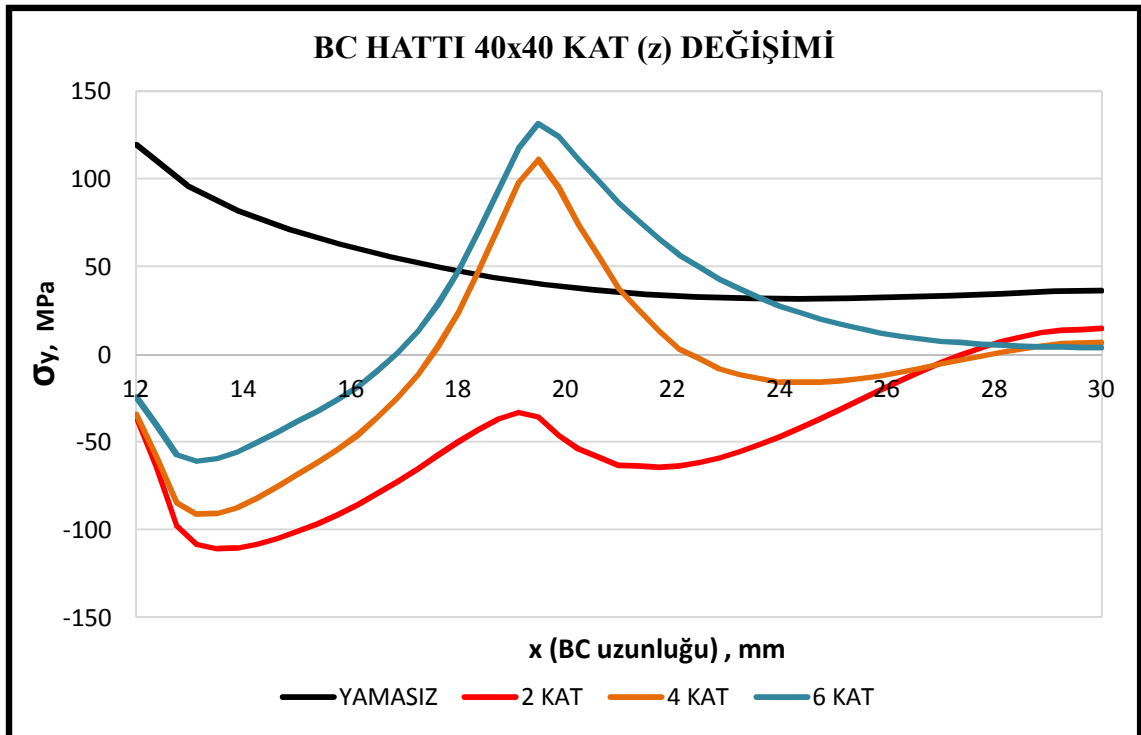
Şekil 4.54. Boyutları 40x40, 40x50 ve 40x60 mm olan yama uzunluğu (y) değişiminin BC hattı üzerindeki (σ_{eqv} - x) gerilme dağılım grafiği

Şekil 4.51, 4.52, 4.53, ve 4.54'de yama uzunluğu (y) 40, 50 ve 60 mm olan cam elyaf takviyeli kompozit numunelerin, BC hattı boyunca (τ_{xy} , τ_{yz} , τ_{xz} , σ_{eqv}) gerilme dağılımları verilmiştir. τ_{xy} gerilmeleri B noktasında negatif bir değerde başlayıp 12-13 mm arasında ani bir artış göstererek maksimuma ulaşmıştır, 13-14 mm arasında azalma meydana gelmiştir ve 14-30 mm arasında gerilme 0'a yakın bir değerdedir. τ_{yz} gerilmeleri B noktasında pozitif bir değerde başlayıp 12-18 mm arasında artışlar ve azalmalar göstermiştir. 40 mm uzunluk için 19-20 mm arasında 50 mm uzunluk için 24-25 mm arasında 60 mm uzunluk için C noktasında maksimuma ulaşmıştır. τ_{xz} gerilmeleri B noktasında pozitif bir değerde başlayıp maksimum değerdedir, 12-13 mm arasında ani bir azalma gerçekleşmiştir, 13-30 mm arasında 0'a yakın bir değerdedir. σ_{eqv} gerilmeleri B noktasında pozitif bir değerde başlayıp 12-13 mm arasında azalma göstermiş, 13-30 mm arasında gerilme sabitlenmiştir.

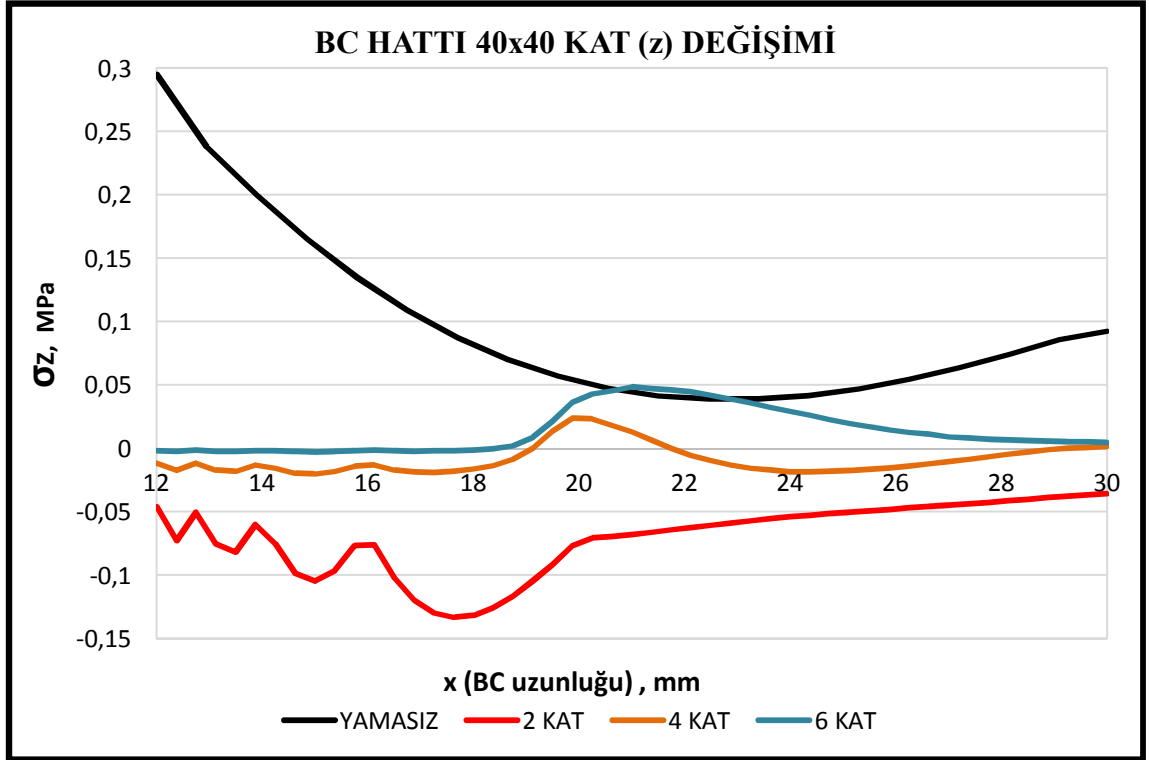
4.2.2.1.3. 40x40 mm'lik yamalarda tabaka sayısının (z) değişiminin hasar yüküne etkisi



Şekil 4.55. Tabaka sayıları 2, 4 ve 6 kat olan yama kalınlığı (z) değişiminin BC hattı üzerindeki ($\sigma_x - x$) gerilme dağılım grafiği



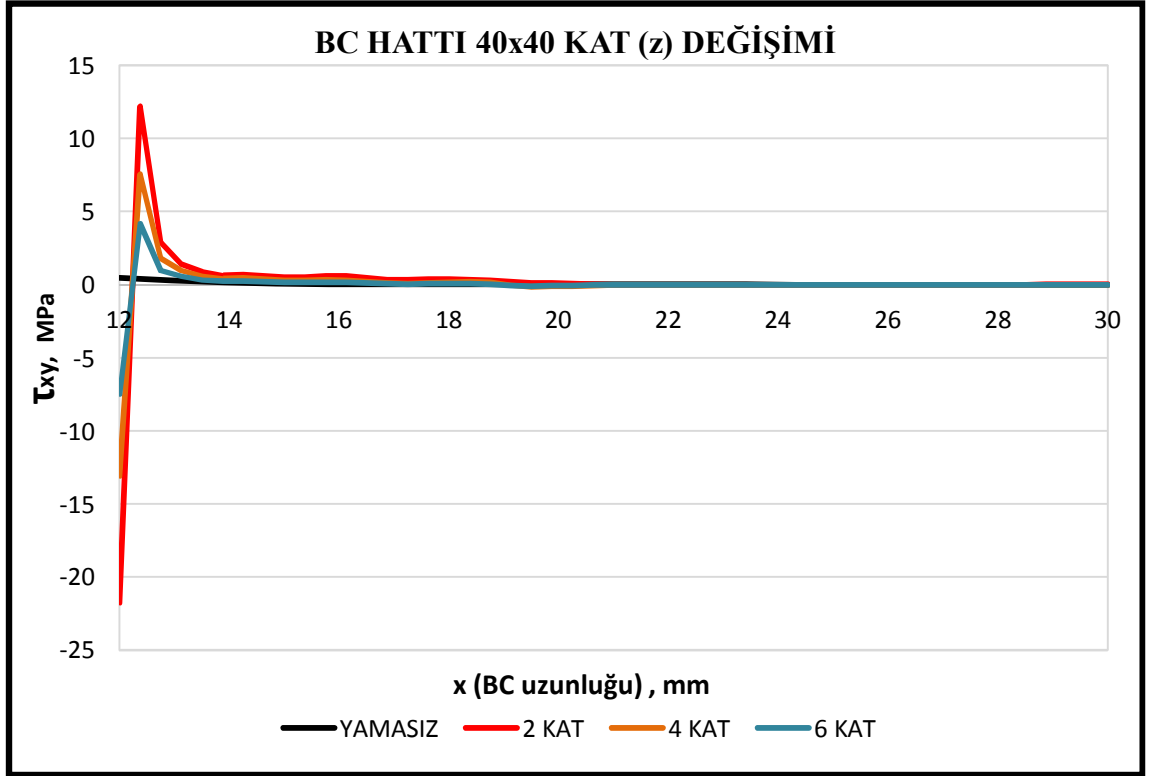
Şekil 4.56. Tabaka sayıları 2, 4 ve 6 kat olan yama kalınlığı (z) değişiminin BC hattı üzerindeki ($\sigma_y - x$) gerilme dağılım grafiği



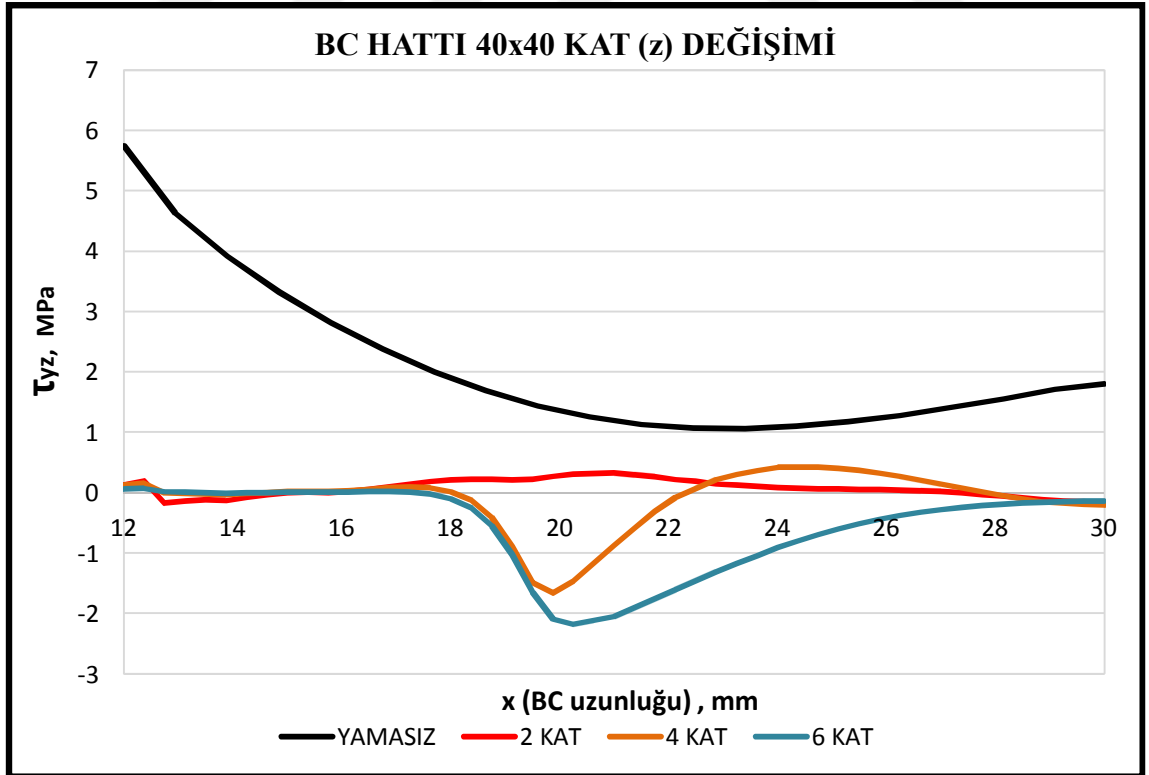
Şekil 4.57. Tabaka sayıları 2, 4 ve 6 kat olan yama kalınlığı (z) değişiminin BC hattı üzerindeki ($\sigma_z - x$) gerilme dağılım grafiği

Şekil 4.55, 4.56, ve 4.57'de yama kalınlığı (z) 2, 4 ve 6 kat olan cam elyaf takviyeli kompozit numunelerin, BC hattı boyunca (σ_x , σ_y , σ_z) gerilme dağılımları verilmiştir. σ_x gerilmeleri B noktasında negatif değerde başlayıp 12-20 mm arasında artmış ve 20-30 mm arasında gerilme belli bir değere sabitlenmiştir. σ_y , B noktasında negatif bir değerde başlamış 12-13 mm arasında azalma göstermiş 13-14 mm arasında minimuma ulaşmış, 14-19 mm arasında artmış, 19-20 mm arasında maksimum gerilme meydana gelmiştir. σ_z gerilmeleri B noktasında negatif değerde başlamış 2 kat için 12-18 mm arasında sürekli artma azalma gözlemlenmiştir, 18-30 mm arasında artış gözlemlenmiştir. 4 kat ve 6 katta ise 12-18 mm arasında sabit bir gerilme 18-21 mm arasında maksimum nokta 21-30 mm arasında azalma gözlemlenmiştir.

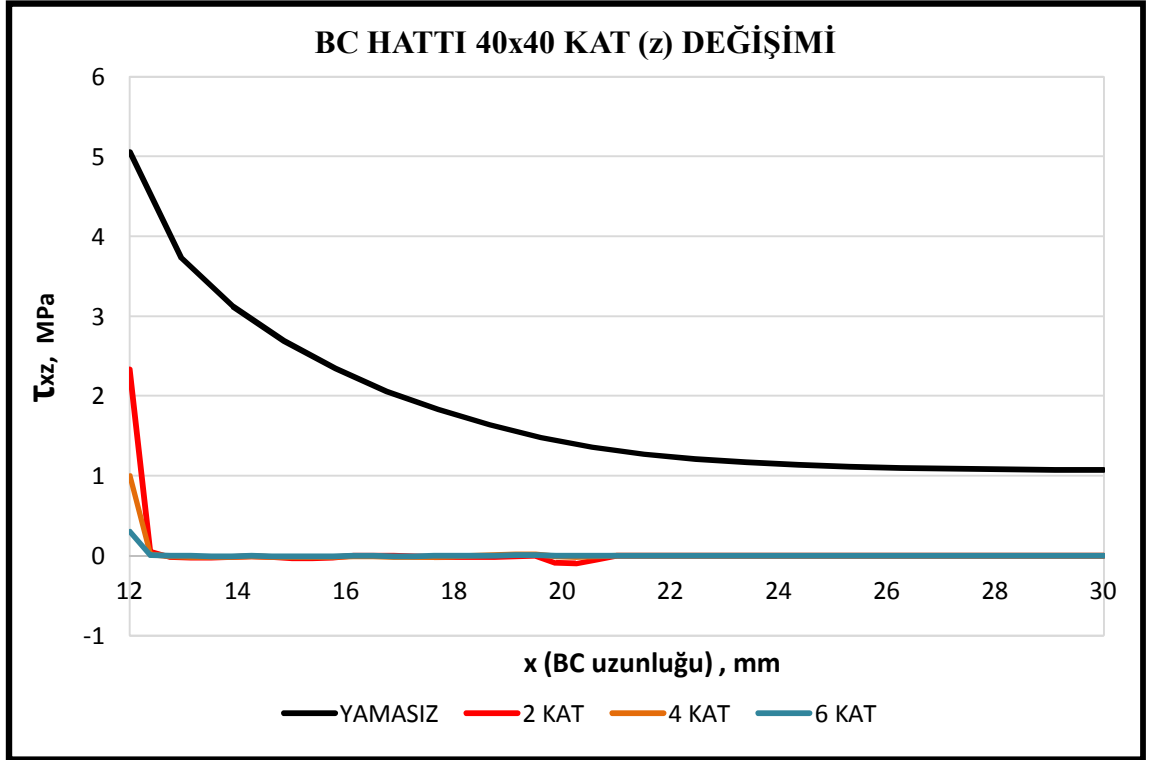
2 kat yamada elips kesitinden kopma olduğu için maksimum noktası oluşmamıştır. 4 kat ve 6 katta yama dışı kopma olduğu için maksimum noktalar oluşmuştur.



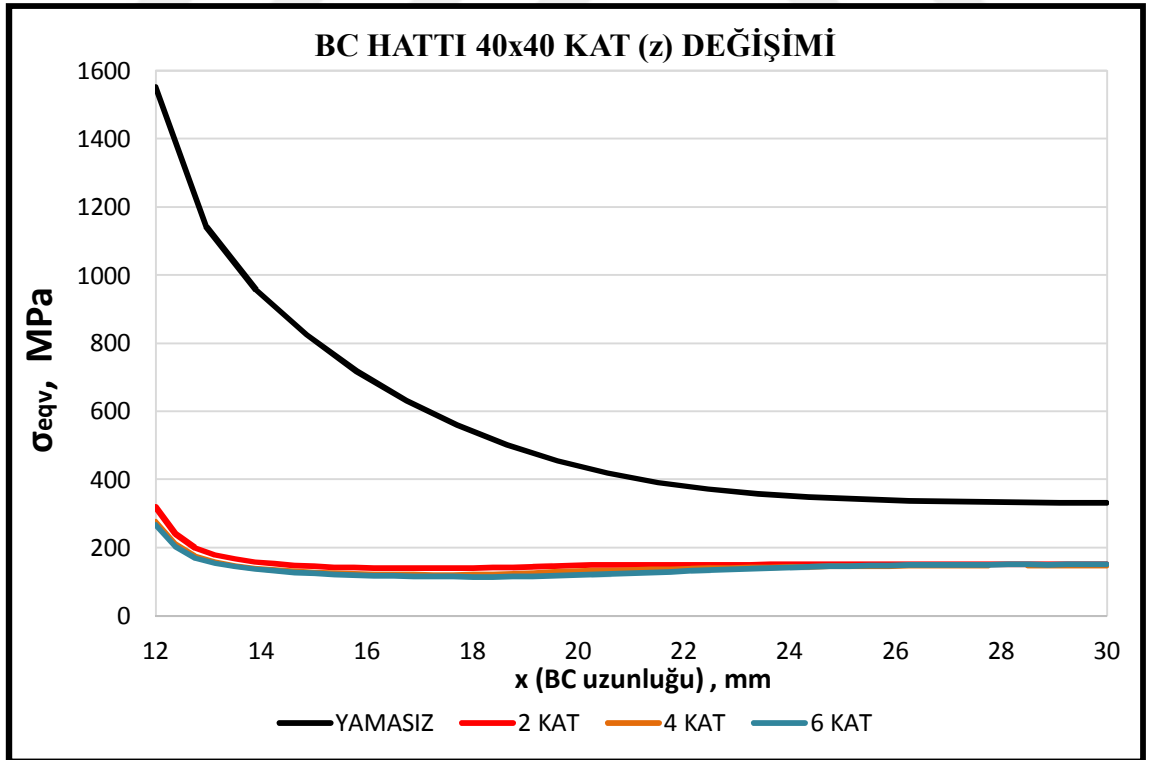
Şekil 4.58. Tabaka sayıları 2, 4 ve 6 kat olan yama kalınlığı (z) değişiminin BC hattı üzerindeki ($\tau_{xy} - x$) gerilme dağılım grafiği



Şekil 4.59. Tabaka sayıları 2, 4 ve 6 kat olan yama kalınlığı (z) değişiminin BC hattı üzerindeki ($\tau_{yz} - x$) gerilme dağılım grafiği



Şekil 4.60. Tabaka sayıları 2, 4 ve 6 kat olan yama kalınlığı (z) değişiminin BC hattı üzerindeki ($\tau_{xz} - x$) gerilme dağılım grafiği



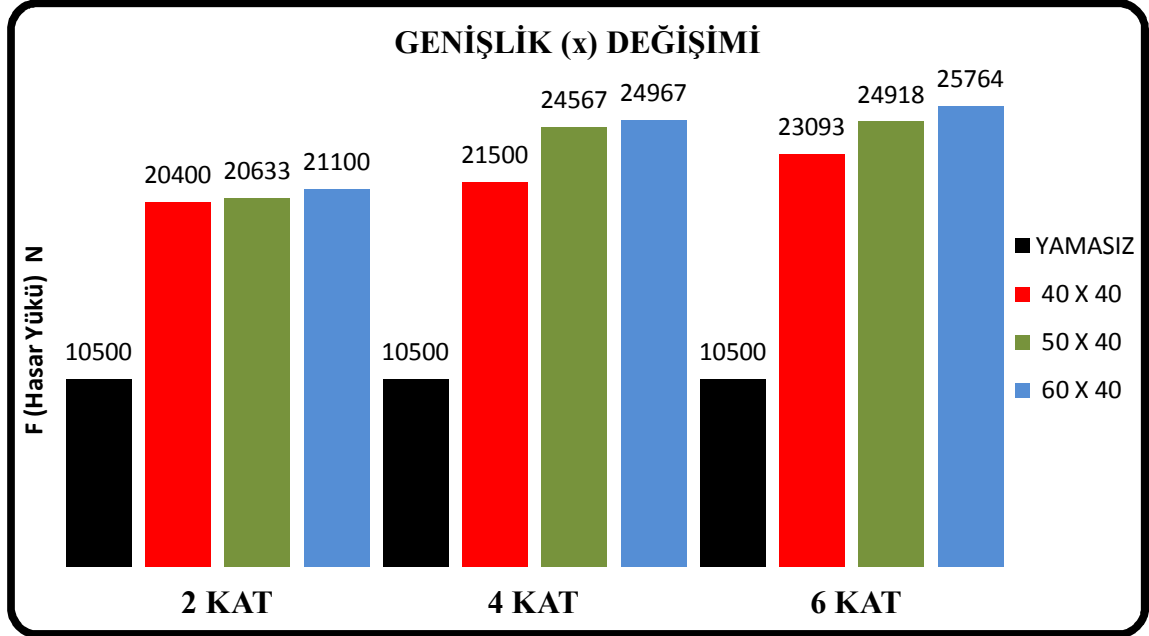
Şekil 4.61. Tabaka sayıları 2, 4 ve 6 kat olan yama kalınlığı (z) değişiminin BC hattı üzerindeki ($\sigma_{eqv} - x$) gerilme dağılım grafiği

Şekil 4.58, 4.59, 4.60, ve 4.61'de yama kalınlığı (z) 2, 4 ve 6 kat olan cam elyaf takviyeli kompozit numunelerin, BC hattı boyunca (τ_{xy} , τ_{yz} , τ_{xz} , σ_{eqv}) gerilme dağılımları verilmiştir. τ_{xy} gerilmeleri B noktasında negatif bir değerde başlayıp 12-13 mm arasında ani bir artış göstererek maksimuma ulaşmıştır, 13-14 mm arasında azalmış ve 14-30 mm arasında gerilme 0'a yakın bir değerdedir. τ_{yz} gerilmeleri B noktasında 0'a yakın bir değerde başlayıp 2 kat yama için 12-14 mm arasında küçük bir artış daha sonra azalış gözlemlenmiştir, 14-20 mm arasında artış gözlemlenmiş ve 20-30 mm arasında azalma gözlemlenmiştir. 4 kat için 12-17 mm arasında 0'a yakın bir değerde 18-19 mm arasında azalarak 19-20 mm arasında minimuma ulaşmıştır. 20-24 mm arasında artış olmuş ve 24-25 mm arasında maksimuma ulaşmıştır ve 25-30 mm arasında azalma gözlemlenmiştir. 6 kat için 12-17 mm arasında 0'a yakın bir değerde, 18-19 mm arasında azalarak 19-20 mm arasında minimuma ulaşmıştır. 20-30 mm arasında artış olmuş ve C noktasında maksimuma ulaşmıştır. τ_{xz} gerilmeleri B noktasında pozitif bir değerde başlayıp maksimum değerdedir, 12-13 mm arasında ani bir düşüş olmuştur, 13-30 mm arasında 0'a yakın bir değerde sabitlenmiştir. σ_{eqv} gerilmeleri B noktasında pozitif bir değerde başlayıp 12-18 mm arasında azalma göstermiş, 18-30 mm arasında gerilme 40 x 40 mm için azalma devam etmiş 40 x 50 mm ve 40 x 60 mm için artış meydana gelmiştir.

4.3. Hasar Yüklerinin ve Gerilme Değerlerinin Karşılaştırılması

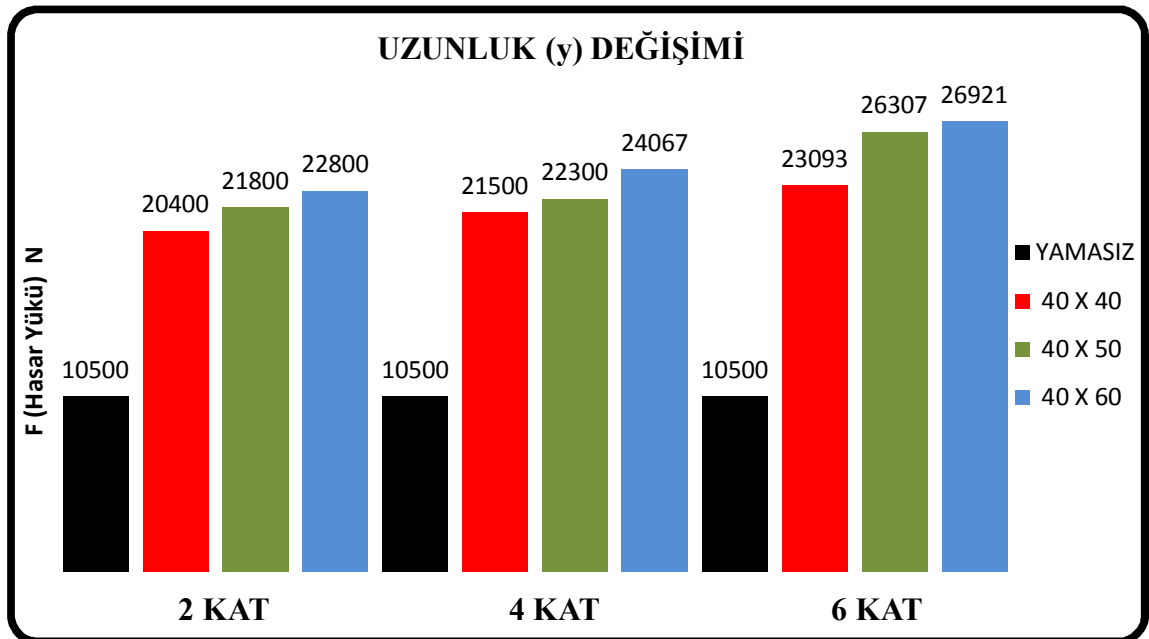
4.3.1. Deneysel hasar yüklerinin karşılaştırılması

4.3.1.1. Tabaka sayısı değişimlerinde yama genişliğinin (x) hasar yüklerine etkisi



Şekil 4.62. Tabaka sayıları 2, 4 ve 6 kat olan yamaların genişlik (x) artışının hasar yüküne etkisi

4.3.1.2. Tabaka sayısı değişimlerinde yama uzunluğunun (y) hasar yüklerine etkisi



Şekil 4.63. Tabaka sayıları 2, 4 ve 6 kat olan yamaların uzunluk (y) artışının hasar yüküne etkisi

Hasarsız numunelerin hasar yükü 27508 N mertebesinde iken hasarlı numunelerin hasar yükü 10500 N mertebesine düşmektedir. Yama genişliği, uzunluğu ve tabaka sayısı değişkenleriyle tamir edilen numuneler 25000 ile 30000 N civarına çıkan hasar yükleri bu tamirlerin oldukça başarılı olduğunu göstermektedir.

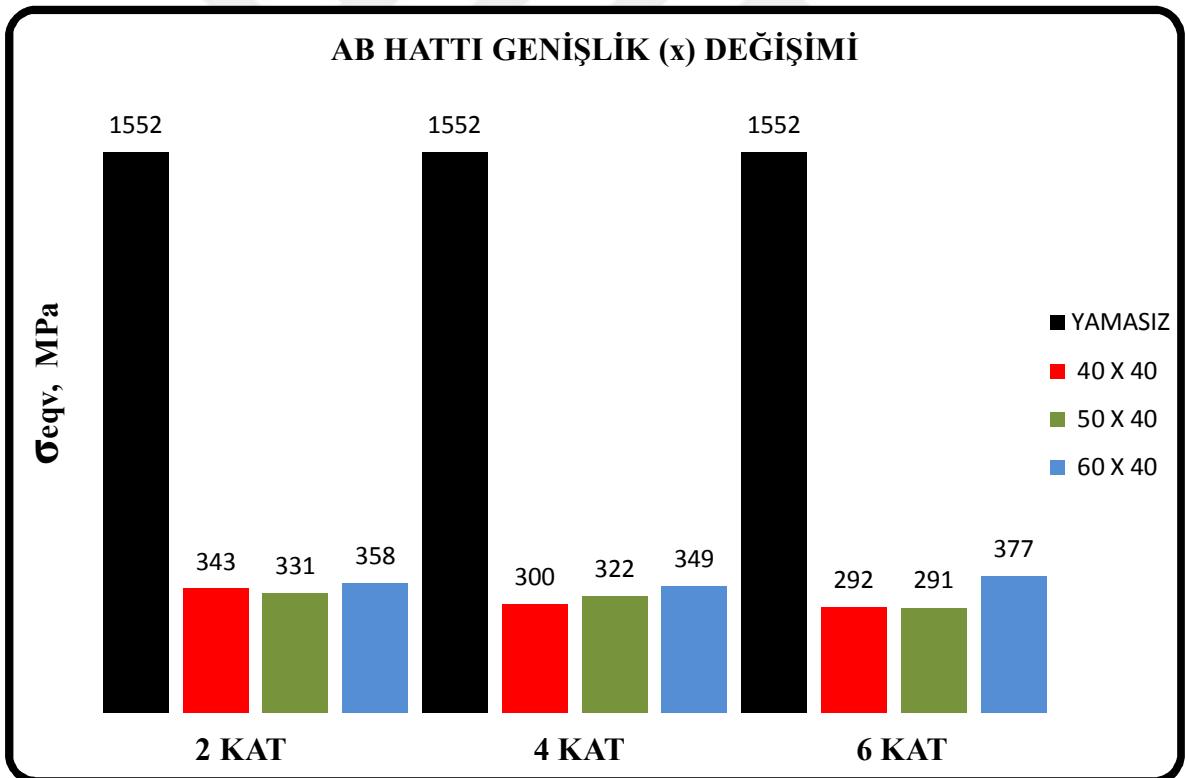
Yama genişliği, uzunluğu ve tabaka sayısı değişkenleri arttıkça hasar yükleri artmaktadır. Hasarsız numunelerin 27508 N olduğu için, yama genişliği, uzunluğu ve tabaka sayısı arttıkça hasar yükünün 25000 N ile 30000 N civarına çıkması normaldir.

Yama bölgesinin yapışma yüzey alanı ve uygulanan yamanın kat sayısı arttıkça tamir edilen numunenin hasar yükü değeri artmaktadır.

4.3.2. Nümerik von mises gerilmelerinin karşılaştırılması

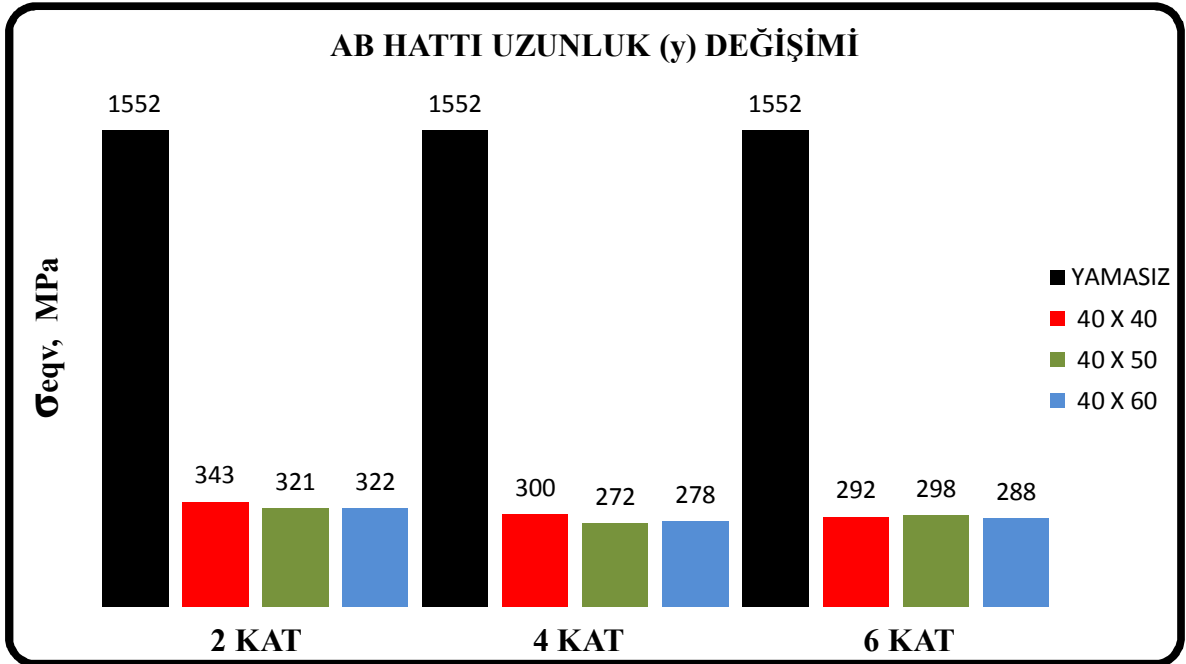
4.3.2.1. AB hattı

4.3.2.1.1. Tabaka sayısı değişimlerinde yama genişliğinin (x) von mises gerilmelerine etkisi



Şekil 4.64. Tabaka sayıları 2, 4 ve 6 kat olan yamaların genişlik (x) artışının von mises gerilmelerine etkisi

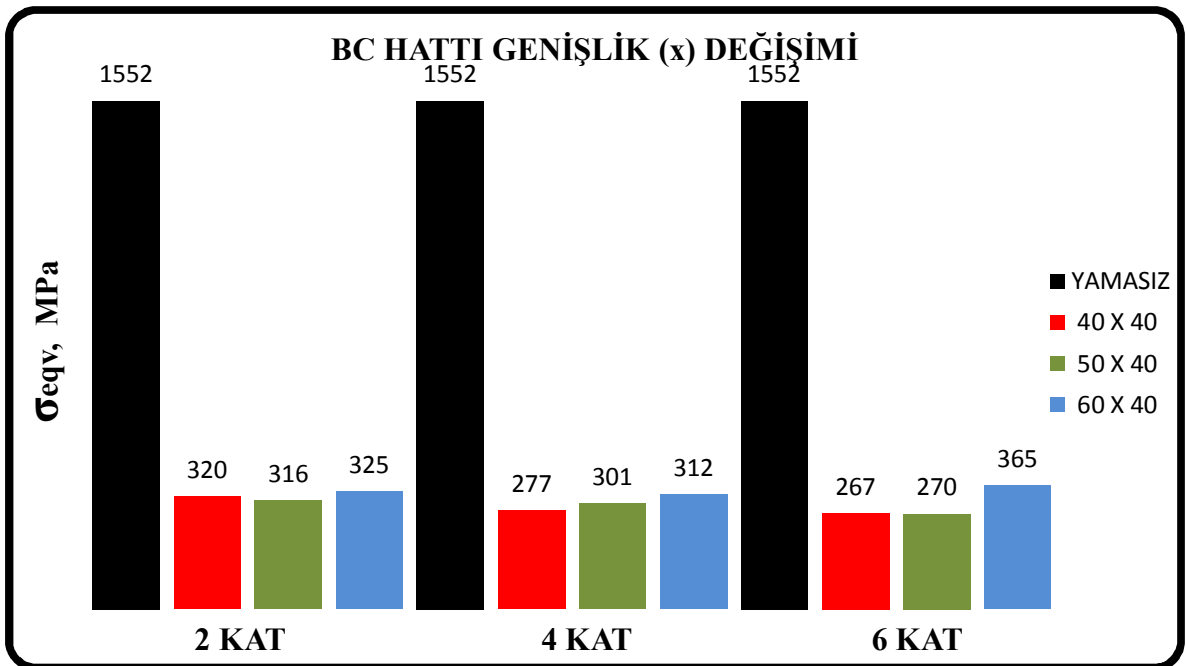
4.3.2.1.2. Tabaka sayısı değişimlerinde yama uzunluğunun (y) von mises gerilmelerine etkisi



Şekil 4.65. Tabaka sayıları 2, 4 ve 6 kat olan yamaların uzunluk (y) artışının von mises gerilmelerine etkisi

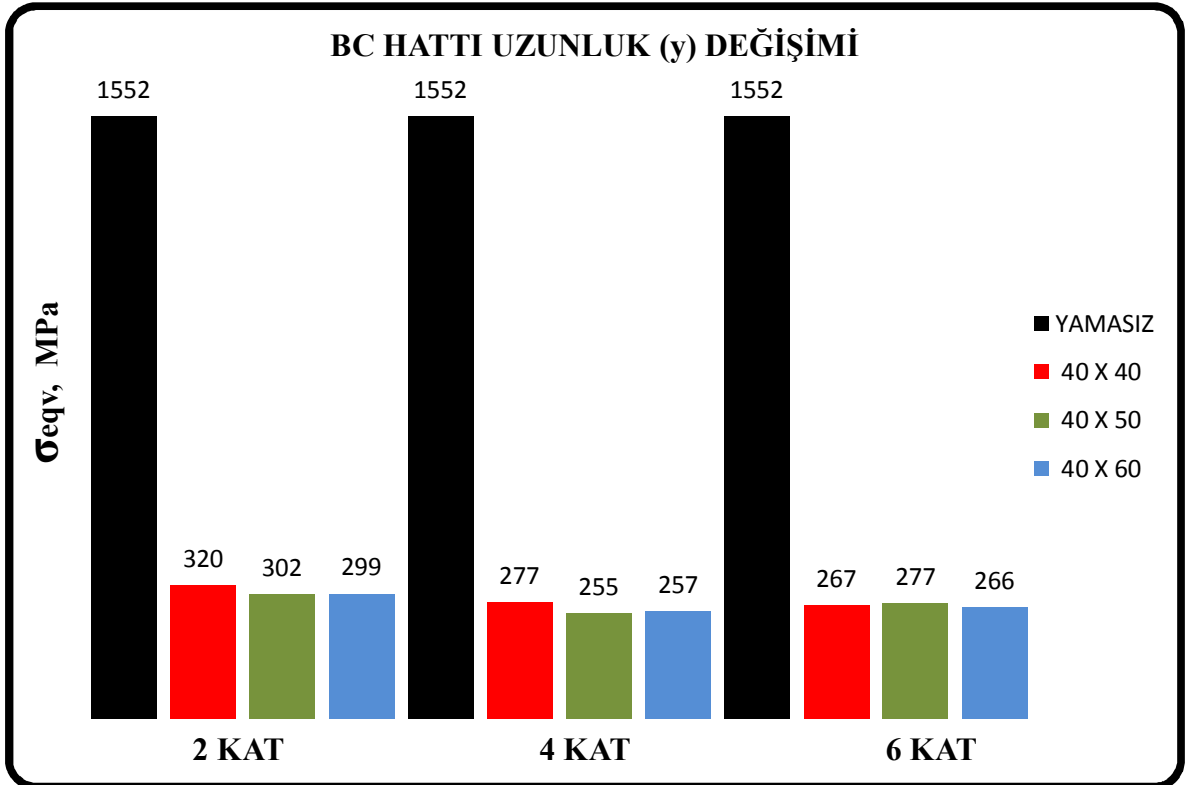
4.3.2.2. BC hattı

4.3.2.2.1. Tabaka sayısı değişimlerinde yama genişliğinin (x) von mises gerilmelerine etkisi



Şekil 4.66. Tabaka sayıları 2, 4 ve 6 kat olan yamaların genişlik (x) artışının von mises gerilmelerine etkisi

4.3.2.1.2. Tabaka sayısı değişimlerinde yama uzunluğunun (y) von mises gerilmelerine etkisi



Şekil 4.67. Tabaka sayıları 2, 4 ve 6 kat olan yamaların uzunluk (y) artışıının von mises gerilmelerine etkisi

Nümerik von mises karşılaştırılması için oluşturulan sütun grafikler, maksimum gerilme değerlerini göstermektedir. Deneysel ve sayısal olarak hasara uğradıkları görülen numunelerin hasar bölgelerindeki von mises gerilme yığılmaları birbirine yakındır. Tamir yapıldıktan sonra hasarın yamanın dışında bir yerde gerçekleşmesi von mises gerilme değerlerinin birbirine yakın sonuç vermesini sağlamıştır.

Yukarıdaki grafiklerde de gözüktüğü gibi sayısal ve deneysel sonuçların yüzde olarak birbirine çok yakın çıkması yapılan uygulamanın doğruluğunu göstermektedir. Bu da yukarıda bahsedilen deneysel sonuçları teyit etmektedir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada eliptik hasarlı kompozit levhaların kompozit yamalarla tamirinde, yama genişliği, uzunluğu ve tabaka sayısı değişiminin çekme hasar yükleri ve hasar mekanizmalarına etkisi deneysel olarak araştırılmış, daha sonrada ANSYS R 19.0 workbench programı kullanılarak sayısal analizleri yapılmıştır. Yama boyutları ve tabaka sayısı değişiminin σ_x , σ_y , σ_z , τ_{xy} , τ_{yz} , τ_{xz} , σ_{eqv} gerilmeleri üzerindeki etkisi incelenmiştir.

5.1. Deneysel Sonuçlar

Öncelikli olarak yama genişliğinin (x) hasar yüklerine etkisi araştırılmıştır. Kalınlıkları 2 kat, 4 kat ve 6 kat olan, uzunluklar sırasıyla 40x40, 50x40, 60x40 mm boyutlarında tek taraf yamalı bindirme bağlantılarında kıyaslama yapılmıştır. Kıyaslama sonucuna göre kat sayısı ve yama genişliği (x) arttıkça hasar yükünün arttığı görülmüştür. Malzemenin kırılma yerleri 2 kat için elips kesitinden, 4 kat ve 6 kat için yama dışından gerçekleşmiştir.

Daha sonra yama uzunluğunun (y) hasar yüklerine etkisi araştırılmıştır. Kalınlıkları 2 kat, 4 kat ve 6 kat olan, uzunluklar sırasıyla 40x40, 40x50, 40x60 mm boyutlarında tek taraf yamalı bindirme bağlantılarında kıyaslama yapılmıştır. Kıyaslama sonucuna göre kat sayısı ve yama uzunluğu (y) arttıkça hasar yükünün arttığı görülmüştür. Malzemenin kırılma yerleri 2 kat için elips kesitinden, 4 kat ve 6 kat için yama dışından gerçekleşmiştir.

Daha sonra yama kalınlığı (z) hasar yüklerine etkisi araştırılmıştır. Kalınlıkları 2 kat, 4 kat ve 6 kat olan, uzunluğu 40x40, 40x50, 40x60, 50x40, 60x40 mm boyutundaki tek taraf yamalı bindirme bağlantılarında kıyaslama yapılmıştır. Kıyaslama sonucuna göre kat sayısı (z) arttıkça hasar yükünün arttığı görülmüştür. Malzemenin kırılma yerleri 2 kat için elips kesitinden, 4 kat ve 6 kat için yama dışından gerçekleşmiştir.

5.2. Nümerik Sonuçlar

Nümerik analiz sonuçları ile deneysel çalışmaların sonuçları birbiriyle uyumludur. AB hattının sonu BC hattının başlangıcı olan "B" noktası civarında gerilme yoğunlaşması görülmektedir. Bu da deneysel hasar bölgeleri incelendiğinde yama içinden kırılmanın olduğu elipsin uç sivri kısmı gerilme yığılması bölgesidir. AB hattı boyunca buraya yaklaşırken gerilme artmakta, BC hattında buradan uzaklaşırken gerilmeler düşmektedir.

BC hattında yamanın genişlik artışında göstermiş olduğu gerilme değerleri incelendiğinde 20 mm noktasının kritik nokta olduğu gözlemlenmiştir. 20 mm noktasında

yamanın hasarlı malzeme üzerinde bittiği nokta olması sebebiyle kesme gerilmeleri grafiklerde gözlemlenmiştir.

BC hattında yamanın uzunluk artışında göstermiş olduğu gerilme değerleri incelendiğinde 20, 24 ve 30 mm noktalarının kritik nokta olduğu gözlemlenmiştir. 20, 24 ve 30 mm noktalarının yamanın hasarlı malzeme üzerinde bittiği nokta olması sebebiyle kesme gerilmeleri grafiklerde gözlemlenmiştir.

BC hattında tabaka sayısı değişiminde 2 kat yamada elips kesitinden kopma olduğu için maksimum noktası oluşmamıştır. 4 kat ve 6 katta yama dışı kopma olduğu için maksimum noktalar oluşmuştur.

Deneysel sonuçlar ile nümerik sonuçlar kıyaslandığında Çizelge 4.1'de görüleceği üzere, ortalama olarak % 98 oranında yakınsama görülmüştür. Yapmış olduğumuz nümerik çözümleri yaklaşık çözümler olarak varsayarak, bu yakınsama oranının uygun olduğu ve nümerik sonuçların da kabul edilebilir olduğu söylenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Özel, K., Alüminyum-Bakır Boruların Yapıştırma Yöntemi İle Birleştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü. İstanbul.(2008).
- [2] Ramji, M., Srilakshmi, R., Bhanu Prakash, M. Towards Optimization of Patch Shape on the Performance of Bonded Composite Repair Using FEM. *Composites: Part B*, 45 : 710-720 (2013).
- [3] Soy, U., Bilgisayar Destekli Modelleme Yardımıyla Al 2024-T3 Alaşım Plakanın Kompozit Yama İle Yapıştırılmalı Tamiri. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü. Sakarya. (2005).
- [4] Rachid, M., Serier, B., Bachir Bouiadjra, B., Belhouari, M. Numerical Analysis of the Patch Shape Effects on the Performances of Bonded Composite Repair in Aircraft Structures. *Composites: Part B*, 43 : 391-397 (2012).
- [5] Li, H.C.H., Wangb, J., Baker, A. Rapid Composite Bonded Repair for Helicopter Tail Drive Shafts. *Composites: Part B*, 43 : 1579-1585 (2012).
- [6] Çitil, Ş., Ortası Boş ve Ara Elemanlı Çift Takviyeli Yapıştırma Bağlantılarının Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Doktora Tezi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Erzurum. (2012).
- [7] Çitil, Ş., Kapakları Parça İçine Gömülü Çift Takviyeli Yapıştırma Bağlantılarının Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Erzurum. (2010).
- [8] Şahin, A., Kompozit Metal Köpük Malzemelerin Tek Bindirmeli Yapıştırma Bağlantılarının Kesme Mukavemetinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Edirne. (2011).
- [9] Tek, G., Tek ve Çift-Tesirli Yapıştırma Bağlantılarında Gerilme Analizi. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara. (2011).
- [10] Özenç, M., Yapıştırma Bağlantılarının Darbe Yükleri Altındaki Davranışlarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Denizli. (2007).
- [11] Gül, A., Yapıştırma Bağlantılı Kompozit Boruların Burkulma Analizi. Yüksek Lisans Tezi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Erzurum. (2013).
- [12] Adin, H., Yapıştırıcı İle Birleştirilmiş Ters Z Tipi Kompozit Malzeme Bağlantılarının Mekanik Analizi. Doktora Tezi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Elazığ. (2012).
- [13] Tın, Sinan., Tek Bindirmeli Yapıştırma Bağlantılarının Tasarım ve Analizi. Yüksek Lisans Tezi. Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Afyonkarahisar. (2006).

- [14] Şekercioğlu, T., Tek Bindirmeli Yapıştırma Bağlantılarının Tasarım Ve Analizi. Doktora Tezi. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Denizli. (2001).
- [15] Demirci, İ., E-Cam/Epoksi Örgülü Kompozit Plakaların Analitik Ve Deneysel Titreşim Analizi. Yüksek Lisans Tezi. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Zonguldak. (2010).
- [16] Canan, F., Açılı Yüzey Çatlaklı Cam Epoksi Kompozit Malzemelerin Kırılma Davranışları. Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Konya. (2007).
- [17] Dinçer, C., Yüzey Çatlaklı Tek Yönde Takviyeli Cam Epoksi Kompozit Malzemelerde Kırılma Davranışlarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Konya. (2013).
- [18] Gezici, F., farklı konumlarda çatlak içeren cam-epoksi kompozitinin kırılma davranışlarının deneysel ve nümerik olarak incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İzmir. (2014).
- [19] Yıldızhan, H., Polimer Matrisli Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Isparta. (2008).
- [20] Atagür, M., Farklı Yapıya Sahip Kil Mineralleri İle Tpu (Termoplastik Poliüretan) Kullanılarak Polimer Matrisli Kompozit Malzeme Üretimi ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İzmir. (2016).
- [21] Gülakman, A., Cam/Epoksi Malzemesinin Üretimi, Mekanik Özelliklerinin Tespiti Ve Ara Yüzey Kırılma Tokluğunun Hesaplanması. Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İzmir. (2008).
- [22] Ergün, R.K., Eliptik Delikli Alüminyum Levhaların Kompozit Yama İle Tamir Edilmesinin Gerilme Davranışına Etkisinin Deneysel Ve Sayısal Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kahramanmaraş. (2014).
- [23] Serbest, A.K., Kauçuk Malzeme Çiftinin Sonradan Yapıştırma Yöntemi Kullanılarak Yapıştırma Parametrelerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Bursa. (2013).
- [24] Doğan, A., Farklı Çevresel Koşullara Maruz Kompozitlerin Mekanik Davranışı. Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İzmir. (2014).
- [25] URL: <https://www.muhendisbeyinler.net/kompozit-malzemeler-ve-kullanim-alanlari/>
02.09.2018 17:19

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı, soyadı : Mehmet RAMAZANOĞLU
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 10.04.1989 Kahramanmaraş
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 (545) 401 00 33
e-posta : m.r.oglu@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gümüşhane Üni. / Makine Mühendisliği Bölümü	2014
Lise	Kahramanmaraş Fatih Süper Lisesi	2007

İş Denevimi

Yıl	Yer	Görev
2016- ...	Eslon Mutfak	İşletme Müdürü
2015-2016	Akdo Dondurma	Makine Mühendisi
2014-2015	Onur Bakalit	Makine Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Futbol, Basketbol, Voleybol, Yüzme,