



T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELİPTİK HASARLI KOMPOZİT LEVHALARIN
TAMİRİNDE LİF YÖNÜ VE TABAKA SAYISININ
EĞİLME GERİLME DAVRANIŞLARINA ETKİSİNİN
DENEYSEL VE SAYISAL OLARAK
ARAŞTIRILMASI**

MUSTAFA ASLANTÜRK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

KAHRAMANMARAŞ 2018

T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELİPTİK HASARLI KOMPOZİT LEVHALARIN
TAMİRİNDE LİF YÖNÜ VE TABAKA SAYISININ
EĞİLME GERİLME DAVRANIŞLARINA ETKİSİNİN
DENEYSEL VE SAYISAL OLARAK
ARAŞTIRILMASI

MUSTAFA ASLANTÜRK

Bu tez,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS
Derecesi için hazırlanmıştır.

KAHRAMANMARAŞ 2018

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğrencisi Mustafa ASLANTÜRK tarafından hazırlanan “ELİPTİK HASARLI KOMPOZİT LEVHALARIN TAMİRİNDE LİF YÖNÜ VE TABAKA SAYISININ EĞİLME GERİLME DAVRANIŞLARINA ETKİSİNİN DENEYSEL VE SAYISAL OLARAK ARAŞTIRILMASI” adlı bu tez, jürimiz tarafından 13/09/2018 tarihinde oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında 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 Adin (ÜYE)

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Batman Üniversitesi

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylıyorum.

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 orjinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

.....
Mustafa ASLANTÜRK

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 LİF YÖNÜ VE
TABAKA SAYISININ EĞİLME GERİLME DAVRANIŞLARINA ETKİSİNİN
DENEYSEL VE SAYISAL OLARAK ARAŞTIRILMASI**

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

MUSTAFA ASLANTÜRK

ÖZET

Bu çalışmada, eliptik hasarlı cam elyaf takviyeli kompozit levhalar ve yamalardan, DP460 yapıştırıcı malzemesi kullanılarak tek taraflı ve çift taraflı bindirme bağlantıları oluşturulmuştur. Eğme yüküne maruz bırakılarak hasar yükleri ve gerilme davranışları, deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir. Nümerik analizler için ANSYS 19.0 programı kullanılmıştır. Farklı tabaka sayısındaki (2, 4, 6) ve lif açısındaki [(0-90), (0-0), (45-(-45)), (90-90)] her numune için hasar yükleri bulunmuş ve cam elyaf takviyeli kompozit (esas malzeme) ve DP460 (yapıştırıcı malzeme) üzerindeki kritik hatlar belirlenerek, σ_x , σ_y , σ_z , τ_{yz} , τ_{xy} , τ_{xz} , σ_{eqv} gerilme dağılımları incelenmiştir. Nümerik hasar yükleri ile deneysel hasar yükleri karşılaştırılmış ve % 93 oranında yakınsama gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gerilme Dağılımları, Hasar Yükleri, Kompozit Levha, Çift Taraflı Bindirme Bağlantıları, Yapıştırıcılar.

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Eylül / 2018

Danışman: Dr. Öğr-Üyesi Abdullah ŞİŞMAN

Sayfa Sayısı: 112

**INVESTIGATION OF THE EFFECT OF THE ELIPTIC HOLE COMPOSITE
LEVELS OF COMPOSITE PATTERN ON THE BENDING STRENGTH
BEHAVIOR OF FIBER SIDE AND LAYER INVESTIGATION OF
EXPERIMENTAL AND NUMERICAL DATA**

(M.Sc. THESIS)

MUSTAFA ASLANTÜRK

ABSTRACT

In this study, double-sided lap and single-sided joints have been performed from glass fiber reinforced composite plates with elliptical hole and patches by using DP460 adhesive material. Under bending loads stress behaviors and failure loads have been investigated experimental and numerical. ANSYS 19.0 have been used for numerical analysis. Failure loads have been found for each specimen with different layer (2L, 4L, 6L) and angle [(0-90), (0-0), (45-(-45)), (90-90)] and σ_x , σ_y , σ_z , σ_{eqv} , τ_{xy} , τ_{yz} , τ_{xz} stress distributions have been investigated by defining the critical lines on glass fiber reinforced composite plates and DP460 adhesive material. Numerical failure loads and experimental failure loads have been compared and % 93 percent convergence have been observed.

Key Words: Stress Distributions, Failure Loads, Composite Plate, Double-Sided Lap Joints, Adhesives.

University of Kahramanmaraş Sutcu İmam
Graduate School of Natural and Applied Science
Department of Mechanical Engineering, September / 2018

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Abdullah ŞİŞMAN

Number of Pages: 112

TEŞEKKÜR

Danışman hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Abdullah ŞİŞMAN'a her konuda emeği geen sınıf arkadaşlarım ANSYS çalışmalarında verdiği destekten ötürü Mak. Müh. Osman AHLATLI' ya, nümerik çalışmalarda yardımlarını esirgemeyen Mak. Müh. Can CANBOLAT' a ve Mak. Müh. Mehmet RAMAZANOĞLU' na, maddi, manevi desteklerini benden esirgemeyen AİLEME ve sevgili EŐİME teşekkürlerimi sunuyorum.

Mustafa ASLANTÜRK



İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
1.1. Önceki Çalışmalar	2
2. KURAMSAL TEMELLER	8
2.1. Kompozit Malzemeler	8
2.1.1. Kompozitin avantajları ve dezavantajları	9
2.1.2. Modern kompozit malzemelerin sınıflandırılması	11
2.1.2.1. Matriks elemanına göre kompozit malzemeler	11
2.1.2.2. Takviye elemanına göre kompozit malzemeler	14
2.1.2.2.1. Elyaf takviyeli kompozit malzemeler	14
2.2. Yapıştırma Bağlantıları	18
2.2.1. Adhezyon	19
2.2.2. Kohezyon	19
2.2.3. Yapışmayı etkileyen faktörler	19
2.2.4. Yapışma termal özellikleri	20
2.2.4.1. Camsı geçiş sıcaklığı	21
2.2.4.2. Ergime sıcaklığı	23
2.2.5. Yapıştırma bağlantı geometrileri	23
2.2.6. Yapıştırıcı çeşitleri	25
2.2.6.1. Doğal yapıştırıcılar	25
2.2.6.2. Sentetik yapıştırıcılar	26
2.2.6.2.1. Akrilikler	26
2.2.6.2.2. Anaerobik yapıştırıcılar	26

2.2.6.2.3. Siyanoakrilitler	26
2.2.6.2.4. Modifiye edilmiş fenolikler	27
2.2.6.2.5. Poliüretanlar	27
2.2.6.2.6. Epoksiler.....	27
2.2.7. Yapıştırılacak yüzeylerin hazırlanması	28
2.3. Eğme Deneyi	28
2.4. Sonlu Elemanlar Metodu	30
2.4.1. Ansys	32
3. MATERYAL ve METOD	34
3.1. Tamir Edilecek Malzeme.....	34
3.2. Yama Malzemesi	36
3.3. Yapıştırıcı Malzeme	36
3.4. Deney Numunelerinin Hazırlanması	38
3.5. Deneysel Hasar Yüklerinin Belirlenmesi	44
3.6. Nümerik Analiz	45
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	52
4.1. Deneysel Bulgular	52
4.1.1. Hasarsız yamasız numunelerin hasar yükü grafikleri.....	54
4.1.1.1. Hasarsız yamasız numunelerde tabaka sayısı değişiminin hasar yüküne etkisi	54
4.1.1.2. Hasarsız yamasız numunelerde lif yönü değişiminin hasar yüküne etkisi ..	55
4.1.2. Hasarlı yamasız numunelerin hasar yükü grafikleri	56
4.1.2.1. Hasarlı yamasız numunelerde tabaka sayısı değişiminin hasar yüküne etkisi	56
4.1.2.2. Hasarlı yamasız numunelerde lif yönü değişiminin hasar yüküne etkisi	57
4.1.3. Hasarlı tek bindirmeli numunelerin hasar yükü grafikleri.....	58
4.1.3.1. Hasarlı tek bindirmeli numunelerde tabaka sayısı değişiminin hasar yüküne etkisi	58
4.1.3.2. Hasarlı tek bindirmeli numunelerde lif yönü değişiminin hasar yüküne etkisi	59
4.1.4. Hasarlı çift bindirmeli numunelerin hasar yükü grafikleri	60

4.1.4.1. Hasarlı çift bindirmeli numunelerde tabaka sayısı değişiminin hasar yüküne etkisi	60
4.1.4.2. Hasarlı çift bindirmeli numunelerde lif yönü değişiminin hasar yüküne etkisi	61
4.1.5. Hasarlı yamasız ve yamalı numunelerin hasar yükü grafiği.....	62
4.1.5.1. Hasarlı yamasız ve yamalı numunelerde bindirme sayısı değişiminin etkisi..	62
4.2. Numerik Bulgular	64
4.2.1. Ana malzeme	65
4.2.1.1. AB hattı	65
4.2.1.1.1. Tek bindirmeli yamalı numunelerde lif yönü ve tabaka sayısının AB hattında hasar yüklerine etkisi.....	65
4.2.1.1.1.1. Tabaka sayısının hasar yüklerine etkisi	65
4.2.1.1.1.2. Lif yönünün hasar yüklerine etkisi	71
4.2.1.1.2. Bindirme sayısı değişiminin AB hattının hasar yüklerine etkisi.....	77
4.2.1.2. BC hattı	83
4.2.1.2.1. Tek bindirmeli yamalı numunelerde lif yönü ve tabaka sayısının BC hattında hasar yüklerine etkisi.....	83
4.2.1.2.1.1. Tabaka sayısının hasar yüklerine etkisi	83
4.2.1.2.1.2. Lif yönünün hasar yüklerine etkisi	89
4.2.1.1.4. Bindirme sayısı değişiminin BC hattının hasar yüklerine etkisi	94
4.3. Hasar Yüklerinin Karşılaştırılması	100
4.3.1. Deneysel hasar yüklerinin karşılaştırılması	100
4.3.1.1. Bindirme sayısı değişimlerinde, (0-90) lif yönlü numunelerde, tabaka sayısı değişiminin hasar yüklerine etkisi	100
4.3.1.2. Bindirme sayısı değişimlerinde, 4 tabakalı numunelerde, lif yönü değişiminin hasar yüklerine etkisi	100
4.3.2. Numerik hasar yüklerinin karşılaştırılması	101
4.3.2.1. AB hattı	101
4.3.2.1.1. Bindirme sayısı değişimlerinde, (0-90) lif yönlü numunelerde, tabaka sayısı değişiminin Von Mises gerilmelerine etkisi.....	101
4.3.2.1.2. Bindirme sayısı değişimlerinde, 4 tabakalı numunelerde, lif yönü değişiminin Von Mises gerilmelerine etkisi.....	102
4.3.2.2. BC hattı	103

4.3.2.2.1. Bindirme sayısı değişimlerinde, (0-90) lif yönlü numunelerde, tabaka sayısı değişiminin hasar yüklerine etkisi.....	103
4.3.2.2.2. Bindirme sayısı değişimlerinde, 4 tabakalı numunelerde, lif yönü değişiminin Von Mises gerilmelerine etkisi.....	104
5. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME.....	105
KAYNAKÇA.....	107
ÖZGEÇMİŞ.....	111



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
H	: Yama Numunesinin Yüksekliği
W	: Yama Numunesinin Genişliği
Θ	: AB hattı boyunca açı
L	: BC hattı boyunca 1 birimlik mesafe
σ_x	: X eksenindeki gerilmeler
σ_y	: Y eksenindeki gerilmeler
σ_z	: Z eksenindeki gerilmeler
τ_{xy}	: XY düzlemindeki kayma gerilmeleri
τ_{yz}	: YZ düzlemindeki kayma gerilmeleri
τ_{xz}	: XZ düzlemindeki kayma gerilmeleri
σ_{eqv}	: Eş değer gerilmeler
DHY	: Deneysel hasar yükü
NHY	: Nümerik hasar yükü

LME	: Lama merkezine etkiyen kuvvetin boyunca merkezden eğilme
LMK	: Lama merkezine etkiyen kuvvetin boyunca merkezden kırılma
YSE	: Yama bitim sınırından eğilme
YSK	: Yama bitim sınırından kırılma
TTB	: Tek taraflı bindirme
ÇTB	: Çift taraflı bindirme



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Takviye fazın matriks içindeki halleri (Güç, 2012)	8
Şekil 2.2. En genel kullanımlı takviye elemanlı kompozitler; a) fiber takviyeli, b) partikül takviyeli, c) tabakalı kompozitler, d) dolgu kompozitler (Türkmen, 2012).....	14
Şekil 2.3. El ile yatırma yöntemi (Anonim, 2018b)	18
Şekil 2.4. Adhezyon ve kohezyon kuvvetleri (Baylan, 2015)	18
Şekil 2.5. Amorf, yarı kristalin, kristalin polimerlerinin hacim-sıcaklık ilişkisi (Saçak, 1998)	21
Şekil 2.6. Amorf yapı (Saçak, 1998)	21
Şekil 2.7. Kristalin yapı (Saçak, 1998)	22
Şekil 2.8. Yarı kristalin yapı (Saçak, 1998).....	22
Şekil 2.9. Yapıştırma bağlantıları geometrileri; a) Tek taraflı bindirme bağlantısı, b) Çift taraflı bindirme bağlantısı, c) Pahlı bindirme bağlantısı, d) Açılı bindirme bağlantısı, e)Alın bağlantısı, f) Kademeli bağlantı, g) Tek taraflı takviyeli alın bağlantısı, h) Çift taraflı takviyeli alın bağlantısı, ı) Silindirik bindirmeli bağlantı (Özenç, 2007).....	24
Şekil 2.10. Bağlantı tiplerinin kalınlık-mukavemet grafiği	25
Şekil 2.11. Üç nokta eğme deneyi gösterimi (Anonim, 2018c)	29
Şekil 2.12. Üç nokta eğme deneyi eğilme moment diagramı	29
Şekil 2.13. Sonlu elemanlar metodu çözüm mantığından bir kesit (Alkan, 2014).....	31
Şekil 2.14. Örnek bir kiriş probleminin ansys programı ile çözümlenmesi (Anonim, 2018)	32
Şekil 3.1. a) Kemik malzemeler b) Kemik değerler test aşaması.....	34
Şekil 3.2. Eliptik delik açılmış cam elyaf kompozit levha tamir edilecek malzeme	35
Şekil 3.3. Cam elyaf kompozit yama malzemesi $x=60$, $y=40$ mm	36
Şekil 3.4. DP460 gerilme-şekil değiştirme grafiği	36
Şekil 3.5. Yapıştırıcı malzeme DP460	37
Şekil 3.6. DP-460 kürleşme zamanı (dk) - kürleşme sıcaklığı (0C) grafiği (Ergün, 2014). 37	
Şekil 3.7. 60 x 140 mm 4 Katmanlı (0,0) lif açılı bir lama numunesi	38
Şekil 3.8. Asetonla yıkanıp su ile durulanan numunelerin kurutulması işlemi	40
Şekil 3.9. Yapıştırıcı uygulanan numuneler	41
Şekil 3.10. Tek taraflı bindirme için hazırlanan deney numunelerinin şematik gösterimi.. 41	
Şekil 3.11. Çift taraflı bindirme için hazırlanan deney numunelerinin şematik gösterimi.. 42	

Şekil 3.12. Yapıştırma işlemi gerçekleşmiş hasarsız yamasız, hasarlı yamasız, tek bindirmeli ve çift bindirmeli numuneler	43
Şekil 3.13. ZWICK Z100 test cihazı	44
Şekil 3.14. Numune eğilme anı	45
Şekil 3.15. Modeli tamamlanan bir numunenin ANSYS'e aktarılmış hali	45
Şekil 3.16. ANSYS engineering data kısmı	46
Şekil 3.17. Mesh yapısı	47
Şekil 3.18. Mesh yapısı	47
Şekil 3.19. ANSYS proje şeması.....	49
Şekil 3.20. Mesnet noktaları ve kuvvet yönünün belirlenmesi.....	49
Şekil 3.21. Cam elyaf kompozit lama üzerinde oluşturulan AB hattı	50
Şekil 3.22. Cam elyaf kompozit lama üzerinde oluşturulan BC hattı	50
Şekil 3.23. Total deformasyon simülasyonu	51
Şekil 4.1. Üç nokta eğme cihazında çift bindirmeli numunenin yük altındaki davranışı....	52
Şekil 4.2. Hasarsız yamasız (0-90) lif açılı numunelerde tabaka sayısı değişiminin etkisi.	54
Şekil 4.3. Hasarsız yamasız 4 tabakalı numunelerde lif yönü değişiminin etkisi	55
Şekil 4.4. Hasarlı yamasız (0-90) lif açılı numunelerde tabaka sayısı değişiminin etkisi...	56
Şekil 4.5. Hasarlı yamasız 4 Tabakalı numunelerde lif yönü değişiminin etkisi	57
Şekil 4.6. Hasarlı tek bindirmeli (0-90) lif açılı numunelerde tabaka sayısı değişiminin etkisi	58
Şekil 4.7. Hasarlı tek bindirmeli 4 tabakalı numunelerde lif yönü değişiminin etkisi	59
Şekil 4.8. Hasarlı çift bindirmeli (0-90) lif açılı numunelerde tabaka sayısı değişiminin etkisi	60
Şekil 4.9. Hasarlı çift bindirmeli 4 tabakalı numunelerde lif yönü değişiminin etkisi.....	61
Şekil 4.10. Hasarlı 4 tabakalı (0-90) lif açılı numunelerin yama bindirme sayısı değişiminin etkisi	62
Şekil 4.11. Yamasız hasarlı 2 tabaka (0,90) numunenin deney sonrası hasar tipi (delik merkezinden).....	63
Şekil 4.12. Tek taraflı bindirme uygulanan 4 tabaka (0,0) numunenin deney sonrası hasar tipi (yama yanından)	63
Şekil 4.13. AB ve BC hatları	64
Şekil 4.14. Hasarlı tek bindirmeli (0-90) açılı numunelerde tabaka sayısı değişiminin σ_x gerilme dağılımına etkisi.....	65

Şekil 4.15. Hasarlı tek bindirmeli (0-90) açılı numunelerde tabaka sayısı değişiminin σ_y gerilme dağılımına etkisi.....	66
Şekil 4.16. Hasarlı tek bindirmeli (0-90) açılı numunelerde tabaka sayısı değişiminin σ_z gerilme dağılımına etkisi.....	66
Şekil 4.17. Hasarlı tek bindirmeli (0-90) açılı numunelerde tabaka sayısı değişiminin τ_{xy} gerilme dağılımına etkisi.....	68
Şekil 4.18. Hasarlı tek bindirmeli (0-90) açılı numunelerde tabaka sayısı değişiminin τ_{yz} gerilme dağılımına etkisi.....	68
Şekil 4.19. Hasarlı tek bindirmeli (0-90) açılı numunelerde tabaka sayısı değişiminin τ_{xz} gerilme dağılımına etkisi.....	69
Şekil 4.20. Hasarlı tek bindirmeli (0-90) açılı numunelerde tabaka sayısı değişiminin σ_{eqv} gerilme dağılımına etkisi.....	70
Şekil 4.21. Hasarlı tek bindirmeli 4 tabakalı numunelerde lif yönü değişiminin σ_x gerilme dağılımına etkisi.....	71
Şekil 4.22. Hasarlı tek bindirmeli 4 tabakalı numunelerde lif yönü değişiminin σ_y gerilme dağılımına etkisi.....	72
Şekil 4.23. Hasarlı tek bindirmeli 4 tabakalı numunelerde lif yönü değişiminin σ_z gerilme dağılımına etkisi.....	72
Şekil 4.24. Hasarlı tek bindirmeli 4 tabakalı numunelerde lif yönü değişiminin τ_{xy} gerilme dağılımına etkisi.....	74
Şekil 4.25. Hasarlı tek bindirmeli 4 tabakalı numunelerde lif yönü değişiminin τ_{yz} gerilme dağılımına etkisi.....	74
Şekil 4.26. Hasarlı tek bindirmeli 4 tabakalı numunelerde lif yönü değişiminin τ_{xz} gerilme dağılımına etkisi.....	75
Şekil 4.27. Hasarlı tek bindirmeli 4 tabakalı numunelerde lif yönü değişiminin σ_{eqv} gerilme dağılımına etkisi.....	76
Şekil 4.28. Hasarlı 4 tabakalı (0-90) lif açılı numunelerde bindirme sayısı değişiminin σ_x gerilme dağılımına etkisi.....	77
Şekil 4.29. Hasarlı 4 tabakalı (0-90) lif açılı numunelerde bindirme sayısı değişiminin σ_y gerilme dağılımına etkisi.....	78
Şekil 4.30. Hasarlı 4 tabakalı (0-90) lif açılı numunelerde bindirme sayısı değişiminin σ_z gerilme dağılımına etkisi.....	78
Şekil 4.31. Hasarlı 4 tabakalı (0-90) lif açılı numunelerde bindirme sayısı değişiminin τ_{xy} gerilme dağılımına etkisi.....	80

Şekil 4.32. Hasarlı 4 tabakalı (0-90) lif açılı numunelerde bindirme sayısı değişiminin τ_{yz} gerilme dağılımına etkisi.....	80
Şekil 4.33. Hasarlı 4 tabakalı (0-90) lif açılı numunelerde bindirme sayısı değişiminin τ_{xz} gerilme dağılımına etkisi.....	81
Şekil 4.34. Hasarlı 4 tabakalı (0-90) lif açılı numunelerde bindirme sayısı değişiminin τ_{eqv} gerilme dağılımına etkisi.....	82
Şekil 4.35. Hasarlı tek bindirmeli (0-90) açılı numunelerde tabaka sayısı değişiminin σ_x gerilme dağılımına etkisi.....	83
Şekil 4.36. Hasarlı tek bindirmeli (0-90) açılı numunelerde tabaka sayısı değişiminin σ_y gerilme dağılımına etkisi.....	84
Şekil 4.37. Hasarlı tek bindirmeli (0-90) açılı numunelerde tabaka sayısı değişiminin σ_z gerilme dağılımına etkisi.....	84
Şekil 4.38. Hasarlı tek bindirmeli (0-90) açılı numunelerde tabaka sayısı değişiminin τ_{xy} gerilme dağılımına etkisi.....	86
Şekil 4.39. Hasarlı tek bindirmeli (0-90) açılı numunelerde tabaka sayısı değişiminin τ_{yz} gerilme dağılımına etkisi.....	86
Şekil 4.40. Hasarlı tek bindirmeli (0-90) açılı numunelerde tabaka sayısı değişiminin τ_{xz} gerilme dağılımına etkisi.....	87
Şekil 4.41. Hasarlı tek bindirmeli (0-90) açılı numunelerde tabaka sayısı değişiminin σ_{eqv} gerilme dağılımına etkisi.....	88
Şekil 4.42. Hasarlı tek bindirmeli 4 tabakalı numunelerde lif yönü değişiminin σ_x gerilme dağılımına etkisi	89
Şekil 4.43. Hasarlı tek bindirmeli 4 tabakalı numunelerde lif yönü değişiminin σ_y gerilme dağılımına etkisi	89
Şekil 4.44. Hasarlı tek bindirmeli 4 tabakalı numunelerde lif yönü değişiminin σ_z gerilme dağılımına etkisi	90
Şekil 4.45. Hasarlı tek bindirmeli 4 tabakalı numunelerde lif yönü değişiminin τ_{xy} gerilme dağılımına etkisi	91
Şekil 4.46. Hasarlı tek bindirmeli 4 tabakalı numunelerde lif yönü değişiminin τ_{yz} gerilme dağılımına etkisi	92
Şekil 4.47. Hasarlı tek bindirmeli 4 tabakalı numunelerde lif yönü değişiminin τ_{xz} gerilme dağılımına etkisi	92
Şekil 4.48. Hasarlı tek bindirmeli 4 tabakalı numunelerde lif yönü değişiminin σ_{eqv} gerilme dağılımına etkisi	92

Şekil 4.49. Hasarlı 4 tabakalı (0-90) lif açılı numunelerde bindirme sayısı değişiminin σ_x gerilme dağılımına etkisi.....	95
Şekil 4.50. Hasarlı 4 tabakalı (0-90) lif açılı numunelerde bindirme sayısı değişiminin σ_y gerilme dağılımına etkisi.....	95
Şekil 4.51. Hasarlı 4 tabakalı (0-90) lif açılı numunelerde bindirme sayısı değişiminin σ_z gerilme dağılımına etkisi.....	95
Şekil 4.52. Hasarlı 4 tabakalı (0-90) lif açılı numunelerde bindirme sayısı değişiminin τ_{xy} gerilme dağılımına etkisi.....	97
Şekil 4.53. Hasarlı 4 tabakalı (0-90) lif açılı numunelerde bindirme sayısı değişiminin τ_{yz} gerilme dağılımına etkisi.....	97
Şekil 4.54. Hasarlı 4 tabakalı (0-90) lif açılı numunelerde bindirme sayısı değişiminin τ_{xz} gerilme dağılımına etkisi.....	98
Şekil 4.55. Hasarlı 4 tabakalı (0-90) lif açılı numunelerde bindirme sayısı değişiminin σ_{eqv} gerilme dağılımına etkisi.....	100
Şekil 4.56. (0-90) lif açılı numunelerde tabaka sayısı değişiminin bindirme sayısına etkisi	101
Şekil 4.57. Tabaka sayısı 4 olan numunelerde lif yönü değişiminin bindirme sayısına etkisi	101
Şekil 4.58. (0-90) lif yönlü numunelerde tabaka sayısı değişiminin Von Mises gerilmelerine etkisi	101
Şekil 4.59. Tabaka sayısı 4 olan numunelerde lif yönü değişiminin Von Mises gerilmelerine etkisi	102
Şekil 4.60. (0-90) lif yönlü numunelerde tabaka sayısı değişiminin Von Mises gerilmelerine etkisi	103
Şekil 4.61. Tabaka sayısı 4 olan numunelerde lif yönü değişiminin Von Mises gerilmelerine etkisi	104

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Bazı lif çeşitlerinin mekanik özellikleri (Ünal, 2011).....	13
Çizelge 2.2. Lif takviyeli kompozitlerin mekanik özellikleri (Ünal, 2011)	13
Çizelge 2.3. Bazı polimerlerin camsı sıcaklık geçiş değerleri ve erime sıcaklık değerleri (Saçak, 2018).....	23
Çizelge 2.4. Eğilme deneyi dayanımı modül hesap çizelgesi (Anonim, 2018c).....	30
Çizelge 3.1. Cam elyaf kompozit lama mekaniksel özellikleri	35
Çizelge 3.2. Deney numuneleri parametre ve değerleri	39
Çizelge 3.3. Hasarsız yamasız, hasarlı yamasız, tek taraflı bindirmeli ve çift taraflı bindirme bağlantılarının mesh (ağ) yapısında kullanılan node (düğüm) ve eleman sayıları.....	48
Çizelge 4.1. Deneysel ve nümerik sonuçlar	53

1.GİRİŞ

Gelişen teknoloji ve sanayileşmeden kaynaklanan malzeme ihtiyacı, kompozit malzemelerin keşfedilip, geliştirilmesini sağlamıştır. Teknik uygulamalarda metallerin önemini korumaya devam etse de; yorulma ve gerilme yükleri altında yüksek mukavemet, korozyon direnci, dayanıklılık, sağlamlık, hafiflik, iyi derece ısı ve elektrik iletkenliği vb. birçok özellikten dolayı geleceğin mühendislik ürünleri olarak adlandırılan Kompozit malzemeler; sık sık çalışmalar yapılan çok değerli bir malzeme topluluğu haline gelmiştir. Kompozit karma ya da değişik tarzları bir arada bulunduran anlamı taşımaktadır.

Kompozit malzemeler iki veya daha fazla sayıdaki aynı veya birbirinden farklı gruptaki malzemelerin mikroskobik ya da makroskopik olarak birleşmesiyle oluşan fakat çözünen ve çözen bileşenlerden oluşmayan ve birbirini tamamlayan malzeme türüdür. Tek başlarına olduklarında istenilen özellikleri karşılayamamasından birleşerek bu özelliklerin en iyi halini oluşturmaktadırlar.

Kompozitler genel olarak matriks ismi verilen bir ana malzeme ve takviye elemanı (fiber, tane, tanecik, dolgu, kat) ismi verilen daha mukavim bir malzemedan meydana gelir.

Savunma sanayi, otomotiv sanayi, uzay sanayi gibi teknolojinin hız kazandığı, sürekli yenilenmeye ihtiyaç duyulan yerlerde kompozitler genelde fiber katkılı kullanılmaktadır.

Hasara uğramış yapıları değiştirmek kimi zaman yüksek maliyetli olurken kimi zaman da imkansızdır. Örnek olarak hasarlı bir uçak kanadı veya uzay mekiği gövdesini verebiliriz. Bu yapılardaki hasarı onarabilmek, yavaşlatabilmek veya malzeme mukavemetini artırmak için yapıştırma yöntemi ile fiber takviyeli kompozit malzemeler kullanılmaktadır.

Bu çalışmada ise katman sayısı ve lif yönü değişiklik gösteren cam elyaf levhaların deliksiz numuneleri ve merkeze açılan eliptik delikli numuneleri, yama uygulanmadan eğme yükü altında hasar yükleri ve gerilme davranışları, deneysel ve nümerik olarak olarak incelenmiştir. Daha sonra numuneler cam elyaf takviyeli kompozit yamalar ve DP460 yapıştırıcı malzemesiyle önce tek taraflı bindirme daha sonra çift taraflı bindirme bağlantıları oluşturularak eğme yükü altında hasar yükleri ve gerilme davranışları deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir. Nümerik analizler için sonlu elemanlar metodu ile ANSYS 19.0 programı kullanılmıştır. Çalışmanın amacı yamalı ve yamasız olarak eğme yüküne maruz bırakılan cam elyaf kompozit levhaların, lif yönleri ve katman sayılarının da ki değişimlerin; levha merkezine açılan eliptik delik ve levha kenarı üzerinde belirlenen kritik hatlarda

gerilme davranışlarını gözlemlemektir. Kompozit malzemeyi oluşturan elemanlar, kullanılan ortamlar, ortamların özellikleri ile ilgili olarak sürekli yeni çalışmalar yapılmaktadır.

1.1. Önceki Çalışmalar

George ve arkadaşları (1998) tarafından anaerobik yapıştırıcı kullanılarak üç farklı malzeme yapıştırılmıştır. Bu yapıştırma işlemi uygulanan numunelerin mekanik özellikleri ve sertleşme prosesleri incelenmiştir. Yapılan analizler sonunda Alüminyum malzemenin yapıştırılmasındaki sertleşme süresi, paslanmaz çelik ve bakır malzemelerinkinden daha yüksek bulunmuştur. En reaktif yüzeyin bakır olduğu belirtilmiştir. En yüksek mukavemet değerine sahip malzemenin bakır olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca reaksiyonun hızla gelişmesi durumunda, yapıştırıcının gevrek ve kırılğan hal alabileceği gözlemlenmiştir. Bu yüzden reaksiyon süresindeki sıcaklığın kontrol altında olması gerektiğine vurgu yapılmıştır (Razmi, 2011).

Cam takviyeli kompozit malzemelerin uygulanan basınç değerlerinde, hasar ve deformasyon davranışları Bax (1970) tarafından araştırılmaya alınmıştır. Bax, bu çalışmada filaman sarım kısa boylu iç basınca maruz tüplerin, yorulma deneyleri ile oluşacak ömür ve deformasyon davranışlarını incelemiştir (Dincer, 2013).

Zhang ve arkadaşları (2002) çalışmalarında; çift tesirli pim bağlantılı kompozit levhalarda, pim/delik yüzeyindeki sürtünmenin, üç boyutlu temas gerilmesine etkisini incelemiştirlerdir. Yapılan sayısal çalışmalar sonucunda sürtünme katsayısı değişiminin, delik civarında oluşan gerilme analizlerini önemli bir şekilde etkilediği gözlemlenmiştir. İki boyutlu düzlemsel gerilme analizleri ile üç boyutlu gerilme analizleri arasında önemli farklar olduğu tespit edilmiştir. Bu farkların en belirgin olarak ise kayma gerilmelerinde gözlemlendiği belirtilmiştir (Başbuğ, 2012).

Zalamea ve arkadaşları (2000) yaptıkları çalışmada, tek bindirmeli yama uygulanan kompozit malzemelerin analizinde iki farklı yöntem kullanmıştır. İlkinde çok fazlı malzemenin analizinde anizotropik yapılarda, elastoplastik şekil değiştirmeleri gözlemiştir. Bu durumda kompozit malzemelerde fiber kırılmasının ortotropik iken matriksin davranışının izotropik olduğu söylenmiştir. İkinci yöntemde ise homojen teori kullanılmış, bu durumda da malzeme; makroskopik ve mikroskopik olarak incelenmiştir (Dincer, 2013).

Albedah (2011) alüminyum levhaların merkezine açılan çentiğin, dairesel kompozit yama kullanımının tek ve çift yönlü tamir performansına etkisini üç boyutlu sonlu elemanlar metodu kullanarak analiz edip, araştırmışlardır. Kompozit malzemeden imal edilen

yamaların çift yönlü uygulanmasının, gerilme şiddet faktörünü azalttığını ayrıca dairesel yamanın kütle kazanımı sağladığı sonucuna ulaşmışlardır (Gündüz, 2013).

Bogdanovich ve Kizhakkethara (1999) çalışmasında tek eksenli uzamaya maruz bırakılan kompozit malzemeden oluşan, çift taraflı olarak birleştirme işlemi uygulanan, numunelerin üç boyutlu gerilmesini analiz etmişlerdir. Yapılan çalışmadaki amaç 3 boyutlu elastik davranışların doğruluğunu nümerik olarak kullanılan Abaqus programında 27 düğümlü sonlu elemanlar yaklaşımı ile analiz etmektir (Demir, 2013).

Tek (2011) yapmış olduğu çalışmasında tek ve çift tesirli yapıştırma bağlantılarında oluşan gerilmeleri ilk olarak deneysel daha sonrada sonlu elemanlar metodu kullanarak nümerik şekilde analiz etmiştir. Yaptığı gözlemler sonucu sıcaklık ve pürüzlülüğün mukavemet etkilerini gözlemlemiştir. Uygulanan tek eksen gerilmelerin 3 boyutlu olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Karakaya ve Soykasap (2008) yaptıkları teknolojik çalışmalar neticesinde yapıştırıcı ile birleştirilmiş tek bindirmeli, dokumalı kompozit yapıların eğilmeden kaynaklı hasarı incelemeye almışlardır. Üç nokta eğme deneyi sırasında oluşan eğrilik yarıçapı belirlenmiş, oluşan hasarın kritik eğrilik yarıçapı ile olan ilişkisi karşılaştırılmıştır. Ayrıca yapıştırma bölgesi yakınında oluşan kayma gerilmeleri tabaka yerleşim durumuna bağlı olarak karşılaştırılmıştır. Sonuçlarda yapışma bölgeleri ve yakın bölgelerde deformasyonlar meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Turan ve Kaman (2010) iki kompozit levhayı birleştirmek için yapıştırma tekniği kullanarak elde ettikleri tek tesirli yapıştırma bağlantısının hasar analizini deneysel ve nümerik metotlar kullanarak incelemişlerdir. İncelemeler sırasında hasar analizinde kompozit malzemeler için Hashin hasar teorisini, yapıştırıcı için Asal gerilme hasar teorisi kullanmışlardır.

Dinç (2007) yapmış olduğu çalışmasında farklı malzemelerden imal edilmiş çelik-çelik, çelik-bakır ve çelik-alüminyum numunelerde çentik sayısı değişiminin ve yapıştırıcı kalınlıklarının değişimlerinin gerilme analizleri sonlu elemanlar metodu ile Franc 2D programında incelenmiştir.

Yağcı (2007) tabaka halindeki kompozit ince plakların plak düzlemine dik yükleme etkisi altındaki eğilme davranışları incelenmiştir. Çözümlemeleri MATHEMETİCA ve ANSY programlarında tamamlanıp sonuçlar kıyaslanmıştır.

Razmi (2011) bu çalışmasında kompozit malzemelerde yapıştırıcı ile birleştirme metotlarından olan bindirme bağlantısı, köşe bağlantısı ve T bağlantısının sonlu elemanlar

analiz programı ANSYS yardımı ile analiz etmiştir. Dizaynlar sırasında oluşacak gerilmeler değerlendirilip en uygun bağlantı metodu geçmeli T tasarımı olduğu belirlenmiştir.

Gül (2011) dikdörtgen kompozit plakların sonlu elemanlar yöntemiyle statik analizi konulu çalışmayı gerçekleştirmiştir. Bor-epoksi, cam-epoksi, grafit-epoksi malzemeler kullanılarak uygulanan farklı sınır şartlarında ki yükler altında numunelerin oluşturduğu gerilim, gerinim de deformasyon sonuçları incelenmiştir. Sonuçlar ANSYS 12 programı ile elde edilmiştir.

Türkmen (2012) otomotiv, havacılık, uzay ve savunma endüstrilerindeki hızlı gelişim, hafif özgül ağırlıklı ve yüksek mukavemet ihtiva eden malzemeleri önemli hale getirmiştir. Bu amaçla cam elyaf takviyeli plastik kompozit malzemeler üretilmeye başlanmış ve zamanla kullanım alanları yaygınlaşmıştır. Cam elyaf takviyeli plastik kompozit malzemeler, yaygın kullanılan malzemeler ile karşılaştırıldığında ağırlıklarına oranla daha yüksek mukavemete ve rijitliğe sahiptirler. Bu çalışmada kompozit malzemeler arasında en çok tercih edilen üyelerinden olan cam elyaf, takviyeli kompozit malzemelerde elyaf tabaka sayısındaki değişikliğe bağlı mekanik özelliklerin ve darbe dayanımını özellikleri gözlemlenmiştir.

Li ve ark. (2012), savaşlarda hasara uğrayan helikopter kuyruk şaftlarını tamir etmek için kompozit yama tekniğini uygun görüp kullanmışlardır. Uygulanan analitik çözümler sonunda Yapılan değerlendirmeler sonucunda kompozit yamaların bu yapıları tamamıyla tamir ettiğini görülmüştür. Yapılan deneysel testlerin sonucu ile sayısal değerlerin sonuçları arasında yüksek oranlı yakınsama gözlemlenmiştir.

Alpay (2014) bu çalışmada kompozit malzemeden üretilen katmanlı bir plakanın üzerine uygulanan kuvvet sonucu anticlastic eğme deneyine maruz bırakılmıştır. AEM cihazı kullanılarak ilk hasarın başladığı kısım tespit edilmiştir. Yapılan deneyi simüle etmek için sonlu elemanlar yöntemi ile ANSYS programı kullanılmıştır. Programda gerilme kriterleri Tsai-Wu, Tsai-Hill, Hoffman, Hashin ve Quadric surface kırılma kriterleri dikkate alınmıştır.

Doğan (2015) bu çalışmada tek taraflı yapıştırma bağlantılı kompozitleri deneysel olarak araştırmıştır. Farklı yüzey özellikleri, farklı kürlenme sıcaklıkları, farklı yapıştırıcı kalınlıklarının kompozit bağlantı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. İlk aşama olarak yapıştırıcı ve kompozit malzemelerin mekanik özellikleri belirlenmiştir. Daha sonra çekme testleri, eksenel ve transvers darbe testleri, dört nokta eğme testi sırasıyla uygulanmıştır. Bütün bu testler farklı koşullar altında uygulanmıştır. Örneğin çalışma sıcaklığı koşulları değiştirilmiş, yüzey kalitesi değiştirilip denenmiştir. Bunun amacı uygulanan farklı ortam

koşullarında daha iyi mukavemet özelliklerine sahip kompozit bağlantılar sağlayabilmektedir. Bunun için kompozit bağlantı üzerinde modifikasyonlar çalışılmış ve farklı konfigürasyonlar test edilmiştir. Bu çalışma, kürlenme sıcaklığı, yapıştırıcı kalınlığı, yüzey kalitesi ve operasyon sıcaklığının, darbe enerjisinin kompozit bağlantının mekanik mukavemeti değerler üzerinde önemli etkileri olduğu gözlemlenmiştir. Bu etkiler numuneler üzerinde çoğu durumda olumsuz etki gösterse de bazı farklı durumlarda olumlu etkileri de gözlemlenmiştir. Bu çalışmada kompozit bağlantıların hasar analizlerine ek olarak olumları davranışları dikkate alınarak düzenlenen kompozit bağlantıları sayesinde daha yüksek operasyon sıcaklıklarında daha iyi mukavemet değerleri elde edilmiştir.

Kishore, Malhotra ve Prasad (2009) tarafından yapılan bu çalışmada, sonlu elemanlar analizi ile tek yönlü cam elyaf / epoksi kompozit laminatlarda çok pimli derzlerde hata modları ve arıza yüklerinin elde edilmesi ve sonuçların deneysel çalışma ile doğrulanması amaçlanmıştır. Tsai-Wu gerilme kriterleri dikkate alınmıştır (Doğan, 2015).

Çelik (2015) yapmış olduğu çalışmada cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerden imal edilmiş levhalar çentikler açılarak onları yine cam elyaf kompozit malzemedan imal edilmiş yamalar ile tamir etmiştir. Bu tamir sonrasında kompozit levhaların fiber takviye açılarının değişimi yama boyut etkisi ve yapıştırıcı kalınlıklarındaki değişimlerin deneysel hasar davranışları gözlemlenmiştir.

Engels ve Becker (2002), eliptik delik hasarı açılmış tabakalı levhaların klasik tabaka teori ile tamir edilen numunelerin eğilme yükü altındaki davranışlarını incelemiştir. Alt tabakalarda eğilme rijitliği ve elastik membran için herhangi sınırlama getirmemişlerdir. Türetilen kapalı form için analitik sonuçların, dış yüzeyden uygulanan yama tamiri yöntemi için başarılı olduğu görülmüştür (Parlamış, 2016).

Papanikos vd. (2005), çatlak içeren metalik levhaların kompozit ile tamir davranışını üç boyutlu ilerlemeli hasar modeliyle incelemiştir. Model, çatlak ucundaki gerilme şiddet faktörünü, yama ayrılmasını ve kompozit yamada oluşan hasar yükünü belirlemektedir. Yapılan çalışmada erilme analizi, hasar analizi ve malzeme özelliklerinin bozulması dikkate alınmıştır. Üç boyutlu parametrik sonlu eleman modeliyle ANSYS' te yapılmış ve sonuçları gözlemlenmiştir (Parlamış, 2016).

Bouiadjra ve ark. (2007), tek ve çift yönlü yama ile tamir edilmiş içerisinde çatlak ihtiva eden yapıların analizini sonlu elemanlar metodu kullanarak yapmışlardır. Gerilme şiddet faktörü kırılma kriteri olarak değerlendirilmiştir. Elde ettikleri sonuçlara göre gerilme şiddet faktörünü azaltmak için çift taraflı yama kullanmanın daha avantajlı olduğu kanısına ulaşmışlardır (Parlamış, 2016).

Breitzman vd. (2009), levhalara açılmış dairesel olmayan bir delik hasarının, yapıştırma ile tamirinde kullanılan yamaların farklı açılardaki değişiminin gerilme analizlerine etkisi incelenmiştir. Optimum tabaka çekme deneyi altında diziliminin, gerilme seviyesini etkili bir şekilde düşürdüğü görülmüştür (Parlamış, 2016).

Abdulkerim Parlamış (2016) bu çalışmasında hasar görmüş karbon fiber takviyeli pim delikli kompozit numunelere epoksi yapıştırıcı kullanarak yama ile tamir etmiştir. Simetrik ve antisimetrik tabakalara sahip olan bu numuneler toplamda 4 katmandan oluşmaktadır. Numunelerde değişkenlik gösteren parametreler Fiber takviye açıları ve tabaka dizilimleridir. Geometrik parametreler olan E/D ve W/D sabit olup tüm numunelerde beş alınmıştır. Fiber takviye açıları 0°, 15°, 30°, 45°, 75°, 90° olarak belirlenmiştir. Deneysel çekme testi uygulanan numunelerden elde edilen sonuçlar bilgisayar ortamına alınarak grafize edilmiştir. Sayısal sonuçlar Hashin Hasar teorisi dikkate alınarak sonlu elemanlar metodu ile çözümlenmiştir. Çıkan bu sonuçlar hasarsız numunenin test sonuçlarıyla kıyaslanmıştır. Yapılan çalışmalarda deneysel ve sayısal verilerin birbirlerini doğruladığını, kullanılan uygun yapıştırıcı ve yama uygulamasının levhanın dayanımını hasarsız numuneye göre önemli ölçüde artırdığı, fiber takviye açısının ve tabaka diziliminin mukavemet değerlerini etkilediği gözlemlenmiştir.

Erartsın (2016) bu çalışmasında, gevrek, sıyrılma ve delaminasyon hasarına maruz kalan yarı-izotropik delikli kompozit levhaların kademeli hasar analizini gerçekleştirmeyi amaçlamıştır. Çalışmada delaminasyonun, yerinde (in-situ) dayanımların ve hasar ilerlemesi şeklinin hasar ilerlemesine, son hasar durumuna ve levhanın taşıdığı nihai yüke Tabaka içi bölgeler için Hashin hasar başlangıcı kriteri ve doğrusal kademeli hasar ilerlemesi modeli kullanılmıştır. Sonlu eleman analizinin sonuçları, yürütülen ve literatürden bulunan delikli levha çekme deneylerinin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda geliştirilen sonlu eleman analizi modelinin bahsedilen farklı hasar çeşitlerini başarı ile simüle ettiği gözlenmiştir. Delaminasyon ihmal edildiğinde levhanın maruz kaldığı hasar tipinin yanlış tahmin edilebildiği ve nihai yükte artış olabildiği gözlenmiştir.

Hoa ve diğ. (1988) tek yönlü cam-epoksi ve grafit-epoksi tabakalarındaki interlaminar gerilmeleri araştırmışlardır. Sonlu elemanlar metodu kullanılarak elde edilen sonuçlarını deney sonuçları ile karşılaştırmış ve sonuçların yakınsandığı görülmüştür. Bununla birlikte, sonlu elemanlar analizi ile bulunan interlaminar gerilmeleri, bir tekilliği temsil eden, ağ inceltme ile değiştirmiştir. Bu problemin üstesinden gelmek için kırılma kriterleri kullanılmamıştır, sadece deneysel olarak tespit edilen delaminasyon başarısızlığı ile karşılaştırılan kabul edilebilir bir ağ boyutuna karar verilmiştir (Çelik, 2016).

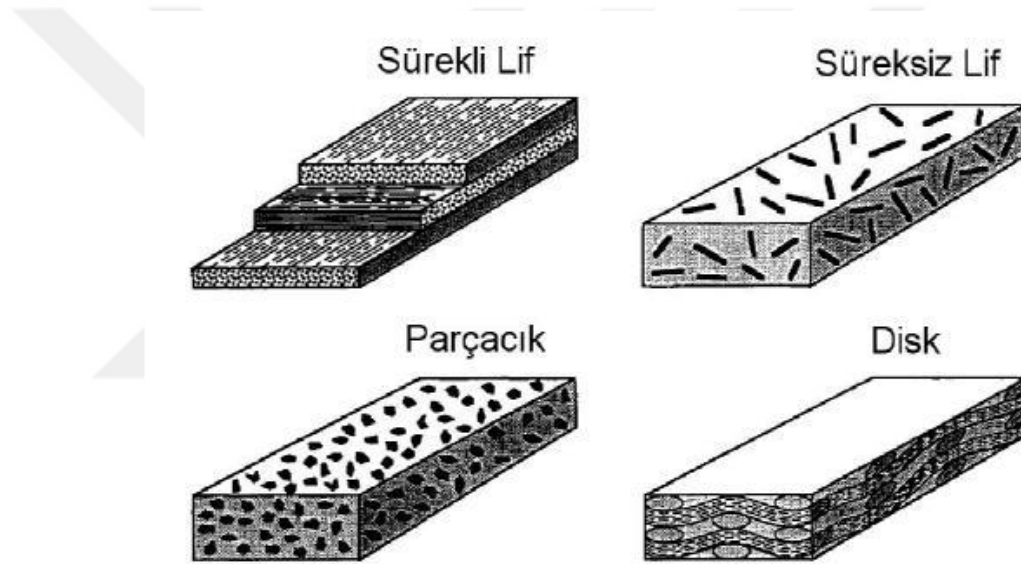
Curry ve diğ. (1992) kullanılan katların sayısı ve oryantasyonunun cam-epoksi laminatların çekme ve basma özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. 37 örnek ile deneysel bir araştırma yapılmıştır. Tüm örneklerin aynı kemer ve çekirdek kat yığınları vardı, ancak farklı düşmüş kat dizileri vardı. Test sonuçları, düşürülmüş katların kalınlığı arttıkça, sertlik değişiminin ciddiyetine bağlı olarak hem gerilme hem de sıkıştırma yükü için nihai mukavemet azaldığını göstermiştir. Örnekler, hem intralaminar hem de kuvvete dayalı interlaminar kriterleri kullanılarak sonlu elemanlar metodu ile analiz edilmiştir. Analizler, laminantın sayısal sonuçları deneysel sonuçtan daha düşük çıktığı gözlemlenmiştir (Çelik, 2016).



2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler, sağladıkları avantajlar ve uygulama alanlarındaki çeşitlilik dolayısı ile bugün malzeme dünyasında önemli yer almaktadır. İstenilen amaç için tek başına uygun olmayan, birbirine karışmayan, iki ya da daha fazla sayıdaki malzemelerin en iyi özelliklerini tek bir malzemede toplayıp mikro ve makro düzeyde heterojen karışımla oluşturulan bileşik yapıları malzemelere kompozit malzemeler adı verilir. Bu şekilde üretilen kompozit malzemelerde çekirdek adı verilen takviye elemanı ile çekirdek etrafında matriks elemanı yer almaktadır (Yağcı, 2012).



Şekil 2.1. Takviye fazın matriks içindeki halleri (Güç, 2012)

Lif takviyeli kompozit malzemelerin üretim ve tasarımındaki teknolojik gelişmeler, üretim maliyetindeki düşüş, sistem verimliliğindeki gelişme, emniyet ve güvenilirlik gibi aşamalara gelmesini sağlamıştır.

Ayrıca malzemenin farklı şekillere kalıplanabilir olması tasarımcıyı metalin kesilmesi ve şekil verilmesi gibi zorluklardan bağımsız kılmıştır.

Kompozit yapıda lifli takviye elemanı seçimine etki eden etmenler ise şunlardır:

- Hafiflik (özellik ağırlık)
- Mukavemet ve modül (çekme ve basma)
- Yorulma mukavemeti

- Yorulmadaki kopma mekanizması (malzemenin gevrek ya da sünek olması)
- Elektrik ve ısı iletkenliği
- Ekonomiklik (Ulcay, 2002).

Matriks ise kompozit malzemelerin ikinci ana bileşenidir. İçine yerleştirilmiş kuvvetlendirici elyafları; katılaştığında belli bir formda tutacak ve toplam mukavemette de bir görev üstlenecek uniform dolguya matriks denir. Matriksler, fiberlere göre genellikle düşük yoğunluk, rijitlik (stiffness) ve dayanıklılığa (strenght) sahiptir (Ekinci,2007).

Lifin istenen başarıyı göstermesi içinde yer alacağı uygun matriks seçimine bağlıdır. Matriksin başlıca görevleri:

- Kuvvetleri liflere iletmek,
- Lifleri, korozyon ve oksidasyon gibi, ortamın etkisi ve darbelerden korumak
- Bittiğinde istenen özelliklere uygun olması,
- Maliyeti düşürmek.

Matriks seçiminde, malzemenin nem ve su alma özelliklerinin de göz önünde bulundurulması gereklidir.

Kayma sertliği, boyuna olan basınç mukavemeti, uzaması, kopması, yorulması, darbe özellikleri de çok önemlidir. Matriksin yüksek bir kayma modülüne sahip olması istenir. Böylece kompozitten elde edilen kayma katılığı sağlanır. Kayma gerilmesi ve kayma modülü, matriks için mukavemetten daha önemli bir unsurdur. Matrikslerin çoğu sıvı halde kullanıldığı için viskozite önemlidir. Erime noktası, kür zamanı, sıcaklık gibi fiziksel özellikler de matrikslerin diğer önemli noktalarıdır (Ulcay, 2002).

Matriks malzemeler temelde iki ana grupta toplanırlar:

- 1- Polimer matriksler
- 2- Metalik matriksler

Kullanımları az olmasına rağmen çok yüksek sıcaklık matriksleri, 3. bir grup olarak eklenebilirler (Aran, 1990).

2.1.1. Kompozitin avantajları ve dezavantajları

Kompozit malzemelerin avantajlarını şu şekilde sıralayabiliriz:

- Yüksek Mukavemet: Kompozit malzemelerin çekme ve eğilme mukavemetleri, birçok metalik malzemeye göre çok daha yüksektir. Ayrıca kaplama özelliklerinden dolayı artı bir avantaj sağlayarak, kompozitlere istenen yönde ve istenen bölgede

gerekli mukavemet verilebilir. Böylelikle malzeme fazlasından tasarruf yapılarak, daha hafif ve ucuz ürünler elde edilebilir.

- Kolay Şekillendirme: Kompozit malzeme kullanılarak yapılan büyük ve kompleks parçalar, tek işlemle bir parça halinde kalıplanabilir. Bu da malzemeye uygulanacak ekstra süreç ve işçilikten kazanç sağlar.
- Elektriksel Özellikler: Uygun malzemelerin seçilmesiyle, elektriksel özellikleri çok üstün kompozit ürünler oluşturulabilir.
- Isıya ve Ateşe Dayanıklılık: Isı iletim katsayısı düşük malzemelerden oluşan kompozitlerin ısıya dayanıklılık özellikleri, yüksek ısı altında kullanılmasına olanak tanımaktadır. Bazı özel katkı maddeleri ile kompozit malzemenin ısıya dayanımı artırılabilir. Isı özellikleri olarak birçok malzemeye göre üstünlük sağlar.
- Titreşim Sönümlenme: Kompozit malzemelerin sünekliği nedeniyle, doğal bir titreşim sönümlenme ve şok yutabilme özelliği vardır. Bu sayede çatlak ilerlemesinin de önüne geçilmiş olur.
- Korozyona ve Kimyasal Etkilere Karşı Dayanıklılık: Kompozit malzemeler, hava etkilerinden, korozyondan ve çoğu kimyasal etkilerden zarar görmeyen özellikteki malzemelerdir. Taşıdıkları bu özellikler sayesinde kompozit malzemeler, kimyevi madde tankları, boru ve aspiratörleri, tekne ve deniz araçları yapımında güvenle kullanılmaktadır.
- Kalıcı Renklendirme: Kompozit malzemelere, kalıplama esnasında reçineye ilave edilen pigmentler sayesinde istenen renk verilebilir. Bu işlem ek bir masraf ve işçilik gerektirmez. Kompozit malzemeler, aşağıda belirtilecek olan dezavantajlara rağmen çelik ve alüminyuma göre birçok avantaja sahiptir. Bu nedenle kompozitler, kimyasal madde depolarında, karayolu tankerlerinde, bina cephe ve panolarında, otomobil gövde ve tamponlarında, deniz teknelerinde, komple banyo ünitelerinde, ev eşyalarında, tarım araçları gibi birçok sanayi alanında kullanılacak bir malzemedir.

Kompozit malzemelerin dezavantajlarını şöyle sıralayabiliriz:

- Hammaddenin pahalı olması : En çok uzay ve hava sanayisinde kullanılacak kalitede karbon m²'lik kumaşının maliyeti yaklaşık 50 \$'dır.
- Lamine edilmiş kompozitlerin özellikleri her zaman ideal değildir, kalınlık yönünde düşük dayanıklılık ve katlar arası düşük kesme dayanım özelliği bulunmaktadır

- Malzemenin kalitesi üretim yöntemlerinin kalitesine bağlıdır, yöntem ne kadar kaliteli ise o denli bir ürün kalitesi görülmektedir. Standartlaşmış bir kalite cetveli yoktur.
- Kompozitler gevrek malzeme olmalarından dolayı kolaylıkla zarar görürler, onarılmaları yeni problemler ve yeni süreçler oluşturabilir.
- Malzemelerin sınırlı raf ömürleri vardır. Bazı tür kompozitlerin soğutularak saklanmaları gerekmektedir. Sıcak kurutma gerekmektedir. Kompozitler onarılmadan 6 önce çok iyi olarak temizlenmeli ve kurutulmalıdır. Bazı durumlarda bu zor olabilir. Bazı kurutma teknikleri uzun zaman alabilmektedir.

Bütün bu özellikleri aynı anda oluşturmak zordur. İstenilen özellikleri elde edebilmek için, uyumlu takviye elemanı ve matriks elemanı, üretim tekniği, optimizasyonu, bileşenlerin mukavemet özellikleri gibi faktörlerde doğru seçimlerin yapılması şarttır. Uygun matriks ve takviye elemanı seçimi kompozit malzemenin iyileştirilecek olan mekanik ve fiziksel özellikleri açısından çok önemlidir. Çünkü matriks malzemeden takviye elemanına yükün iletilmesi için matriks-takviye elemanı arası ara yüzey bağının kuvvetli olması lazımdır (Onat, 2015).

2.1.2. Modern kompozit malzemelerin sınıflandırılması

Kompozit malzemeler sınıflandırılırken genelde ana malzeme matriks ve takviye elemanına göre sınıflandırılırlar.

2.1.2.1. Matriks elemanına göre kompozit malzemeler

Matriks elemanına göre kompozitlerin en çok kullanılan türleri:

1. Seramik Matriksli Kompozitler

Seramikler, metal ve metal olmayan elemanlardan meydana gelen inorganik bileşikler olup, doğada kayaların dış etkilere karşı parçalanması sonucu oluşan kaolen, kil ve benzeri maddelerin yüksek sıcaklıkta pişirilmesi ile elde edilen malzemelerdir. Seramik malzemeler hafif özgül ağırlıklı ($d:1,5-3 \text{ gr/cm}^3$) olmaları ve yüksek sığağa karşı gösterdikleri direnç sayesinde sıkça kullanılmaktadırlar (Akdoğan, 2008). Seramik malzemelerin gevrek yapıda olması çekme mukavemeti özelliğini düşürmektedir. Metallere oranla kusurlara karşı çok hassas davranış sergileyen seramikler kırılma tokluğunu geliştirmek üzere çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bu amaçla yapılan çalışmalarda niteliği yüksek teknolojik seramikler kullanılmaktadırlar. Bu seramiklerin başında Al_2O_3 , S_C,

Si_3N_4 , B_4C , CbN , TiC , T_B , T_N , AlN gelmektedir. Seramiklerde asıl amaç kırılma tokluğu ve mikro çatlakları azaltmaktır (Köksal, 2013) .

2. Metal Matrisli Kompozitler

Metal matrisli kompozit malzemeler takviye elemanı çeşitlerinden sürekli fiberler, süreksiz fiberler, partiküllerini tercih ederler. Metal matrisli kompozit malzemeler tercih ettikleri takviye elemanlarının isimleri ile adlandırılırlar. Örneğin süreksiz fiber takviyeli MMK malzeme olarak adlandırılır. Metal matrisli kompozitler genelde iki bileşenden meydana gelmektedir. Bunlardan biri metal matris diğeri ise takviye malzemesidir. Kompozitin üretilmesinde matris ve takviye malzemesi beraber olarak karıştırılırlar. Bir MKM kompozit elde etmek için başlangıçta farklı elemanlar seçilir; örneğin: metal matris ve takviye malzemesi. Tüm durumlar için matris bir metaldir. Metal matrisli kompozitler için matris malzemesi olarak genellikle hafif metaller tercih edilmektedir. Matris malzemesi olarak genellikle Al, Ti, Mg, Ni, Cu, Co ve Zn gibi metaller ve alaşımları kullanılır.

Metal matrisli kompozit malzemeler birçok üstün özelliğe sahiptirler. Bu özellikleri şu şekilde belirtebiliriz:

- Yüksek elastik modüle sahiptirler.
- Yüksek mukavemet değerleri gösterirler.
- Malzemelerin avantajlı kısımlarından faydalanılarak daha yüksek sıcaklıklarda çalışırlar.
- Metallerin süneklik ve tokluk, seramiklerin yüksek mukavemet ve yüksek modül özelliklerini birleştirirler.
- Yeniden oluşturulabilme özelliklerine sahiptirler.
- Bütün yüksek mukavemet değerlerine düşük yoğunluklarda ulaşırlar.
- Metallerin yüksek yüzey dayanıklılığına sahiptirler.
- Metallerinde sahip olduğu yüksek elektrik ve ısı iletkenliği özelliklerini taşırlar.

(Ekinci, 2007).

3. Polimer Matrisli Kompozitler

Termoset ve termoplastikler olarak iki gruba ayrılan polimer matrisler genelde sürekli fiberlerle kullanılır. Polimer kompozitler de kullanılan en önemli bağlayıcı malzeme polyester ve epoksidir. Polimer kompozitler de pekiştirici lifler kullanılır. Bu liflerin bazıları aşağı tabloda belirtilmiştir.

Çizelge 2.1. Bazı lif çeşitlerinin mekanik özellikleri (Ünal, 2011)

Malzeme	Özgülağırlık gr/cm ³	Çekme mukavemeti N/mm ²	Elastisite modülü N/mm ²
Cam lifi	2,54	2410	70000
Karbon lifi	1,75	3100	220000
Kevlar lifi	1,46	3600	124000

Kullanılan bu liflerin miktarı arttıkça kompozitin mukavemet değerleri artar. Polimer kompozitlerin en önemli özellikleri yüksek özgül mukavemet(mukavemet/ özgül ağırlık) ve özgül elastisite modülüdür. Dolayısıyla bu özelliklerden dolayı diğer malzemelere üstün durumundadırlar. Örneğin yüksek mukavemetli çeliklerde özgül mukavemetin 110 Nm / gr olmasına karşın cam lifi – polyesterlerde 620 Nm/gr dır. Diğer taraftan karbon lifi epoksidede 700 Nm/gr ve kevlar epoksidede 886 Nm/gr dır. Diğer taraftan karbon liflerinin özgül elastisite modülü alüminyumunkinin 5 katı kadardır. Bu üstünlüklerinden dolayı polimer kompozitler uçak ve uzay endüstrisinde alüminyum alaşımlarına tercih edilir. (Osman Ünal,)

Polimer matriksli kompozitlerin üretilmesinde en çok bilinen ve en fazla kullanılan metotlardan bazıları; elle sıvama, telle sarma, kese kalıplama işlemi, sıvı akış tekniğı, takviyeli reaksiyon enjeksiyon kalıplama, ekstrüzyon ve ısıl oluşum metodudur. Polimerlerde kullanılan takviye malzemelerinden en önemli olanları; cam, bor ve karbon fiberlerdir.

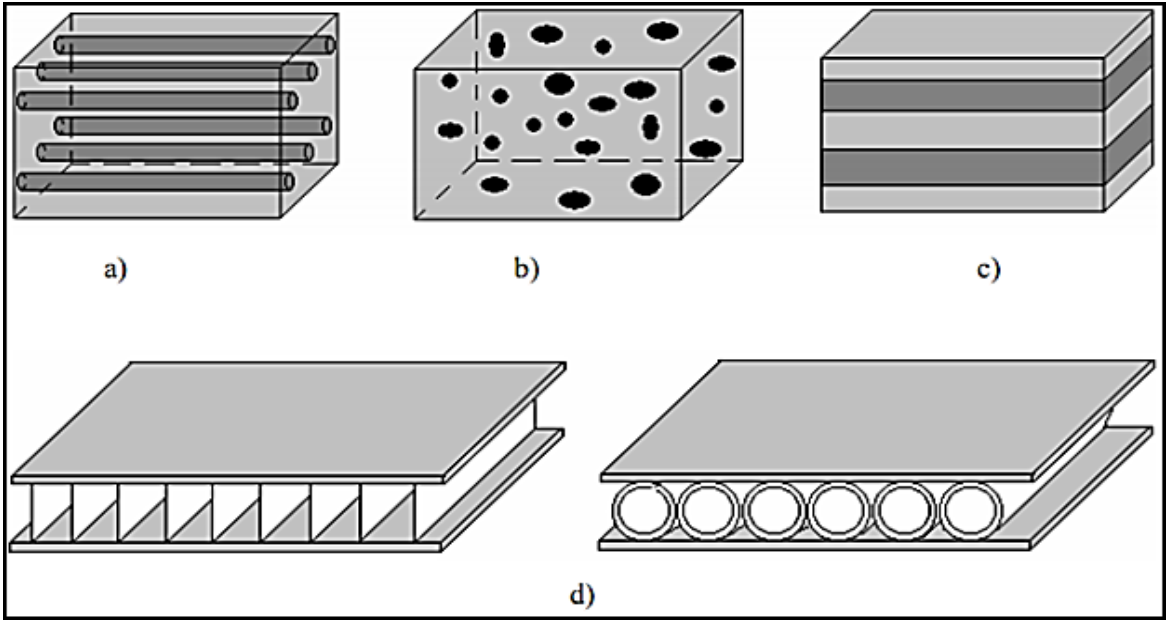
Çizelge 2.2. Lif takviyeli kompozitlerin mekanik özellikleri (Ünal, 2011)

Malzeme	Özgülağırlık gr/cm ³	Çekme mukavemeti N/mm ²	Elastisite modülü N/mm ²
Cam lifi-polyester	1,5-2,1	200-340	55000-130000
Karbon lifi-epoksi	1,5-1,8	1860	145000
Kevlar-epoksi	2,36	2240	76000
Boron lifi-epoksi	1,4	1240	176000

2.1.2.2. Takviye elemanına göre kompozit malzemeler

Takviye elemanına göre kompozit malzemeler de kendi arasında beş gruba ayrılabilir. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- 1- Elyaflı kompozitler
- 2- Partikül takviyeli kompozitler
- 3- Dolgu kompozitler
- 4- Tabakalı kompozitler
- 5- Tekstil takviyeli kompozitler



Şekil 2.2. En genel kullanımlı takviye elemanlı kompozitler; a) fiber takviyeli, b) partikül takviyeli, c) tabakalı kompozitler, d) dolgu kompozitler (Türkmen, 2012).

2.1.2.2.1. Elyaf takviyeli kompozit malzemeler

Elyaf takviyeli kompozit malzemeler; elyaf adı verilen boyu çapından oldukça fazla olan, matriks yapı içerisine yerleşmiş, kompozit yapının mukavemet değerlerini artırıcı rol oynayan önemli bir malzemedir. Yumuşak ve sünek özelliklere sahip matriks içine elastikliği yüksek elyaflar ilave edildiğinde çekme ve yorulma dayanımı mukavemet değerleri geliştirilir. Elyafların matriks içerisine diziliş açıları bile önem arz eder. Matriks içine paralel konumlandırılmış elyaflar yüksek mukavemet değerleri elde edilirken dik doğrultuda oldukça düşük mukavemet değerleri elde edilir.

Elyafaların matriks içerisine homojen dağılımları, elyaf yapının hatasız olması kompozit için çok önemlidir.

Kompozit malzemenin mukavemet değerlerini ilgilendiren diğer bir yapıda elyaf matriks yapısı arasındaki bağıdır. Bu bağı boşluksuz, sağlam olması yüksek mukavemet değerlerini ortaya çıkaracaktır.

Kompozit malzemelerde bazı elyaf çeşitleri çok yaygın kullanılmaktadırlar. Cam elyaf, Karbon elyaf, Aramid elyaf bu çeşitlerden bazılarıdır.

Cam Elyaflar

Cam elyafı silika, kolemanit, alüminyum oksit, soda gibi cam üretim maddelerinden üretilmektedir. Cam elyafı, elyaf takviyeli kompozitler arasında en bilinen ve kullanılanıdır. Cam elyafı özel olarak tasarlanmış ve dibinde küçük deliklerin bulunduğu özel bir ocaktan eritilmiş camın itilmesiyle üretilir. Bu ince lifler soğutulduktan sonra makaralara sarılarak kompozit hammaddesi olarak nakliye edilir. Özellikle cam elyafı ile matriks arası yapışma gücünü arttıran "silan" bazlı ve elyaf üzerinde ince film oluşturan kimyasalların sonra kullanım sahaları artmıştır.

Elyaf lar işlem sırasında dayanıklılıklarının %50'sini kaybetmelerine rağmen son derece sağlamdırlar. Cam elyafı halen aramid ve karbon elyaf larından daha yüksek dayanıklılık özelliğine sahiptir. Elyaf kumaşları genellikle sürekli cam elyafının lifleri ile üretilmektedir. İşlemler sırasında değişik kimyasalların eklenmesi ve bazı özel üretim yöntemleri ile farklı türde cam elyafı üretilebilmektedir (Arıcasoy, 2006).

E camı; takviye elemanları arasında en yaygın kullanılan cam elyaf türüdür. Alkali olmayan boron silikat olup, iyi elektrik yalıtımı sağlar. Maliyeti düşük, mukavemeti oldukça fazladır. Suya karşı olan direnci de yüksektir.

C camı; mekanik özellikleri düşük olmasına rağmen korozyona karşı gösterdiği yüksek direnç sebebiyle kullanılmaktadır.

D camı; sahip olduğu düşük dielektrik sabitinden dolayı yüksek performanslı elektrik uygulamalarında sıkça tercih edilir.

S camı; yüksek modüle sahip magnezyum ve alüminyum silikat içerir. Yüksek mukavemetli bir camdır. Rijitlik modülü E camına göre % 20 daha büyüktür. Kopma enerjisi yüksektir. Ayrıca yüksek sıcaklıkta oldukça iyi bir yorulma direncine sahip olması nedeniyle ile havacılık ve uzay endüstrisinde tercih edilir (Yüce, 2007).

Karbon Elyaf lar

Karbon lifi ilk defa karbonun çok iyi bir elektrik iletkeni olduğu bilinmesinden dolayı üretilmiştir. Cam elyafının metale göre sertliğinin çok düşük olmasından dolayı sertliğin 3-5 kat artırılması çok belirgin bir amaçtı. Karbon elyafları çok yüksek ısı işlem uygulandığında elyaflar tam anlamıyla karbonlaşırlar ve bu elyaflara grafit elyafı denir. Günümüzde ise bu fark ortadan kalkmaktadır. Artık karbon elyafı da grafit elyafı da aynı malzemeyi tanımlamaktadır. Karbon elyafı düşük yoğunluktadır. Karbon elyafı epoksi matriksler ile birleştirildiğinde olağanüstü dayanıklılık ve sertlik özellikleri gösterir. Karbon fiber üreticileri devamlı bir gelişim içerisinde çalışmalarından dolayı karbon elyaflarının çeşitleri sürekli değişmektedir. Karbon elyafının üretimi çok pahalı olduğu için ancak savunma sanayisinde, uçak sanayinde, spor gereçlerinde veya tıbbi malzemelerin yüksek değerli uygulamalarında kullanılmaktadır. Karbon elyafları piyasada 2 biçimde bulunmaktadır:

Sürekli elyaflar: Dokuma, örgü, tel bobin uygulamalarında, tek yönlü bantlar da ve prepreg'lar da kullanılmaktadır. Bütün reçinelerle kombine edilebilirler.

Kırpılmış elyaf: Genellikle enjeksiyon kalıplamada ve basınçlı kalıplarda makine parçaları ve kimyasal valf yapımında kullanılırlar. Elde edilen ürünler mükemmel korozyon ve yorgunluk dayanımının yanı sıra yüksek sağlamlık ve sertlik özelliklerine de sahiptirler.

Aramid Elyaflar

Aramid kelimesi bir çeşit naylon olan aromatik poliamid'den maddesinden gelmektedir. Aromatik Polyamidler sınıfı alifatik polyamidlerden tamamen farklı özellikler gösterdiği için bunlara Amerika Federal Ticaret Komisyonu tarafından 1974 'de "Aramid" ismi verilmiştir. Ticari olarak ilk Aramid lifi A.B.D.'de DuPont tarafından 1965'de tanıtılmıştır. Bu meta-aramid'in ismi Nomex'ti.

Kevlar, çok hafif karbon kökenli çok sağlam liflerden oluşan bir malzemedir. Aramid lif, ısıya dayanıklı ve güçlü bir sentetik lif türüdür.

Avantajları şu şekilde sıralanabilir;

- Yüksek dayanıklılık
- Yüksek darbe dayanımı
- Yüksek aşınma dayanımı
- Yüksek yorulma dayanımı
- Yüksek kimyasal dayanımı
- Kevlar elyaflı kompozitler Cam elyaflı kompozitlere göre % 35 daha hafiftir

- E Cam türü elyaflara yakın basınç dayanıklılığı
- Genellikle rengi sarıdır
- Düşük yoğunluktadır (Gökkaya, 2015).

Dezavantajlar şöyle sıralanabilir;

- Bazı tür aramid elyafı ultraviyole ışınlar maruz kaldığında bozulma göstermektedir.
- Sürekli karanlıkta saklanmaları gerekmektedir.
- Elyaflar çok iyi birleşmeyebilirler. Bu durumda reçinede mikroskobik çatlaklar oluşabilir. Bu çatlaklar malzeme yorulduğunda su emişine yol açmaktadır.
- Aramid elyaflar elektriksel iletkenliğe sahip değildirler. Basma mukavemetlerin iyi olmamasının yanı sıra kevlar /epoksi kompozitlerinin nem tutma özellikleri kötüdür.

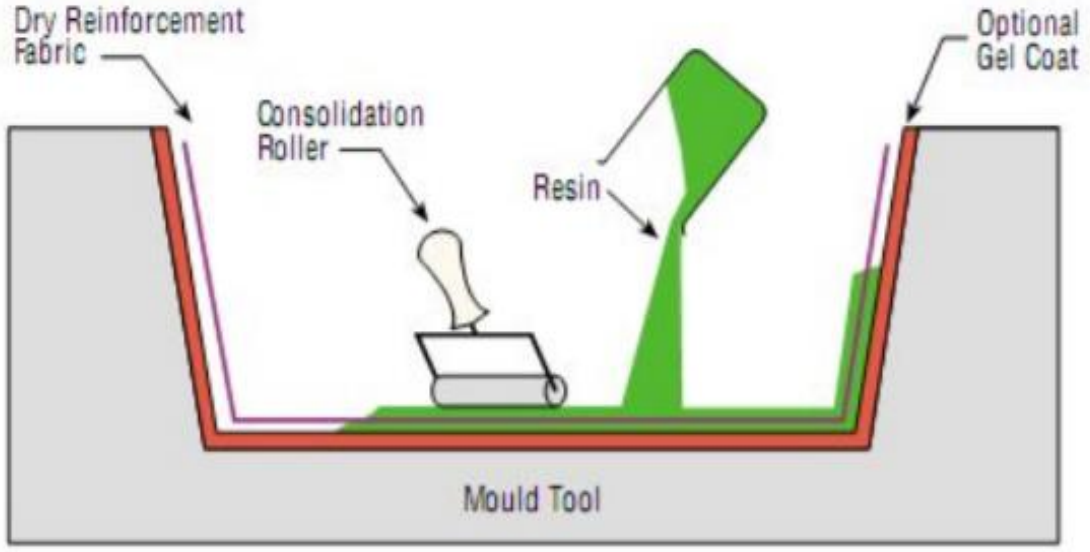
Genellikle polimer matriksler için takviye elemanı olarak kullanılan aramid elyafının bazı kullanım alanları; savunma sanayi, yelkenliler, hava araçları, otomotiv vb..

Elyaf takviyeli kompozit malzemelerin bilinen en yaygın üretim tekniği el ile yatırma metodudur. Bu metodun kısaca uygulaması şu şekildedir:

El yatırma yönteminin aşamaları şu şekildedir;

- Kalıp silindikten sonra birinci kalıp ayırıcı olarak vaks sürülür.
- Süngerle ikinci ayırıcı olarak PVA sürülür.
- Fırçayla viskozitesi yüksek jelkot sürülür.
- Takviye elemanı olarak kullanılacak elyaf hazırlanır.
- Reçine hazırlanarak dolgu maddeleri katılır.
- Jelkot üzerine fırça ile reçine sürüldükten sonra keçe veya kumaş şeklindeki elyaf yerleştirilir ve fırça darbeleriyle reçine emdirilir.
- Rulolanarak hava kabarcıkların dışarıya çıkması sağlanır.

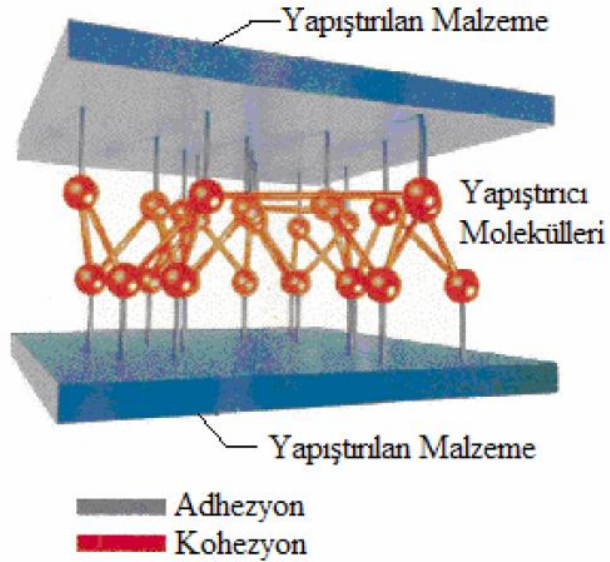
İstenilen kalınlığa ulaşıncaya kadar tüm bu işlemler tekrarlanarak sertleştirilmeye bırakılır ve bitmiş ürün özenli şekilde kalıptan çıkarılır (Anonim, 2018a).



Şekil 2.3. El ile yatırma yöntemi (Anonim, 2018b)

2.2. Yapıştırma Bağlantıları

Yapışma işlemi bir çeşit birleştirme yöntemidir. Bu birleşme işleminde iki ana madde yapıştırıcı ve yapıştırılan malzemeler. Bu malzemelerin yapışması içinde iki önemli adhezyon ve kohezyon olayları mevcuttur.



Şekil 2.4. Adhezyon ve kohezyon kuvvetleri (Baylan, 2015)

2.2.1. Adhezyon

Yapışma kuvveti, büyük ölçüde yapıştırılacak yüzeyler ile yapıştırıcı arasındaki adhezyon kuvveti tarafından belirlenir. Adhezyon, yapıştırıcıyla yapıştırılacak yüzey arasında meydana gelir. İki yüzeyin ara yüzey kuvvetleri (valans kuvvetleri) tarafından bir arada tutulması olayıdır. Adhezyon kuvvetlerinin etkin olmasında en büyük faktörlerden bir tanesi yüzey temizliğinin başarılı bir şekilde yapılmış olmasına bağlıdır. Eğer bu işlem ne kadar başarılı yapılmışsa yapıştırılan malzeme ile ilk yapışmanın başladığı yüzey arasındaki bağlar o kadar kuvvetli olur. Ayrıca yapıştırıcı malzemenin yapıştırılan malzeme yüzeyini ıslatması da oluşacak bağların kuvvetini etkiler (Şekercioğlu, T., Özenç, M., 2012).

Literatürde adı geçen belli başlı adhezyon teorileri şunlardır;

- Mekanik kilitlenme teorisi
- Difüzyon teorisi
- Fiziksel adsorbsiyon teorisi
- Elektrostatik teori
- Kimyasal yapışma teorisi

2.2.2. Kohezyon

Kohezyon ise yapıştırıcının kendi içerisinde meydana gelen bir bağlanma olayıdır. Yapıştırıcıyı meydana getiren kütle bileşenlerinin kimyasal (monomerler arasındaki bağ kuvvetleri) ve fiziksel kuvvetler (van der waals kuvvetleri) tarafından bir arada tutulması olayıdır. Bu olay yapıştırıcının polimerizasyonu-kürleşmesi sırasında gerçekleşir (Özenç, 2007).

2.2.3. Yapışmayı etkileyen faktörler

Bir yapışmanın oluşumu sırasında birleşmeyi etkileyen birden fazla faktör yer almaktadır. Bu faktörlerin varlıkları yapışma kalitesinde doğrudan etkin rol oynar. Aşağıda bu faktörler yer almaktadır.

Sıcaklık: Sıcaklık faktörü yapışmayı etkileyen faktörlerin başında yer almaktadır. Çoğu yapışma işlemi için oda sıcaklığı yeterli olurken bazı yapışmalarda yüksek sıcaklık ve bunun yanında da basınç ihtiyaç duyulur. Yüksek sıcaklık yapışmadaki reaksiyonları hızlandırır ve kürleşme süresinin kısalmasına yardımcı olur. Ancak bu sıcaklık artışı kontrollü şekilde gerçekleştirilmelidir aksi takdirde yapıştırıcının bozulma (degradation) ihtimali ile karşı karşıya kalınır (Özel, 2008).

Basınç: Basınç faktörü yapışma işlemi yapılacak malzemenin film ve bant şekillerinde üretilmesi işlemlerinde tercih edilir. Sıcaklığa yardımcı olarak da kullanılan basınç faktörü ıslatma işleminin daha rijit ve homojen olmasında da rol alır. Ve yapışma süresinin kısalmasına yardımcı olur.

Zaman: Yapışma işleminin başlangıcından sonuna kadar geçen süre olarak tanımlanır. Sıcaklık ve basınç faktörleri ile bu yapışma zamanı değişikliğe uğrayabilir. Yapıştırıcının kuruması için gereken süre birkaç saniye ile birkaç güne kadar sürebilir.

Katalizör: Bazı yapışma işlemlerinin gerçekleşmesinde katalizör etkisine ihtiyaç duyulur. Bu etkili faktör yapışmanın başlamasında, hızlandırılmasında, reaksiyonların kuvvetlendirilmesinde kullanılır. Termoset ve elastomerik yapıştırıcı türlerinde olduğu gibi tek ve iki bileşenli yapıştırıcılarda katalizörlerin kullanılması gerekmektedir.

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

Oksijen, rutubet, nem: Bazı yapıştırıcılar oksijensiz ortamlarda yapışma işlemini gerçekleştirirler. Bazı yapışmalar için oksijensiz ortam hazırlamak gerekebilir. Nem ve rutubet ise yapışma işlemini bazı durumlarda negatif yönde etkileyerek yapışmayı olumsuz kılar. Bu olayın tersi bazı maddeler Poliüretan siyanoakrilat ve silikon türü yapıştırıcılar havada bulunan nem veya tatbik edildikleri yerdeki su ve nem vasıtasıyla reaksiyona girerler ve yapışmayı sağlarlar.

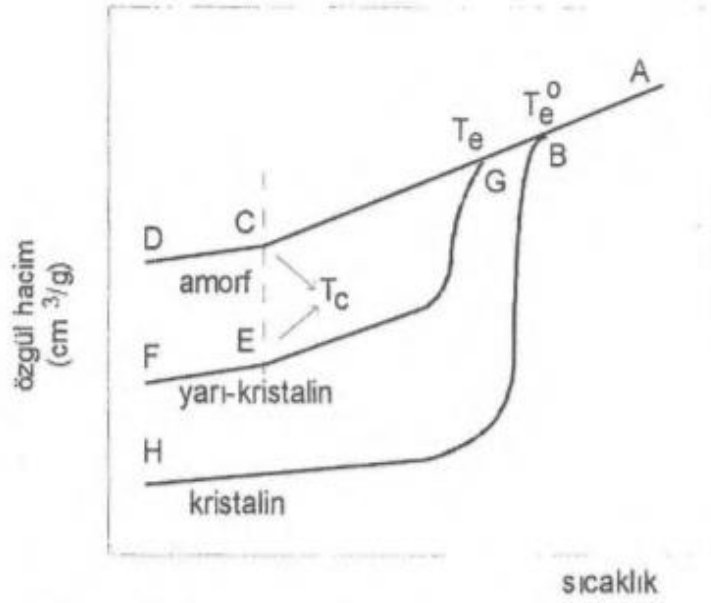
UV ışınlar: Bazı yapıştırıcılar yapışma işlemi için ultraviyole ışınlar ihtiyaç duyarlar. Tek bileşenli bazı akrilik türü yapıştırıcılar ultraviyole ışınları ile kürleşmekte ve yapışma işlemini tamamlamaktadırlar.

Yapışma yüzeyleri: Yapışma yüzeylerinin geometrik şekilleri ve yüzey temizliği de yapışmanın düzgün yapılabilmesi için gereken etkenlerden bir tanesidir.

2.2.4. Yapışma termal özellikleri

Yeterince düşük sıcaklıklarda doğrusal ve az oranda çapraz bağ içeren polimerler kırılğan, sert katı halledirler. Sıcaklığın arttırılmasına bağlı olarak bu tür polimerler bazı ısı geçişler gösterir ve bu ısı geçişlere bağlı olarak polimer davranışı değişir.

2.2.4.1.Camsı geçiş sıcaklığı



Şekil 2.5. Amorf, yarı kristalin, kristalin polimerlerinin hacim-sıcaklık ilişkisi (Saçak, 1998)

Amorf yapı

Polimer zincir grubunun şekil 2.6. da gösterildiği gibi karışık düzenekte yer alan kopuk kısa ipler şeklindeki yapısıdır.



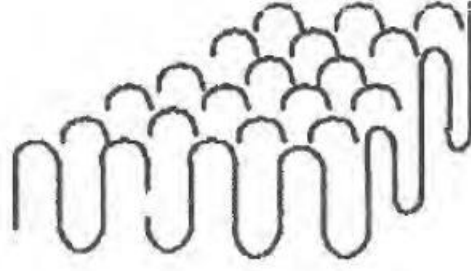
Şekil 2.6. Amorf yapı (Saçak, 1998)

Amorf yapı polimer grubunun hacim-sıcaklık etkisindeki davranışı şekil 2.5'te görülmektedir. Grafik incelendiğinde amorf yapı D-A hattını takip eder. CD noktaları arasında yani camı geçiş noktası altında kalan kısım da katı davranış izleyen polimer camı geçiş ısı geçişi denilen T_c noktasında yumuşamaya ve kauçuğumsu yapı haline dönüşmeye başlar. Bu sıcaklık noktası amorf yapı için bir dönüşüm noktasıdır. Bu noktadan sonra katı ve

kırılğan yapıdaki amorf daha rahat esneyebilen bir malzeme halini alır. F-E arasında camsı yani katı halde davranış gösterirken, E-G noktasında kauçuğumsu hal, G noktasında ise erimeye başlar (Saçak, 1998).

Kristalin yapı

Polimer zincir grubunun şekil 2.7’de gösterildiği gibi düzenli bir yapıda olan grubudur.



Şekil 2.7. Kristalin yapı (Saçak, 1998)

Kristalin yapılı polimer grubunun hacim-sıcaklık etkisindeki davranışı şekil 2.5’te görülmektedir. Grafik incelendiğinde amorf yapı H-A hattını takip eder. Kristalin yapıda Tc noktası yer almamaktadır. Sadece erime noktası mevcuttur. Kristalin yapılar Te erime sıcaklığı noktasında katı halden akarak sıvı hale geçerler (Saçak, 1998).

Yarı kristalin yapı

Polimer zincir grubunun şekil 2.8 de gösterildiği gibi yarı düzenli bir yapıda olan grubudur.



Şekil 2.8. Yarı kristalin yapı (Saçak, 1998)

Yarı kristalin yapılı polimer grubunun hacim-sıcaklık etkisindeki davranışı şekil 2.5’te görülmektedir. Grafik incelendiğinde amorf yapı F-A hattını takip eder. FE noktaları arasında yani camsı geçiş noktası altında kalan kısım da katı davranış izleyen polimer camsı

ısı geçişi denilen Tc noktasında yumuşamaya ve kauçuğumsu yapı haline dönüşmeye başlar. Yarı kristalin en büyük özelliği camsı ısı geçişi Tc ve erime noktası Te'yi bünyesinde barındırmasıdır (Saçak, 1998).

Çizelge 2.3. Bazı polimerlerin camsı sıcaklık geçiş değerleri ve erime sıcaklık değerleri (Saçak, 2018)

Polimer	Tc	Te
Polistiren(izotaiktik)	100	240
Poli(metil metakrilat)	126	200
Poly(cis-1,4-izopren)	-67	36
Poli(trans-1,4-izopren)	-68	74
Poliakrilonitril	85	317
Poli(hekzametilen adipat)	45	267
Polietilen(yüksek yoğunluklu)	-20	141
Polietilendüşük yoğunluklu	-107	95
Poli(etilen teraftalat)	69	267

2.2.4.2. Ergime sıcaklığı

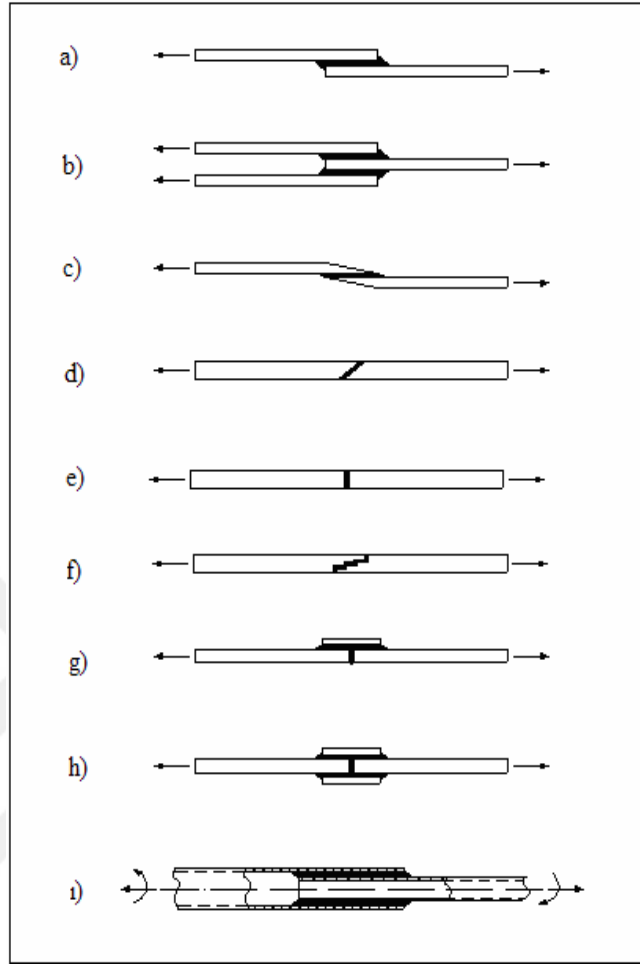
Polimerler ısıtılıp belirli bir sıcaklığa geldiğinde denge konumuna ulaşırlar. Denge konumu; polimerlerin katı halleri ile ergiyen kısımların bir arada bulunmasıdır. Sıcaklık artışı devam ettirilirse bu denge durumu bozulup bütün katılar eriyik hale geçecektir. Polimer yapılarına göre değişkenlik gösteren bu noktalar bir ergime sıcaklık noktası yerine ergime sıcaklık aralığı diye tanımlanabilir. Ergime sıcaklığı ulaştığı andaki noktaya Tm erime noktası adı verilir.

2.2.5. Yapıştırma bağlantı geometrileri

Bir yapıştırma bağlantısında yapıştırıcı, yapıştırılan malzeme, yapışmaya etki eden faktörler ve bağlantı tipleri mukavemet değerlerini etkileyen yapılarıdır.

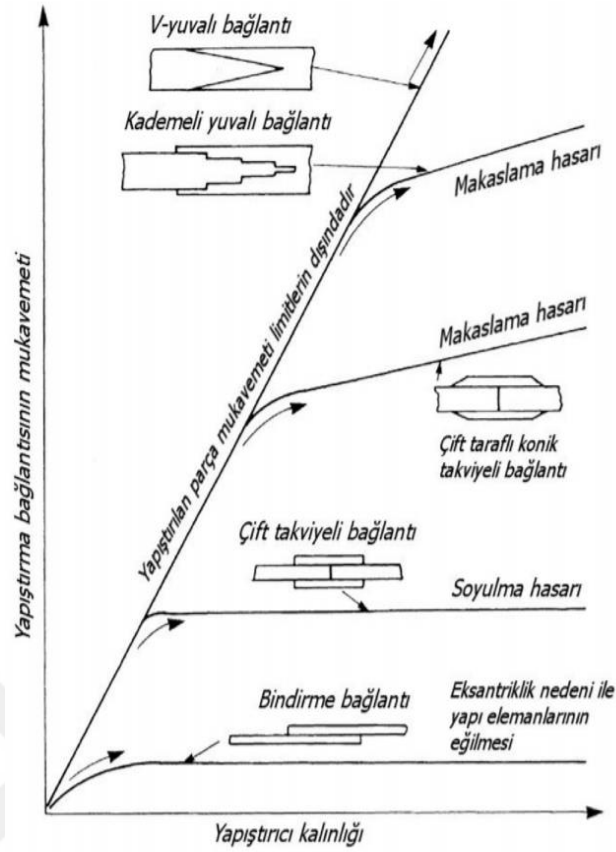
Mukavemet değerlerinin yüksek değerleri barındırabilmesi için yapıştırıcı malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin iyi belirlenmesi gerekir. Sıcaklık, basınç gibi yapışmaya etki eden faktörleri uygun koşullara ayarlanmalıdır. Yapıştırma bağlantı tipleri de mukavemet değerlerinin belirlenmesinde etkin rol alan bir parametredir. (Özenç, 2007)

Uygulanacak yüklerin yönlerine, boyutlarına göre iyi analiz edilip aşağıda belirtilen modellerden uygulanmalıdır.



Şekil 2.9. Yapıştırma bağlantıları geometrileri; a) Tek taraflı bindirme bağlantısı, b) Çift taraflı bindirme bağlantısı, c) Pahlı bindirme bağlantısı, d) Açılı bindirme bağlantısı, e) Alın bağlantısı, f) Kademeli bağlantı, g) Tek taraflı takviyeli alın bağlantısı, h) Çift taraflı takviyeli alın bağlantısı, ı) Silindirik bindirmeli bağlantı (Özenç, 2007).

Bu bağlantı tiplerinin yapıştırıcı kalınlığına göre mukavemet grafiği şekil 2.10'da gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Bağlantı tiplerinin kalınlık-mukavemet grafiği

2.2.6. Yapıştırıcı çeşitleri

Yapıştırıcı istenilen iki malzemeyi adhezyon ve kohezyon kuvvetleri ile birleştiren malzeme türüdür. Yapıştırıcı türleri doğal ve sentetik olarak ikiye ayrılırlar.

2.2.6.1. Doğal yapıştırıcılar

Doğal yapıştırıcılar hayvansal, bitkisel ve minerallerden elde edilen yapıştırıcılardır. Arkeologların yaptıkları araştırmalara göre günümüzden 6000 yıl önce bazı bitkilerden elde edilen reçine ve sakızlarla yapıştırılmış kırık seramik kaplar bulunmuştur. Yaklaşık 5000 yıl önce Mısırlılar ahşaptan mobilyalar yapmak için yapıştırıcıdan yararlanmışlardır. Firavun mezarlarında bulunan örneklerden ve taşlara resmedilmiş yapıştırıcı kullanan insan figürlerinden Eski Mısır da yapıştırıcı kullanıldığı bilinmektedir. Hayvansal yapıştırıcılar, genellikle katı halde saklanır ve sıvı hale getirmek için ısıtılmalıdırlar. Çoğunlukla ahşap birleştirme işlemlerinde kullanılır. Bitkisel yapıştırıcılar genellikle toz haline getirilir ve macun haline getirmek için kullanımdan önce su ile karıştırılmalıdır. Kağıt sanayisinde kullanılmaktadır. Mineral yapıştırıcılar, örneğin sodyum silikat 850°C'ye kadar yüksek sıcaklıklara dirençlidir (Tek, 2011).

2.2.6.2. Sentetik yapıştırıcılar

Doğal yapıştırıcıların yanı sıra 1930'lardan bu yana kullanılan PVA (polivinil asetat) bazlı preparallar ve çok çeşitli sentetik tutkalların piyasaya çıkmasıyla yapıştırıcılar, çok geniş bir alanda çeşitli sektörlerin yararlandığı vazgeçilmez bir ürün grubu haline dönmüşlerdir. Sentetik yapıştırıcılar doğal yapıştırıcıların kısıtlı kullanım alanlarına karşın gelişen teknolojik gelişmeler sayesinde otomotiv sanayi, uçak sanayi, tarım sanayinde, savunma sanayinde sıkça kullanılmaya başlanmıştır.

2.2.6.2.1. Akriklikler

Akrilik yapıştırıcılar üst düzey performans gösteren birçok özellik kapsar. Rüzgâr, hava, solventlere karşı dirençlidirler. Akrilik yapıştırıcılar polimerizasyon ile endüstriyel olarak üretilirler. Akriğin yapıştırıcı özellikleri, formülasyonlarında ki monomerlerin seçimi ve polimerizasyon prosesinin değişimi ile ayarlanabilir. Akrilik yapıştırıcılarda, çapraz bağlı uzun polimer zincirleri bulunur. Bu çapraz bağlanma özelliği, akrilik yapıştırıcıları doğal kauçuk ve sentetik kauçuk yapıştırıcılardan çok daha yüksek bir performans kategorisine yükseltir. Artırılmış hızlı ayrılma yapışkanlığı veya azaltılmış bekleme süresine sahip akrilik basınca duyarlı yapıştırıcılar oluşturmak için, tutturucu reçineler sıklıkla akrilik polimere eklenir. Ancak reçine eklenmesi akrilik yapıştırıcının kaynaştırıcılığını değiştirecektir (Anonim, 2018e).

Akrilat yapıştırıcılar düşük başlangıç tutunması sunar ve tutunma için az zamana ihtiyaç duyar. Boşluk doldurma oranları çok yüksektir. UV ve ozona karşı dirençli ve neme karşı duyarsız olmasında ayrı bir sahip olduğu özelliktir. Soyulma ve darbe dayanımları yüksektir. Yüksek mukavemet isteyen alanlarda tercih edilir.

2.2.6.2.2. Anaerobik yapıştırıcılar

Tek bileşenli metalin varlığı havanın yokluğu ile kürleşen akrilik polyester reçine esaslı bir yapıştırıcı türüdür. Diğer yapıştırıcılardan en büyük özelliği iki metal veya metal dış arasında kaldığında reaksiyon başlar ve metal parçalar arasında güçlü bir yapışma olayı gerçekleşir. Tutunma süresi 10-30 dakika arasındadır. Tam dayanım için 6-24 saat gerekir. Kürleşme süreleri yoğunluklara, ortam sıcaklıklarına, metalin türüne göre değişiklik gösterebilir. Sıcaklık dirençleri -55/+200 derece arasında değişiklik gösterir.

2.2.6.2.3. Siyanoakrilitler

Genel bilinen adı ile japon yapıştırıcılar Amerikalı Dr.Harry W.Coover tarafından 1942'de bulundu. Akriklikler, reaktif ve çapraz bağlanma özelliklerinden dolayı endüstride sıklıkla kullanılan maddelerdir. Siyanoakrilatlar ise akrikliklerin en sık kullanılan

formlarından biridir. Bunlar mat yüzeylerle temas ederek, yüzeyin terlemesi sonucunda oluşan kimyasal reaksiyon sayesinde, anında yapışmayı sağlar. Siyanoakrilat monomerlerin yapısında aynı karbon atomuna bağlı, elektron çekme özelliğine sahip, siyano grubu (-CN) ve ester grubu (COOR) bulunur. Bu özelliklerinden dolayı elektronca zengin kimyasal maddelerle tepkimeye giren monomerler, ortamda bulunan nem ile birkaç saniye içinde polimerleşirler. Yapıştırılacak yüzeyler arasında sert polimerik bir tabaka oluşur ve bu tabaka parçaların sıkıca bir arada durmasını sağlar. Genellikle anında yapışma özelliği ile çok çeşitli malzemeleri bile birbirine yapıştırabildiği için tercih edilir. Japon yapıştırıcısı türleri olarak da sıvı, jel ve sprey japon yapıştırıcı söylenebilir (Özfidan, 2018).

2.2.6.2.4. Modifiye edilmiş fenolikler

Fenol-formaldehit esaslıdır. Sertleştiklerinde termoset halini alırlar. Sertleştirme işlemi için gerekli olan sıvı ve basınçtır. Sertleştiklerinde fenolik reçineler gevrek bir hal alır. Bunu engellemek için bazı epoksi, nitril kauçuk, neopran gibi ilave malzemeler eklenmelidir.

Kullanım alanları uçakların dış yüzey kaplamasında, aşındırıcı taşların yapıştırılması gibi alanlardır (Özenç, 2007).

2.2.6.2.5. Poliüretanlar

Solvent ihtiva etmeyen çift komponentli çok maksatlı bir yapıştırıcı türüdür. Rutubete, suya ve çoğu kimyasallara karşı dayanıklıdır. Tikotropi özelliği olan, neme, ısıya dayanıklı, pres gerektirmeyen, ayrışmaya uğramayan mukavemeti yüksek bir yapıştırıcıdır.

Kullanım alanları; Polietilen ve benzerleri hariç, beton, taş, ahşap, metal gibi yüzeylerin birbirlerine yapıştırılmasında, kauçuk kaplamalarının, seramik, granit mermerin yere yapıştırılmasında, yalıtım kaplamalarında (poliçim, regupol v.s) sunta, suntalam strator, polistren levha, akustik ses yalıtımlarında beton cam ve metallerin farklı ürünlerin yapıştırılmasında iç ve dış mekanlarda kullanılır. PVC zemin kaplama malzemeleri deneme yapılmadan yapıştırılmamalıdır. Gün ışığı ve sudan etkilenmemesinden dolayı yapıştırma özelliği sonsuza kadar sürer.

2.2.6.2.6. Epoksiler

İçerisinde epoksi reçine ve bir sertleştirici barındıran iki bileşenli bir yapıştırıcı türüdür.

Epoksi reçineleri birden fazla epoksi grubu ihtiva eden ve termoset malzemelere dönüşebilen ön polimer grubudur. Epoksi reçineler tek başına kullanılamazlar.

Birden fazla değişik özelliğe sahip epoksi yapıştırıcı grubu, yapıştırıcılar arasında en çok kullanım alanına sahip yapıştırıcılardır. En önemli özellikleri birden farklı malzemeleri ve yüzeyleri yapıştırmada çok başarılıdırlar.

Yüksek yapışma değerleri, yüksek çekme ve kayma mukavemet değerleri, yüksek rijitlik, kolay ve erken sertleşme, yüksek sürtünme ve aşınma direncine sahip olmaları tercih sebeplerinden sadece bir kaçıdır.

Epoksi yapıştırıcıları, uçaklarda otomobil endüstrisinde, elektrik ve elektronik sanayisinde, inşaat, gemi yapımında, ağaç, kâğıt, metallerin, seramik ve camın yapıştırılmasında kullanılmaktadırlar.

2.2.7. Yapıştırılacak yüzeylerin hazırlanması

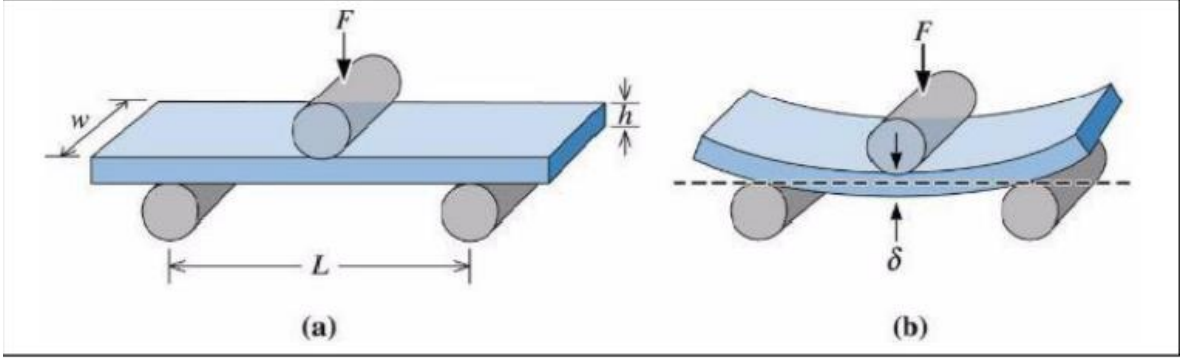
Yapıştırma bağlantılarında yapıştırıcı ve yüzey arasında tam temas olmalıdır. Bu yüzden uygun ön-işlemler yapılmalı ve uygun yapıştırıcılar seçilmelidir. Yüzey hazırlama bir yapıştırma bağlantısı için en önemli aşamadır. Bu aşama doğru yapılırsa yapıştırma bağlantısından maksimum verim alınacaktır. Birçok malzeme için yüzey hazırlama aşamasında zıMParalama ya da solventle temizleme işlemleri yapılır.

Kaliteli bir yapışma için ön-işlem çok dikkatli seçilmelidir. Yapışma kuvveti genelde adhezyon kuvvetine bağlıdır.

2.3. Eğme Deneyi

Eğme, iki destek noktasına serbest halde bırakılan deney numunesinin, yön değiştirmeksizin ortasına bir z eksen doğrultusunda uygulanan kuvvet etkisiyle form değiştirmesidir. Eğme deneyinde asıl amaç uygulanacak kuvvetin numunede oluşturduğu gerilmeler ve yer değiştirme hesaplarının yapılarak numune mukavemet ve tasarım değerleri hakkında bilgi sahibi olmaktır. Eğme deneyi ile malzemenin elastisite modülü, eğilme momenti, eğilme dayanımı ve maksimum yer değiştirme sonuçları elde edilir (Başbuğ, 2012).

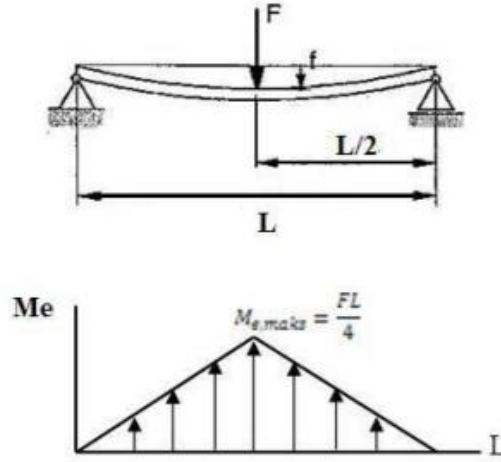
Eğme deneyleri arasında en sık kullanılan metot üç nokta eğme deneyidir. Üç nokta eğme deneyinde test edilecek numuneye 3 noktadan temas gerçekleştiği için bu şekilde adlandırılmıştır. Eğme sırasında deney numunesinde hem basma hem de çekme gerilmeleri gözlemlenmektedir. Basit bir kiriş uygulananarak modellenen bu deney eğme deneyin özünü oluşturur.



Şekil 2.11. Üç nokta eğme deneyi gösterimi (Anonim, 2018c)

Eğme deneyinde numuneye uygulanan kuvvet zamana karşı artış gösterilirken numunede oluşan sehim değerleri okunarak kuvvet-yer değiştirme grafikleri elde edilir. Bu grafik yorumlanarak deney numunesinin tasarım değerleri hakkında yorumlamalar yapılır.

Deney numunesinden elde edilen deney sonuçlarının doğruluğu için deney, 3 sefer tekrarlanarak deney sonucu kendi içerisinde onanır.



Şekil 2.12. Üç nokta eğme deneyi eğilme moment diagramı

$$Me = \frac{FxL}{4} \quad \sigma = \frac{M \times C}{I} \quad (2.1)$$

σ [Eğilme Dayanımı] [N/m²]

M [Eğme Momenti] [N.m]

Y [Numunenin en dış yüzeyinden uzaklık] [m]

I [Nötr eksene göre eylemsizlik momenti]

Genel hesaplamalarıyla gerilme ve moment değerleri elde edilir.

Çizelge 2.4. Eğilme deneyi dayanımı modül hesap çizelgesi (Anonim, 2018c)

Numune Şekli	M	Y	I	σ_e
Dikdörtgen	F.L/4	h/2	$w.h^3/12$	$(3F.L)/(2.w.h^2)$
Dairesel	F.L/4	r	$\pi.r^4/4$	$(F.L)/\pi.r^3$

$\sigma_e = (3F.L)/(2.w.h^2)$ [Üç Nokta Eğme Testi için] [Dikdörtgen Numune]

$\sigma_e = (3F.L1)/(4.w.h^2)$ [Dört Nokta Eğme Testi için] [Dikdörtgen Numune]

$\sigma_e =$ [Eğilme Dayanımı] [kgf/mm², N/cm², MPa]

F [Uygulanan Kuvvet, Yük P] [kg, N]

L [Mesnet merkezleri arasındaki uzaklık] [mm]

w [Numune genişliği] [mm]

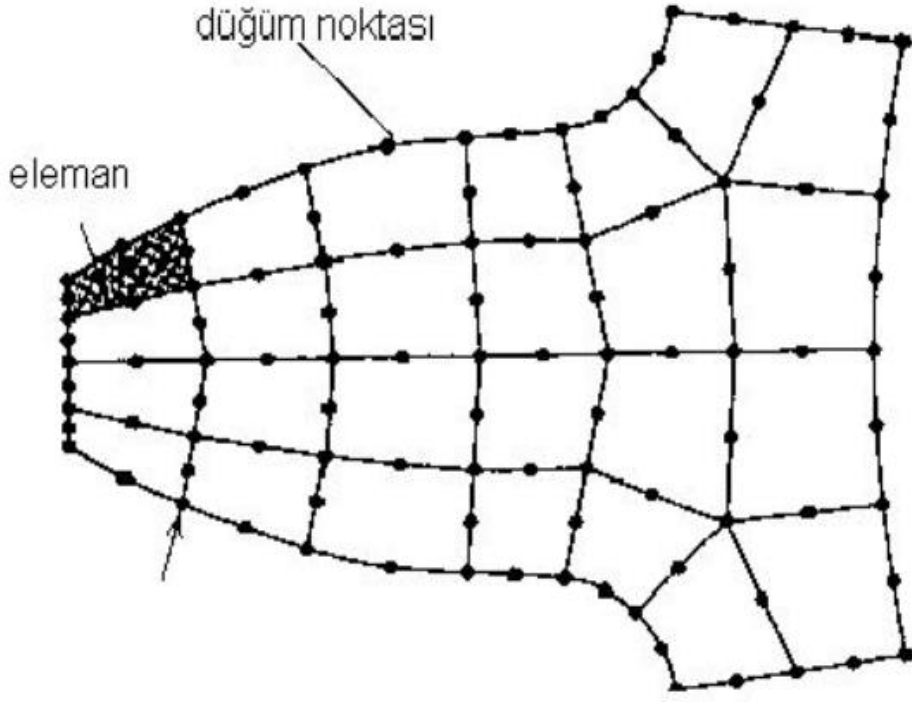
h [Numune kalınlığı/yüksekliği] [mm]

r [Yarıçap] [mm]

2.4. Sonlu Elemanlar Metodu

Sonlu Elemanlar Metodu (Finite Element Method) ilk kez 1956 yılında uçak gövdelerinin gerilme analizi için geliştirilmiş olup, daha sonraki on yıl içerisinde uygulamalı bilimler ve mühendislik problemlerinin çözümünde de kullanılmaya başlanmıştır. Daha sonraki yıllarda da bu metod ve çözüm teknikleri hızla geliştirilmiş ve günümüzde pek çok mühendislik probleminin çözümü için kullanılan en iyi metotlardan birisi haline almıştır (Alkan, 2014).

Sonlu elemanlar metodundaki temel mantık, karmaşık bir problemi basite indirgeyerek çözüme götürmektir. Bu metod çözüm bölgesi, çok sayıda, basit, küçük, birbirine bağlı, sonlu eleman adı verilen alt bölgelere ayrılmaktadır. Yani kısacası birbirine çok sayıda düğüm noktalarıyla bağlanmış parçalara ayrılan problemin çözümü kolay bir şekilde yapılabilmektedir. Örneğin yapısal bir analizde sonlu elemanlar metodunun uygulaması şu şekildedir:



Şekil 2.13. Sonlu elemanlar metodu çözüm mantığından bir kesit (Alkan, 2014)

Sonlu elemanlar uygulanış mantığı şu şekilde açıklanabilir;

- Yapı parçalara ayrılır. (Düğüm noktaları içeren elemanlarla)
- Her eleman için fiziksel büyüklüklerin davranışları tanımlanır.
- Elemanlar düğüm noktalarından bağlanılarak bütün yapı için yaklaşık bir denklem sistemi oluşturulur.
- Sistem denklemleri düğüm noktalarının da ki bilinmeyen değerler için çözülür. (Örneğin yer değiştirme)
- Seçilen elemanların istenilen değerleri hesaplanır. (Örneğin gerilmeler)

Sonlu elemanlar metodu birçok alanda aktif olarak kullanılmaktadır. Bu kullanım alanlarının başında;

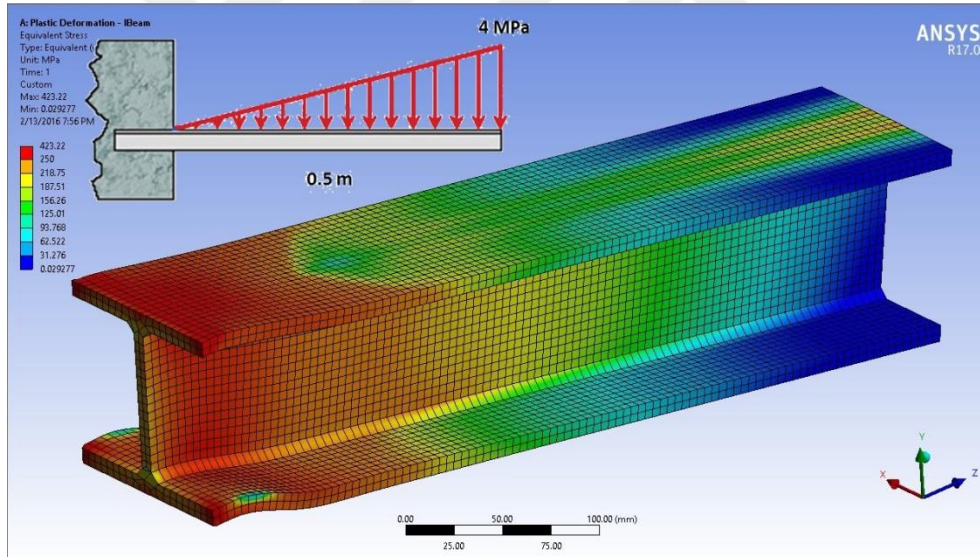
- Uçak sanayi
- Savunma sanayi
- Otomotiv sanayi
- Medikal uygulamalar
- Elektromanyetik uygulamalar

- Sıcaklık ve akış gerektiren uygulamalar gelmektedir.

2.4.1. Ansys

Ansys yazılımı mühendislerin mukavemet, titreşim, akışkanlar mekaniği ve ısı transferleri ile elektromanyetik alanlarında fiziğin tüm disiplinlerinin birbiri ile olan etkileşimini simüle etmekte kullanılan bir bilgisayar tabanlı mühendislik programıdır.

Bu programın asıl mantığı sonlu elemanlar metodu ile 3 boyutlu simülasyonlar neticesinde; prototiplerin ya da malzemelerin analizini gerçekleştirmektir. Analizler sonunda zayıf noktaların tespitleri, bu bağlamda iyileştirmeler yapılması, ömür hesaplarına bağlı olarak öngörülere mümkün kılmaktır. Ansys programı bünyesinde olanak sağladığı CAD sistemi ile tasarımları gerçekleştirilen prototiplerin ya da bileşenlerin simüle edilmesine imkan sağlar. Oluşturduğu çözüm odaklı algoritmalar sayesinde çözüme parametrelerin hassas ayarlanması ile %99,9 yakınsamalarla doğru sonuçların elde edilmesine imkan kılabilir (Anonim, 2018d).



Şekil 2.14. Örnek bir kiriş probleminin ansys programı ile çözülmesi (Anonim, 2018)

Kısaca ANSYS'i anlattıktan sonra analizlerimizde izlediğimiz yolu şu şekilde özetleyebiliriz:

- Çalışma ortamı,
- Malzemelerin mekaniksel özellikleri,
- Çalışma konusu olan malzemelerin geometrileri,
- Model tipleri,

- Ağ (Mesh) Yapısı,
- Kontakt yüzeyleri,
- Sınır şartları,
- Sehim Değerleri, girilerek çözümlene yoluna gidilir.

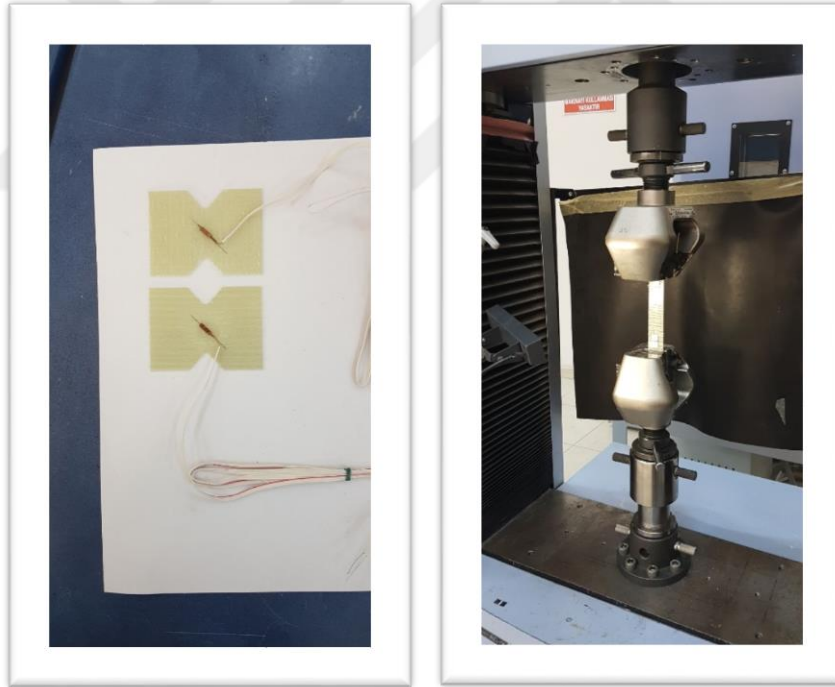


3. MATERYAL ve METOD

3.1. Tamir Edilecek Malzeme

Tamir edilecek malzeme kalınlıkları; 2 kat 0,5 mm, 4 kat 1 mm, 6 kat 1,5 mm olan lif yönleri; [0,0], [0,90], [45,-45], [90,90] şeklinde belirlenen cam elyaf kompozittir. Cam elyaf kompozit malzeme istenilen kalınlıklara ve lif yönlerine göre 1x1 m ebatlarında levhalar halinde İZOREEL firmasından temin edilmiştir. Ebatları 60 x 140 mm olarak belirlenen tamir edilecek cam elyaf malzemeler istenilen ebatlarda kesilerek tam ortasına 24 x 11 mm ebatlarında bir eliptik hasar açılmıştır.

Yine standartların belirtmiş olduğu ebatlarda ve ölçülerde kestirilmiş olan kemik numunelere gerekli testler yapılmıştır. Bu testler sonucu numerik analizler için gerekli olan değerler elde edilmiştir. Üretim tekniklerinden kaynaklı, piyasadaki değerler yerine; çalışmanın numunelerine özgü değerler analizlerde kullanılmıştır. Buda çalışma değerlerinde doğru sonuçlara götürmüştür.



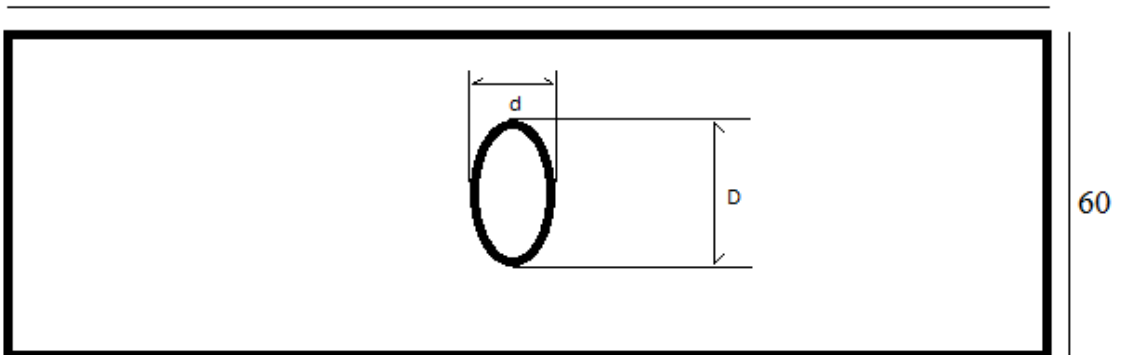
Şekil 3.1. a) Kemik malzemeler b) Kemik değerler test aşaması

Yapılan testlerin sonucunda Çizelge 3.1’de verilen değerler elde edilmiştir.

Çizelge 3.1. Cam elyaf kompozit lama mekaniksel özellikleri

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

140



Şekil 3.2. Eliptik delik açılmış cam elyaf kompozit levha tamir edilecek malzeme

3.2. Yama Malzemesi

Kullanılacak yama malzemesi; 4 kat 1 mm olan lif yönü; [0,90] şeklinde belirlenen cam elyaf kompozittir. Cam elyaf kompozit malzeme istenilen kalınlıklara ve lif açlarına göre 1x1 m ebatlarında İZOREEL firmasından temin edilmiştir. Ebatları 60 x 40 mm olarak belirlenen yama cam elyaf malzemeler istenilen ebatlarda kesilerek tek bindirme ve çift bindirme olarak yapıştırıcı yardımı ile hasar yüzeyine yamanacaktır.

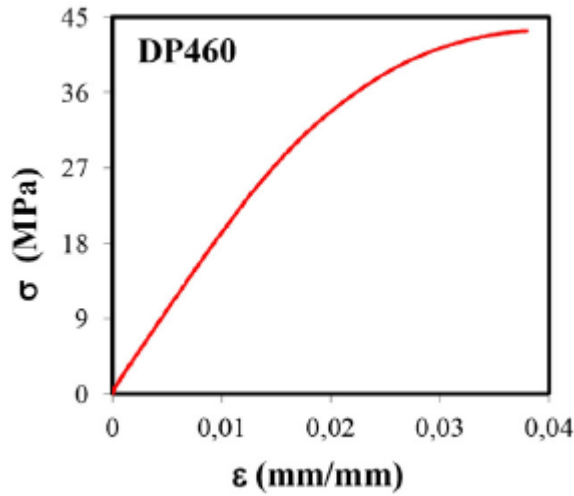


Şekil 3.3. Cam elyaf kompozit yama malzemesi x=60, y=40 mm

Yama malzemesi, lama malzemesi olan cam elyaf takviyeli kompozit ile aynı mekanik özelliklere sahip olduğundan çizelge 3' kullanılacaktır.

3.3. Yapıştırıcı Malzeme

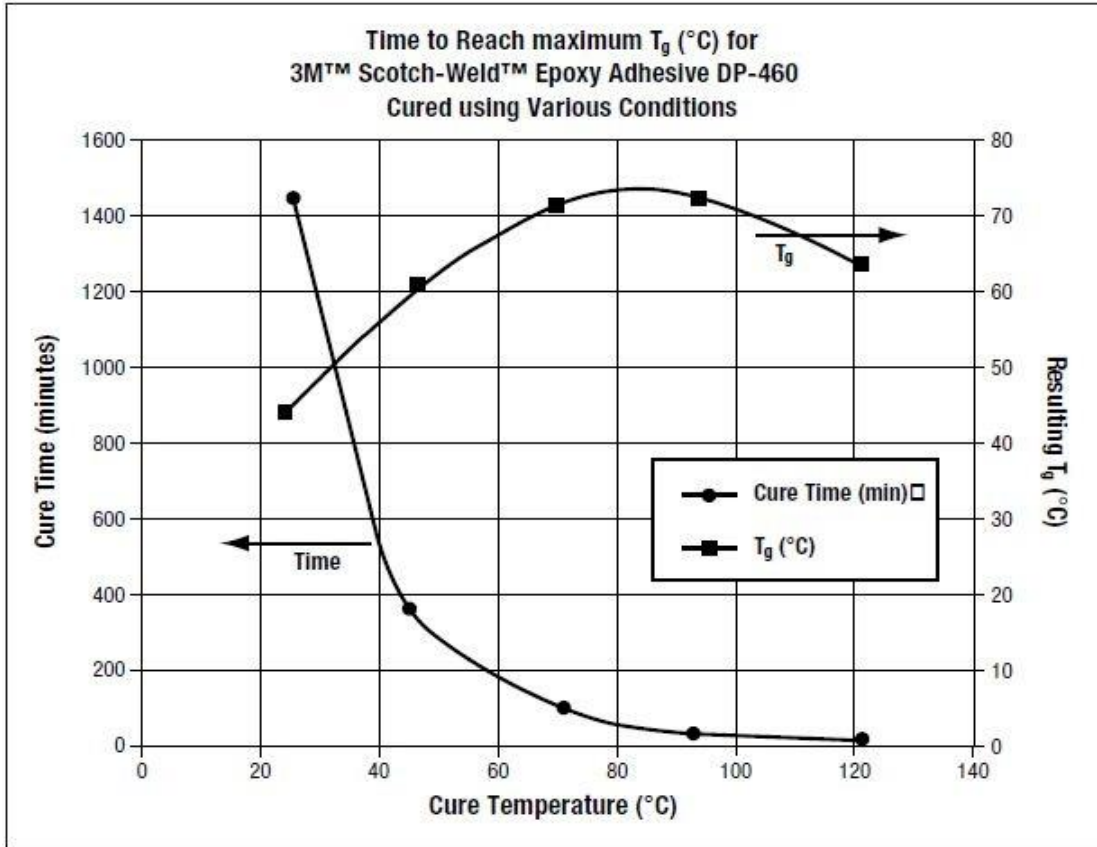
Bu tez çalışmasında yapıştırıcı malzeme olarak EGEBANT firması tarafından temin edilen DP460 yapıştırıcı kullanılmıştır. Bu ürünün epoksi ve sertleştirici olmak üzere iki bileşeni mevcuttur. Hacimsel olarak epoksi/sertleştirici oranı 2/1 oranı olduğundan yapıştırıcının dayanımı yüksektir. Bu oranı yakalamak amaçlı özel helezonik uçları ile birlikte, tabanca yardımıyla bu tez çalışmamda kullanılmıştır.



Şekil 3.4. DP460 gerilme-şekil değiştirme grafiği



Şekil 3.5. Yapıştırıcı malzeme DP460



Şekil 3.6. DP-460 kürleşme zamanı (dk) - kürleşme sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$) grafiği (Ergün, 2014)

3M firmasından alınan yapıştırıcı bilgileri şu şekildedir;

Renk: Mat beyaz

Viskozite: Kısmi Akışkan

Kuruma zamanı: 60 dk

Kürlenme zamanı: 250–300 dk (%75)

Kullanılan Yüzeyler: Metal, cam, seramik, plastik, kompozit

Özellikleri: Yüksek sıcaklık dayanımı, yüksek tutunma mukavemeti

3.4. Deney Numunelerinin Hazırlanması

İlk olarak İZOREEL firmasından tezin konusu olarak belirlenen lama kalınlıkları ve lif açıları farklı cam elyaf kompozitler 1 x 1 m ebatlarında levhalar olarak temin edildi. Temin edilen 1 x 1 m ebatlarındaki cam elyaf levhalar tamir edilecek lama ebatlarında 60 x 140 mm olarak CNC tezgahlarında kesildi. Sırasıyla 2 tabaka, 4 tabaka ve 6 tabakalı kompozit malzemeler CNC tezgahında ortalarına ebatları (büyük çap 'D' , küçük çap 'd') (24 x 11 mm) eliptik bir delik açılmıştır. Kompozit lamaların kesimi sırasında ortaya çıkan çapaklar malzemeye zarar vermeyecek bir ince zımpara ile temizlenerek yüzeyleri bir sonraki işlemler için temiz ve pürüzsüz hale getirilmiştir. Her deney için 3'er adet lama kesilip deneye hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.7. 60 x 140 mm 4 Katmanlı (0,0) lif açılı bir lama numunesi

Deneyleerde kullanılacak numunelerin parametreleri ve değerleri izelge 3.2’de belirtilmiştir.

Çizelge 3.2. Deneysel numuneleri parametre ve değerleri

DENEY NUMUNESİ BOYUTLARI							
HASARLI LEVHALAR (Cam-Epoksi Kompozit)					YAMALAR (4 Tabakalı, 0-90 Lif Açılı, Cam-Epoksi Kompozit)		
Levha Boyutu (mm)	Levha Tabaka Sayısı	Levha Lif Açısı	Yapıştırıcı Kalınlığı (mm)	Eliptik Hasar Boyutu		Yama Malzeme Boyutu (mm)	Yama Tabaka Sayısı
				D Büyük Elips apı (mm)	d Küçük Elips apı (mm)		
60x140	2 (0,5 mm)	(0,90)	0,15	24	11	60x40	1 mm (4 tabakalı)
	4 (1 mm)	(90,90)					
		(45,-45)					
		(0,90)					
		(0,0)					
	6 (1,5 mm)	(0,90)					

İlk olarak yapıştırma işlemleri gerçekleşmeden, yapışacak yüzeylerin hazırlanması sağlanmıştır. Bu işlem cam elyaf kompozitten üretilen lama ve yamaların CNC çapakları temizlendikten sonra, saf aseton dolu bir kaptaki 20-30 dk arası bekletilerek üzerlerine yapışmış; yağ, kir ve tozdan arındırılması işlemidir. Asetonla temizlenen numuneler saf su ile durulanmıştır. Durulanıp fazla suları bir kaba aktarılan numuneler hava ile kurumaya bırakılmıştır.



Şekil 3.8. Asetonla yıkanıp su ile durulanan numunelerin kurutulması işlemi

Kurutma işlemi 2-3 saat süren numuneler, temiz, steril ve düz bir yüzeye dizilerek lama kalınlıkları ve lif açlarına göre sınıflandırılmaları yapıldı.

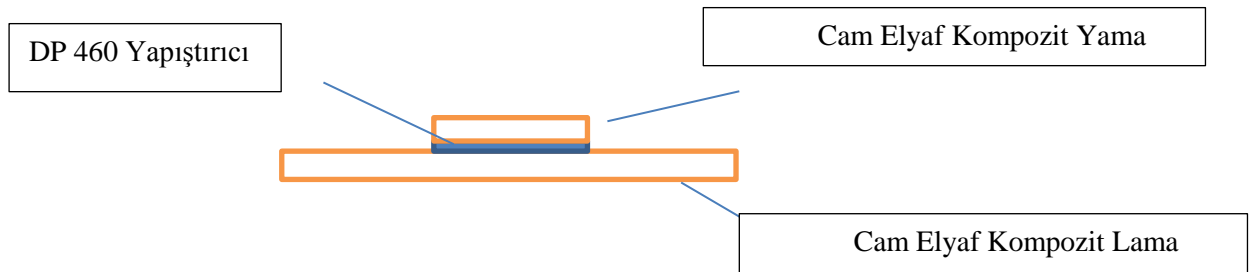
Sınıflandırılmaları yapılan numunelerin yama ile tamir edilecek olanlarına DP460 kullanılarak yamaları yapıştırılmıştır. Bu proseste, yapıştırıcı ince bir film tabakası şeklinde homojen olarak 0,15 mm kalınlıkta yama yüzeyine sürülmüş ve hafif basınç altında bir gün süreyle kürleme işlemine tabi tutulmuştur.



Şekil 3.9. Yapıştırıcı uygulanan numuneler

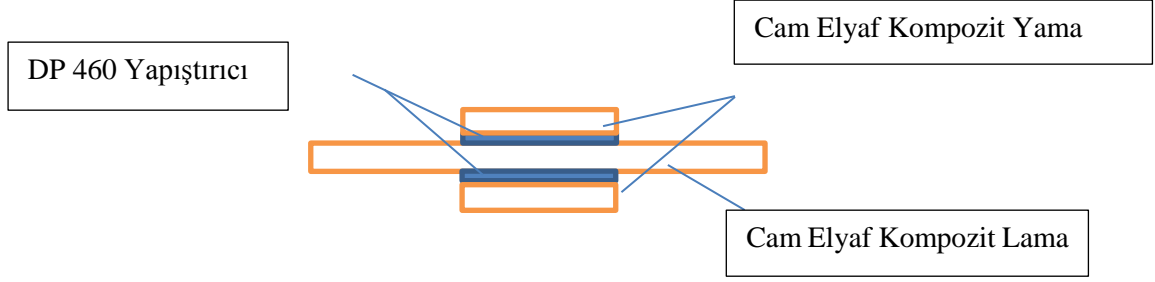
Yüzeyine yapıştırıcı sürülen yamalar lamaların tam ortasına denk gelecek biçimde merkezlenerek lama yüzeyine birleştirilmiştir. Tek bindirme için tek taraflı yapıştırıcı uygulanan yamalar, çift bindirme işlemi için iki taraflı yapıştırıcı uygulanmıştır.

DP460 yapıştırıcı malzeme kullanılarak elde edilen yamalı tek bindirme bağlantısı Şekil 3.10'da şematik olarak gösterilmiştir.



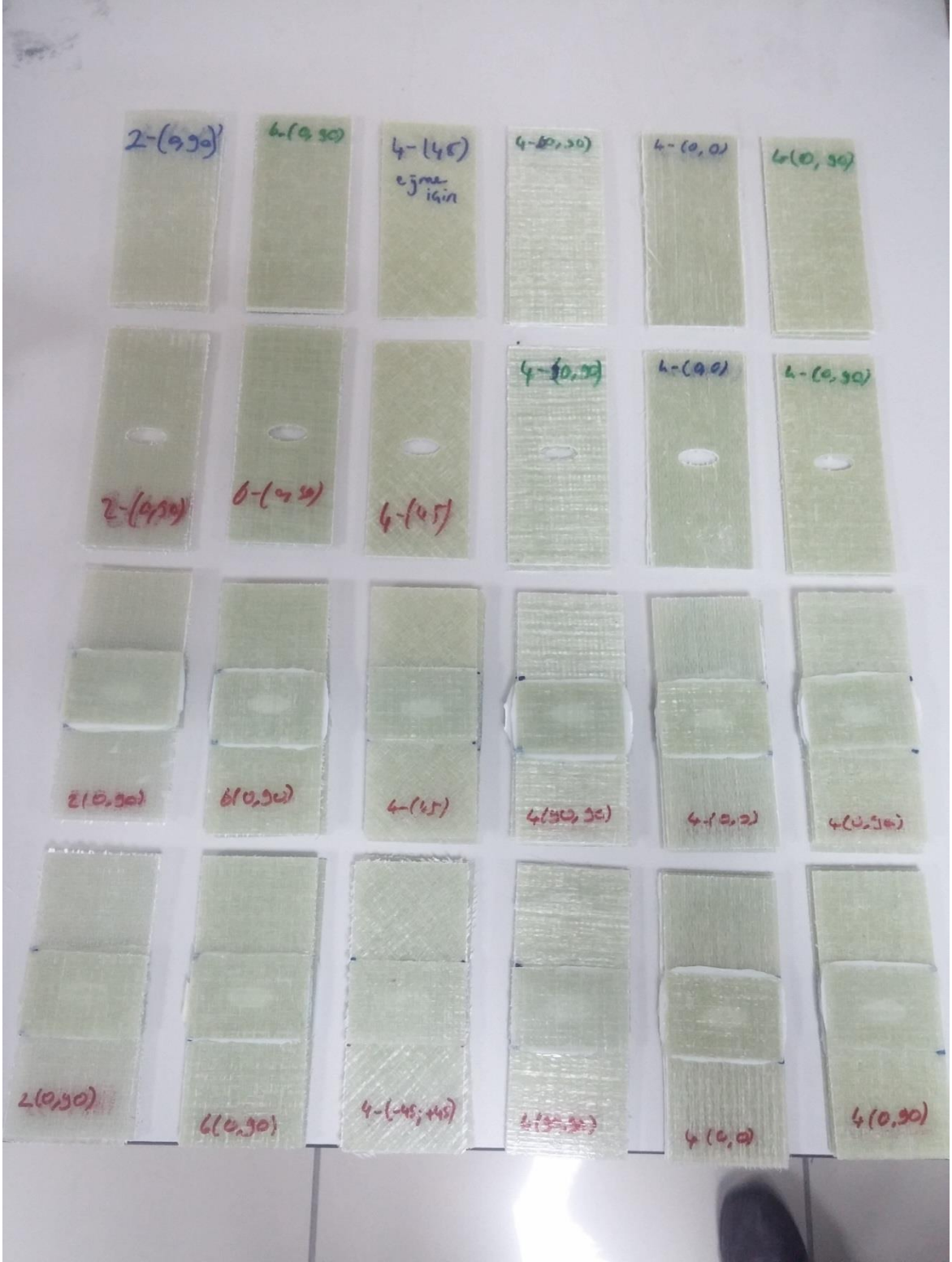
Şekil 3.10. Tek taraflı bindirme için hazırlanan deney numunelerinin şematik gösterimi.

DP460 yapıştırıcı malzeme kullanılarak elde edilen yamalı çift bindirme bağlantısı Şekil 3.11’de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Çift taraflı bindirme için hazırlanan deney numunelerinin şematik gösterimi.

Yapışmanın düzgün gerçekleşmesi ve yapıştırıcılı yüzeyin eksenden kaymaması için numuneler kısa süreli kürleşme sürecinde düz bir yüzeyde beklemeye bırakılmıştır. Kürleşme başlangıcından sonra numuneler üzerlerine basınç uygulanarak 24 saat süreli kürleşme işlemi için beklemeye alınmıştır. Kürleşme işlemi tamamlandıktan sonra numuneler üzerine uygulanan kuvvetler kaldırılarak yapışmaların gerçekleştiğini test etmek için el ile kontrol edilerek hatalı ürün olup olmadığı gözlemlenmiştir. Yapılan kontrol sonrası birleşmeler kusursuz bir şekilde tamamlanmış ve deney numunelerimiz deney için hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.12. Yapıştırma işlemi gerçekleşmiş hasarsız yamasız, hasarlı yamasız, tek bindirmeli ve çift bindirmeli numuneler

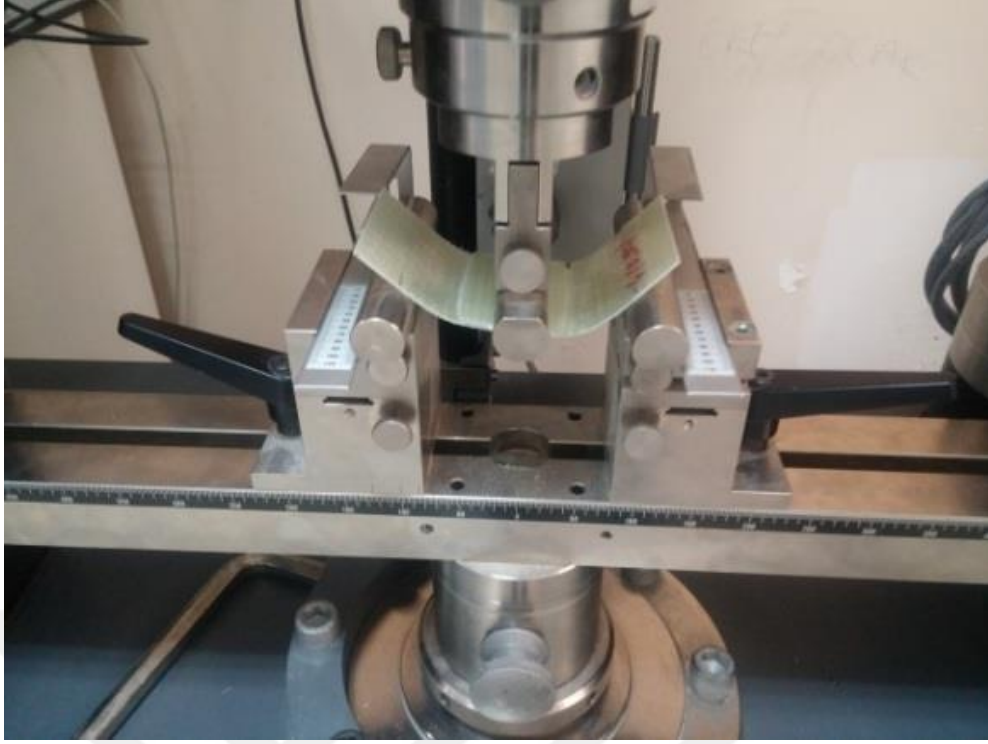
3.5. Deneysel Hasar Yüklerinin Belirlenmesi

Bütün deneyler ZWICK Z100 eğme cihazı ile bilgisayar kontrolünde, 1 mm/dk sabit eğme hızında yapılmıştır. İlk önce hasarsız yamasız numunelerin, daha sonra eliptik hasarlı yamasız numunelerin, daha sonra da eliptik hasarlı tek taraflı bindirme bağlantıları ve son olarak çift taraflı bindirme bağlantıları yamayan numunelerin eğme testleri yapılmıştır. Testler 3'er tekrarlı gerçekleştirilmiştir. Deneyler tamamlandıktan sonra numuneler iyice gözlemlenip hasar bölgeleri incelenmiş ve fotoğrafları çekilmiştir. Numunelerin taşıdıkları maksimum yükler ve hasar tipleri kaydedilmiştir. ZWICK test cihazı Şekil 3.13'de görülmektedir.



Şekil 3.13. ZWICK Z100 test cihazı

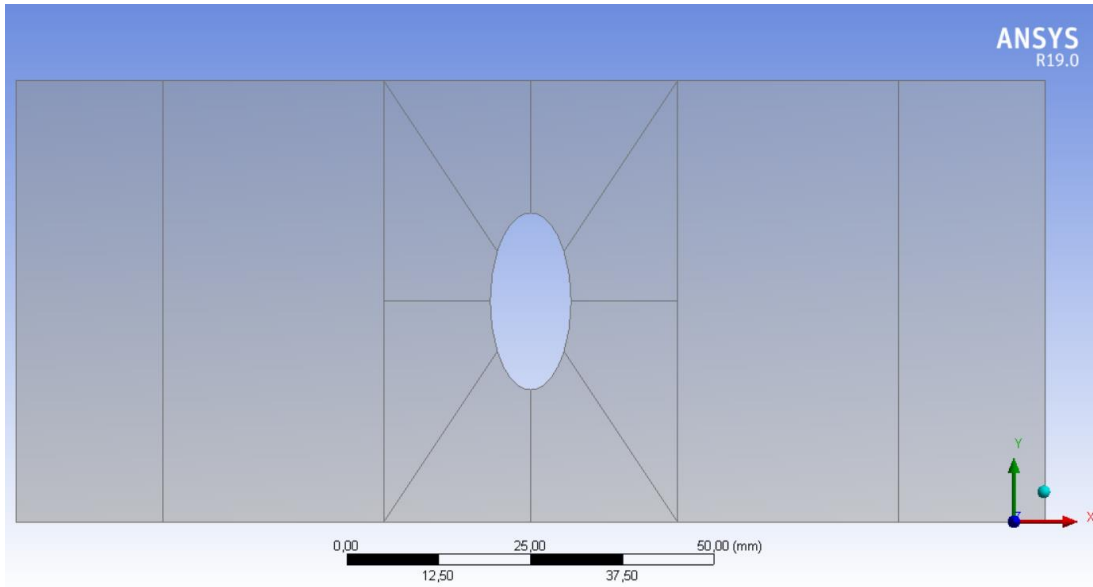
Yamalı bir numunenin, eğme yükü altında iken, yama dışı cam epoksiden kırılma anı Şekil 3.14'te verilmiştir. Her bir oryantasyon için bulunan ortalama hasar yükleri ve hasar tipleri çizelge 4.1'de verilmiştir. Deneyler tamamlandıktan sonra numuneler iyice gözlemlenip hasar bölgeleri incelenmiştir.



Şekil 3.14. Numune eğilme anı

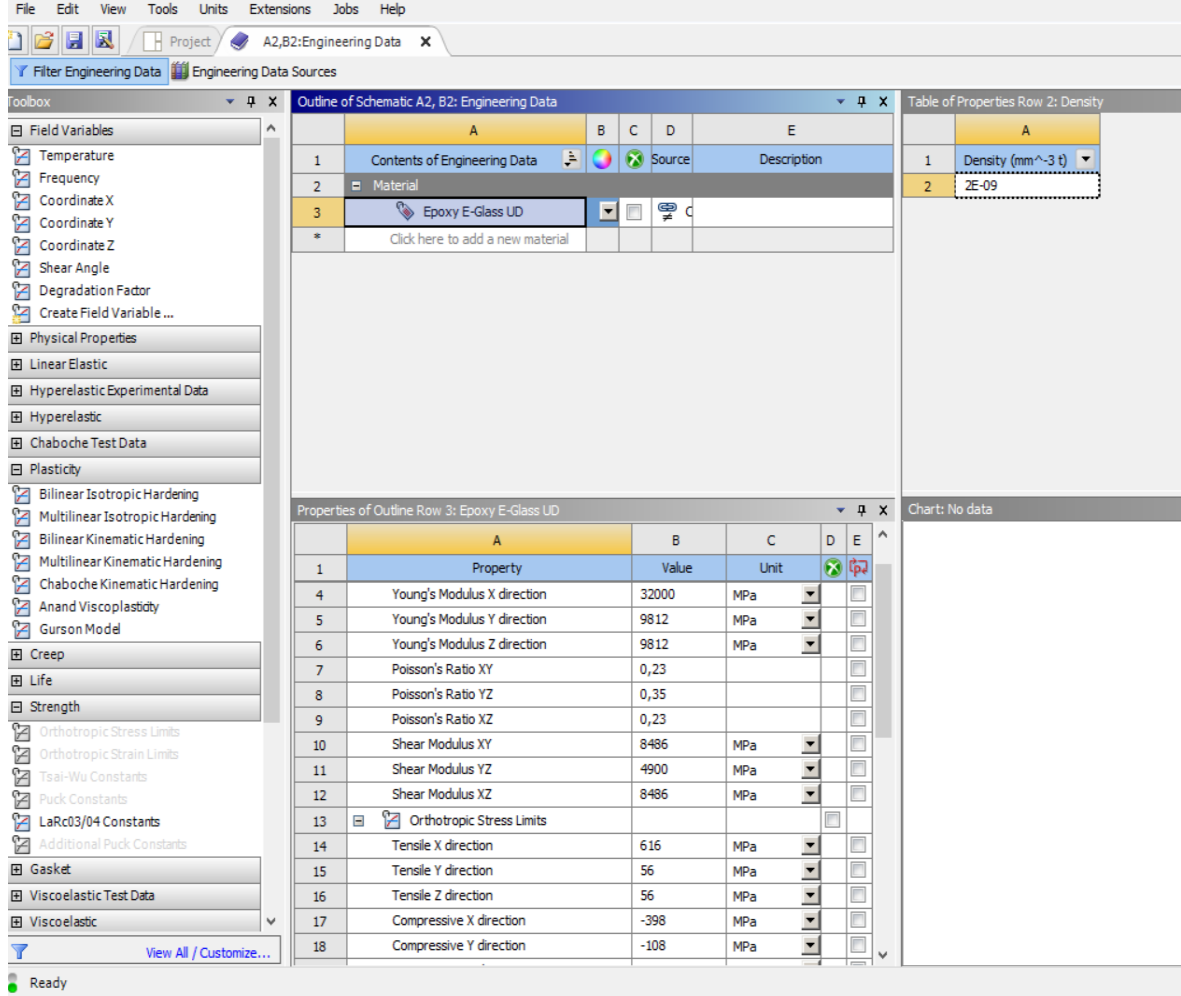
3.6. Nümerik Analiz

Deneysel testler tamamlanıp veriler kayda alındıktan sonra kıyaslama yapmak için bilgisayar tabanlı ANSYS programına geçildi. Lamaların, yamaların ve DP460 yapıştırıcı modellerinin SOLIDWORKS adlı Cad programı tarafından dizaynları yapılarak ANSYS programına aktarıldı.



Şekil 3.15. Modeli tamamlanan bir numenin ANSYS'e aktarılmış hali

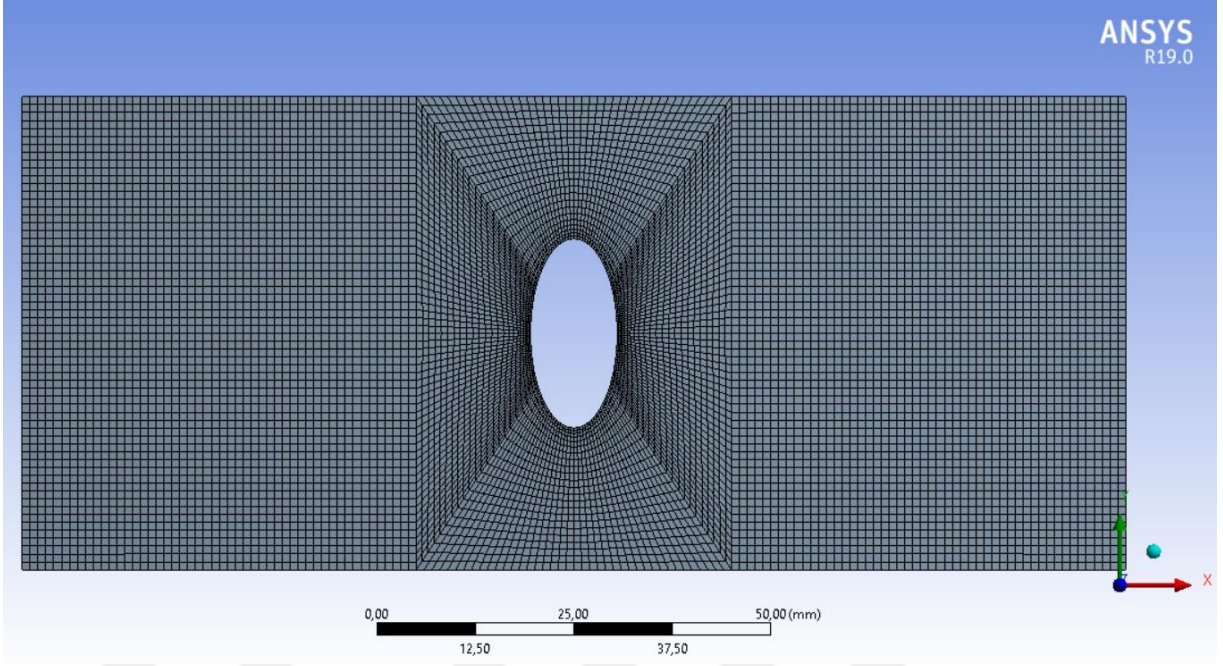
ANSYS WORKBENCH 19.0 ile tasarımları tamamlanan modellere analiz için gerekli dataları ‘engineering data’ kısmından veri kartlarına dolduruldu. Cam elyaf kompozit datalarını kemik numune test sonuçlarından elde ettiğimiz verilerden yararlanarak programa aktarıldı.



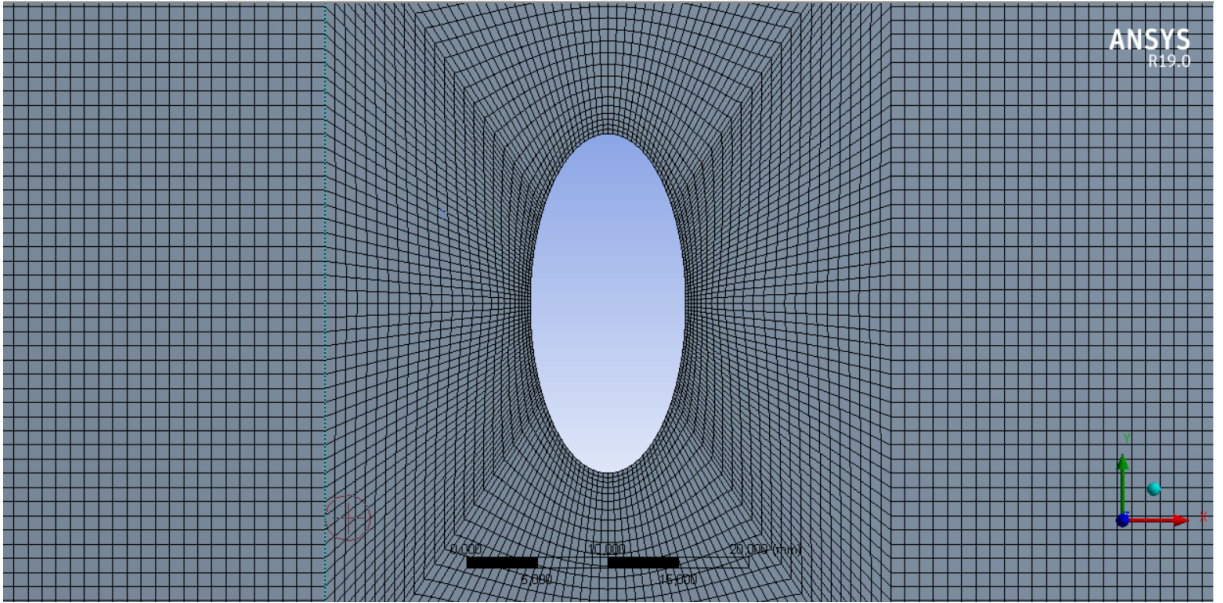
Şekil 3.16. ANSYS engineering data kısmı

Kompozit tabanlı numuneler için ANSYS WORKBENCH 'de ACP (Pre) kısmından seçilerek program akışına devam edildi. Modelleme, data kısmı tamamlanan numunelerin ‘Mesh(örgü kısmı)’ atılması kısmına geçildi. Bu işlem analizi yapılacak numunenin birden fazla düğüm noktası yardımıyla binlerce ufak parçaya bölünerek her bir ağ üzerine düşen gerilmelerin hesaplanması amaçlanmıştır. Farklı geometrilerin, farklı mesh sayıları oluşmaktadır. Eliptik deliğin olduğu kısımla yama yapışacak kısmın dışında kalan bölümlerin farklı mesh yapılarına sahip olmaları bunu göstermektedir.

Şekil 3.17’de ve şekil 3.18’de eliptik kısmın ve yama dışında kalan kısımların mesh yapıları gözlemlenmektedir.



Şekil 3.17. Mesh yapısı



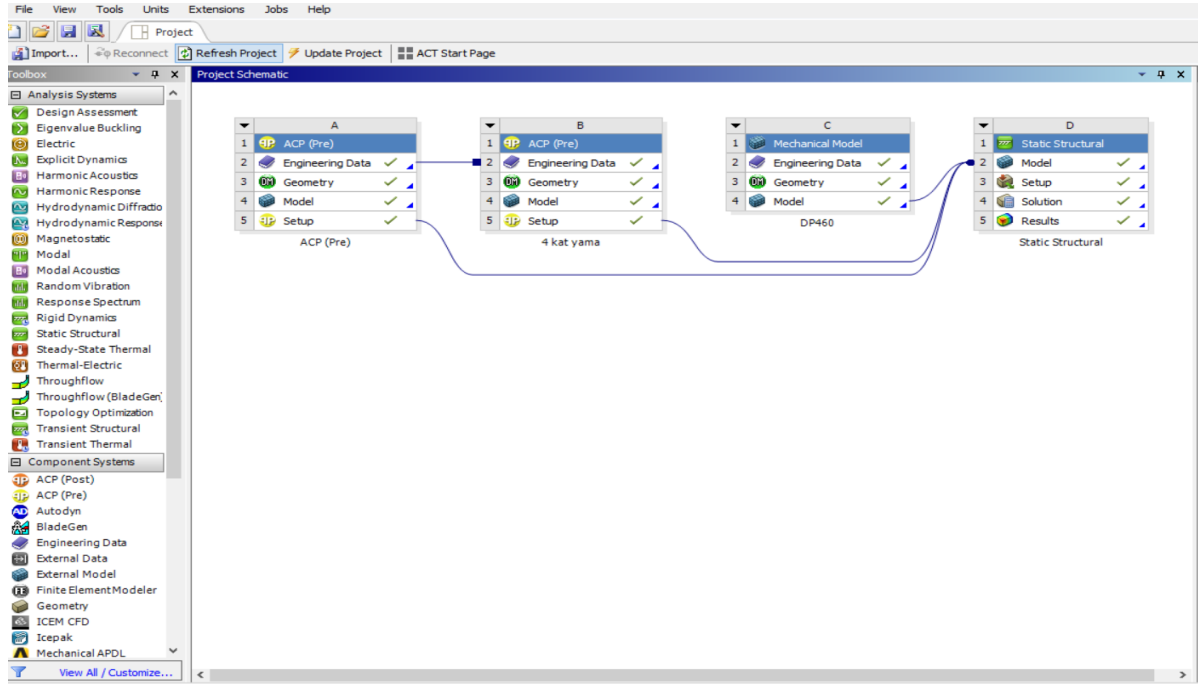
Şekil 3.18. Mesh yapısı

Şekillerde de görüldüğü gibi geometrik yapıların merkeze doğru olan kısımlarında çekirdeğe doğru bir yönelim olduğu düz kısımlarda daha homojen bir ağ-örgü yapısı olduğu gözlemlenmektedir. Lama için yapılan bu işlem sıraları aynen yama içinde modellenerek iş akışları tamamlanır.

Çizelge 3.3. Hasarsız yamasız, hasarlı yamasız, tek taraflı bindirmeli ve çift taraflı bindirme bağlantılarının mesh (ağ) yapısında kullanılan node (düğüm) ve eleman sayıları

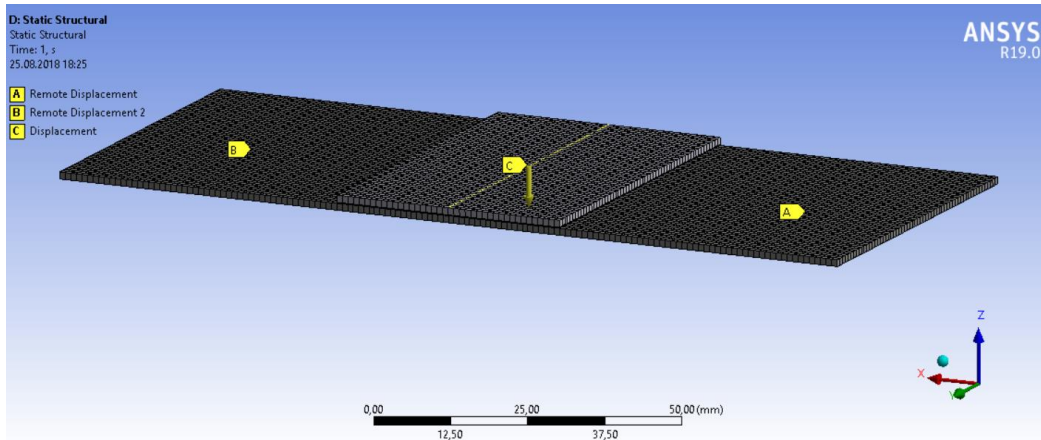
Lama Tabaka Sayısı	Lama Lif Açısı	Lama Delik Durumu	Yama Bindirme Tipi	Düğüm sayısı	Element Sayısı
2	0-90)	DELİKSİZ	YAMASIZ	8601	8400
		DELİKLİ	YAMASIZ	11100	10800
			TTB	28613	15535
			ÇTB	48163	20083
4	90-90)	DELİKSİZ	YAMASIZ	8601	8400
		DELİKLİ	YAMASIZ	11100	10800
			TTB	28613	15535
			ÇTB	48417	20335
	45-45)	DELİKSİZ	YAMASIZ	8601	8400
		DELİKLİ	YAMASIZ	11100	10800
			TTB	28613	15535
			ÇTB	48213	20131
	0-90)	DELİKSİZ	YAMASIZ	8601	8400
		DELİKLİ	YAMASIZ	10900	10600
			TTB	28613	15535
			ÇTB	48417	20335
0-0)	DELİKSİZ	YAMASIZ	8601	8400	
	DELİKLİ	YAMASIZ	11300	11000	
		TTB	28334	15259	
		ÇTB	48417	20335	
6	0-90)	DELİKSİZ	YAMASIZ	8601	8400
		DELİKLİ	YAMASIZ	11100	10800
			TTB	28613	15535
			ÇTB	48213	20131

Mesh yapısı oluşturulan numune modelleri şekil 3.19’da görülen diğer stepleri tamamlayarak en son kısım olan Analiz-Çözümleme kısmına ilerlenir.



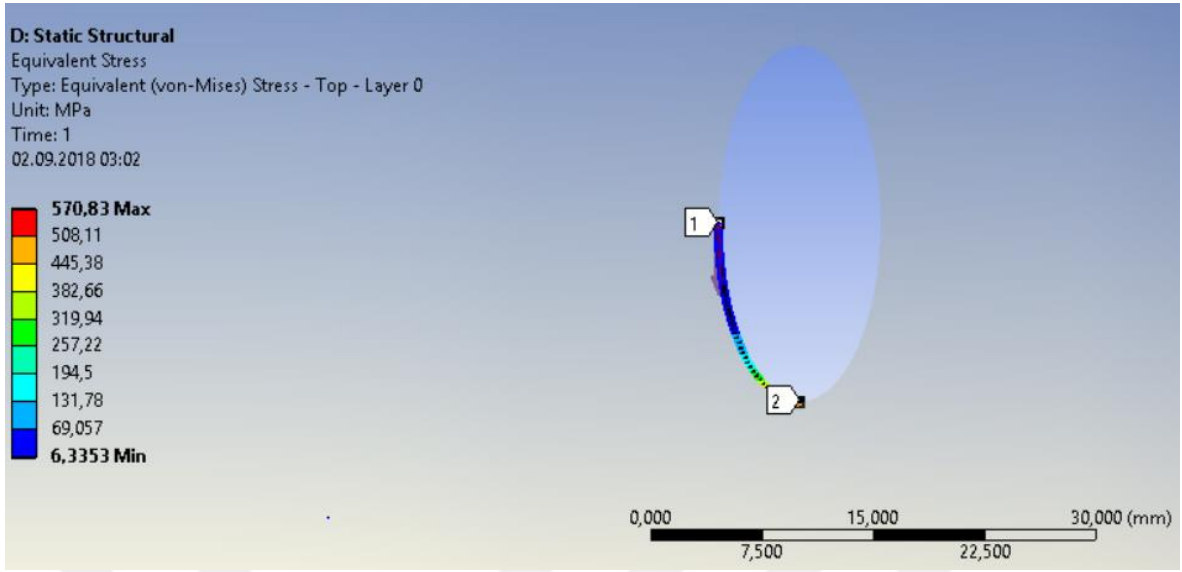
Şekil 3.19. ANSYS proje şeması

Proje akış şemasındaki stepleri tamamlanan numune modelleri son kısımda uygulanacak olan kuvvet yönlerinin belirtilmesi, mesnet noktaları, yapışma yüzelerinin gösterilmesi gibi analizi etkileyecek verilerin girilmesi gerekir. Analizlerin kontrol edileceği AB ve BC hatları cam elyaf kompozit lama üzerinde belirtilir. Girilen verilere karşın sunduğu algoritmik yakınsama metodu (iterasyon) ile program eğme deneyini simule ederek sonuca ulaşır.

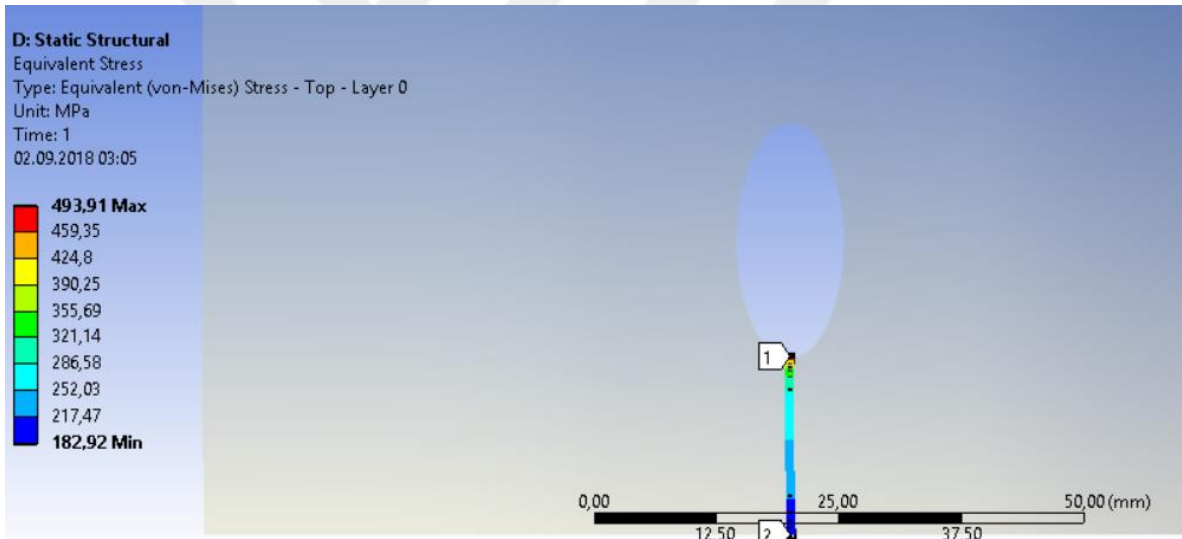


Şekil 3.20. Mesnet noktaları ve kuvvet yönünün belirlenmesi

Sonuçlar kısmında gerilme hatları olan AB ve BC hattındaki gerilmeler görülmektedir.

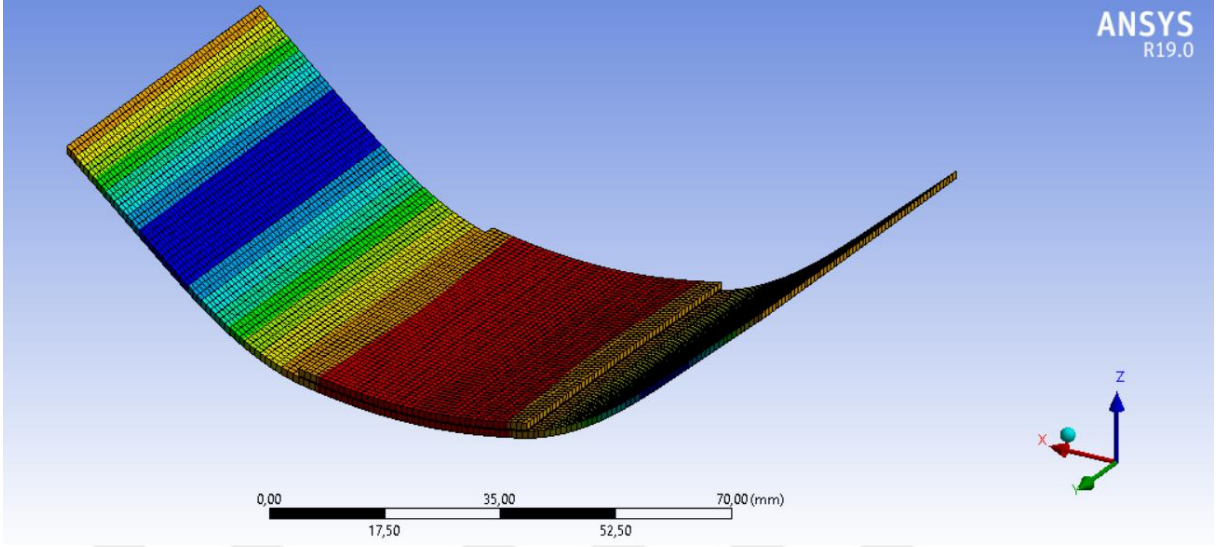


Şekil 3.21. Cam elyaf kompozit lama üzerinde oluşturulan AB hattı



Şekil 3.22. Cam elyaf kompozit lama üzerinde oluşturulan BC hattı

Sonuç kısmında ise malzeme analizinde bir mühendisin bakması gerektiği değerler grafize edilerek deneysel ve nümerik sonuçlar kıyaslanır.

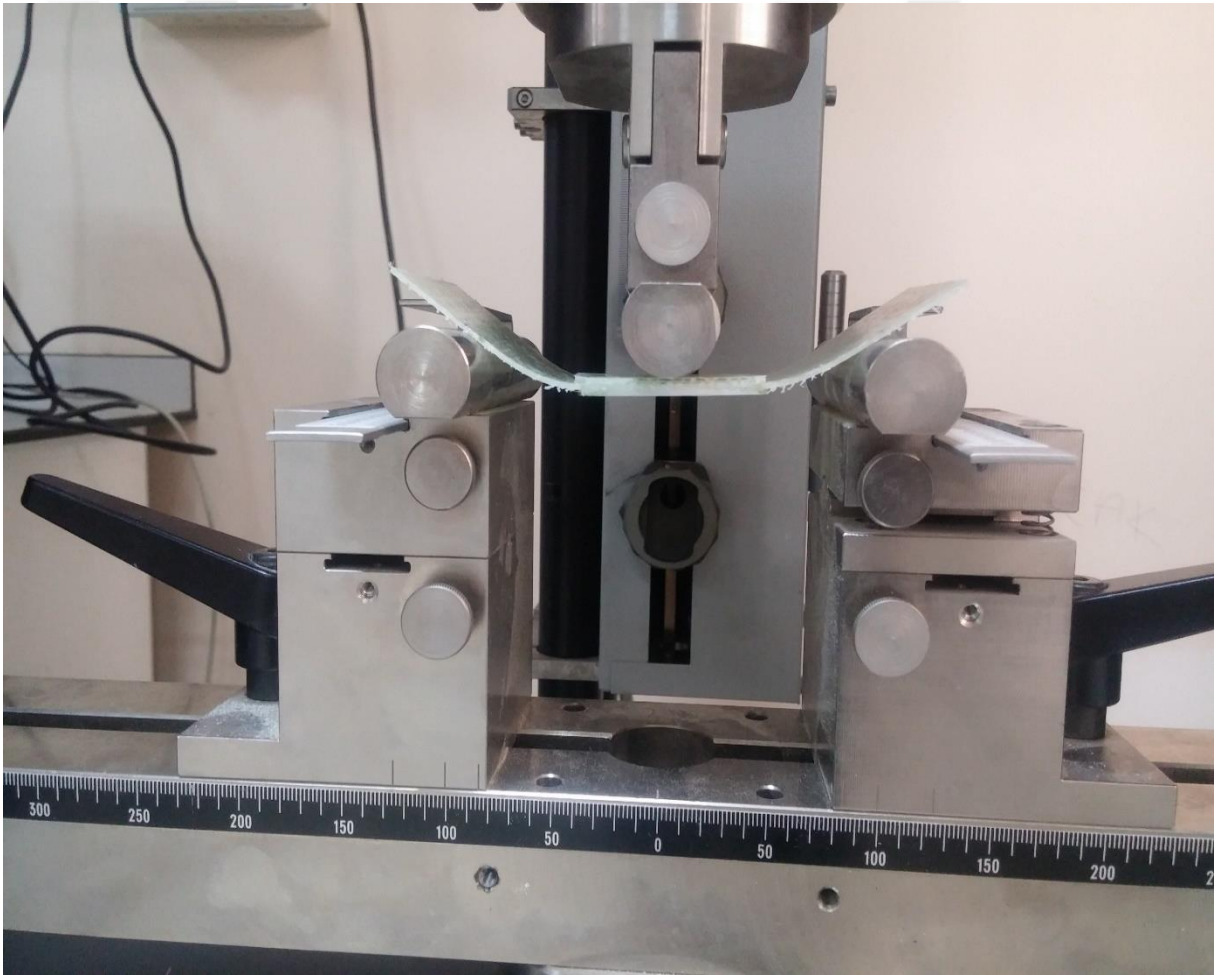


Şekil 3.23. Total deformasyon simülasyonu

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Deneysel Bulgular

Cam elyaf kompozitten üretilen, lama kalınlıkları 2 tabaka, 4 tabaka, 6 tabakalı ve farklı lif yönlerindeki malzemelere ZWICK Z100 eğme cihazında 3 nokta eğme deneyi uygulanmıştır. Denede hasarsız numuneler, hasarlı yamasız numuneler, hasarlı tek bindirmeli ve hasarlı çift bindirmeli numuneler 1 mm/dk sabit eğme hızında 3 nokta eğme testine tabi tutuldu ve sonuçları gözlemlendi. Bu gözlemler her bir deney numunesi için 3'er kez tekrar edildi. Bu 3 deneyin ortalaması sonucunda numunelerin maksimum yük değerleri ve bu yük altında oluşan hasar tipleri belirlendi.



Şekil 4.1. Üç nokta eğme cihazında çift bindirmeli numunenin yük altındaki davranışı

Çizelge 4.1. Deneysel ve nümerik sonuçlar

Lama Tabaka Sayısı	Lama Lif Açısı	Lama Delik Durumu	Yama Bindirme Tipi	DHY(N)	NHY(N)	NHY/DHY	HASAR TİPİ
2	(0-90)	DELİKSİZ	YAMASIZ	20,60	20,73	1,006	LME
			YAMASIZ	14,20	14,11	0,994	LMK
		DELİKLİ	TTB	53,20	58,26	1,095	YSK
			ÇTB	70,00	67,90	0,970	YSE
4	(90-90)	DELİKSİZ	YAMASIZ	64,80	70,00	1,080	LMK
			YAMASIZ	39,00	34,05	0,873	LMK
		DELİKLİ	TTB	126,00	130,03	1,032	YSK
			ÇTB	131,00	127,58	0,974	YSK
	(45-45)	DELİKSİZ	YAMASIZ	91,00	100,55	1,105	LME
			YAMASIZ	77,10	83,08	1,078	LME
		DELİKLİ	TTB	251,00	286,00	1,139	YSE
			ÇTB	372,00	377,44	1,015	YSE
	(0-90)	DELİKSİZ	YAMASIZ	138,00	135,30	0,980	LME
			YAMASIZ	126,00	132,66	1,053	LME
		DELİKLİ	TTB	433,00	411,00	0,949	YSK
			ÇTB	453,00	396,44	0,875	YSE
	(0-0)	DELİKSİZ	YAMASIZ	302,00	335,90	1,112	LME
			YAMASIZ	250,00	259,00	1,036	LMK
		DELİKLİ	TTB	670,00	580,00	0,866	YSE
			ÇTB	822,00	761,46	0,926	YSK
6	(0-90)	DELİKSİZ	YAMASIZ	561,00	518,00	0,923	LMK
			YAMASIZ	370,00	342,63	0,926	LMK
		DELİKLİ	TTB	1080,00	1038,00	0,961	YSK
			ÇTB	1220,00	1079,60	0,885	YSK

TTB: Tek taraflı bindirme

ÇTB: Çift taraflı bindirme

LME: Lama merkezine üstten etkiyen kuvvetin uygulama bölgesi boyunca merkezden eğilme

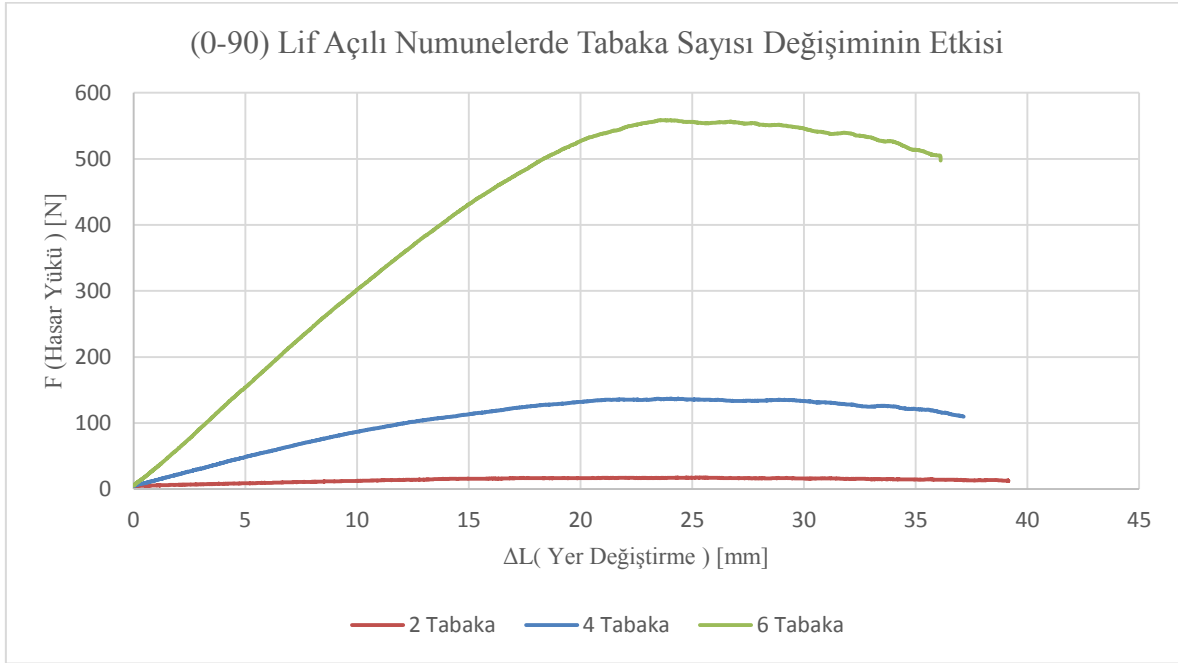
LMK: Lama merkezinde üstten etkiyen kuvvetin uygulama bölgesi boyunca merkezden kırılma

YSE: Yama bitim sınırından eğilme

YSK: Yama bitim sınırından kırılma

4.1.1. Hasarsız yamasız numunelerin hasar yükü grafikleri

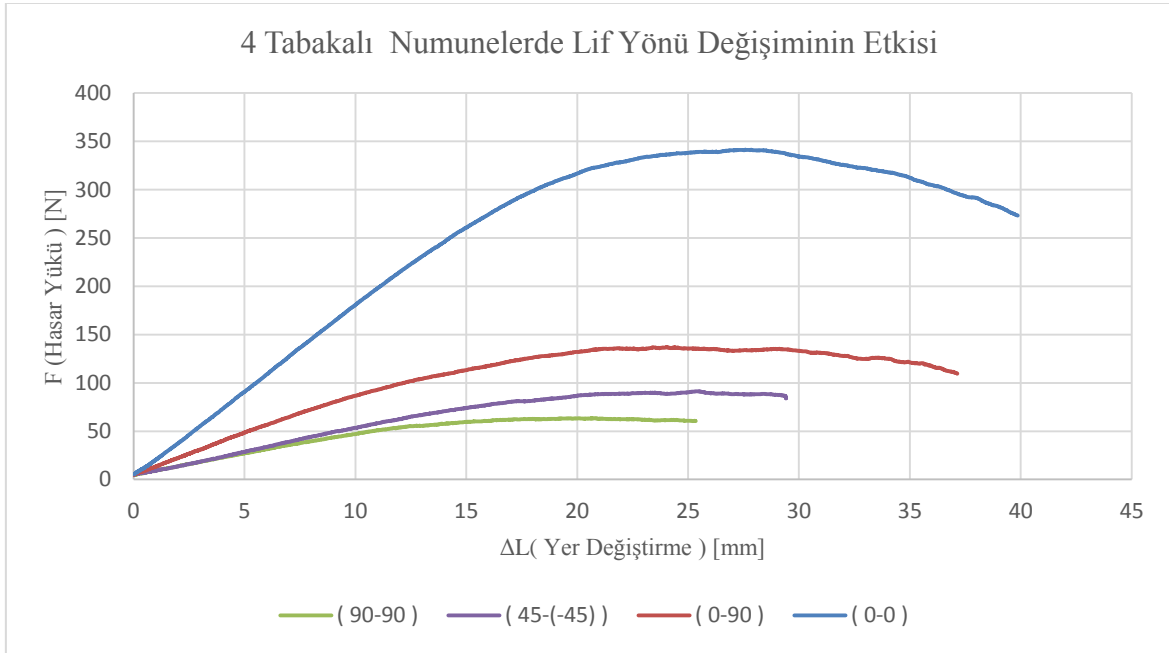
4.1.1.1. Hasarsız yamasız numunelerde tabaka sayısı değişiminin hasar yüküne etkisi



Şekil 4.2. Hasarsız yamasız (0-90) lif açılı numunelerde tabaka sayısı değişiminin etkisi

Yapılan deneyler sonucunda; grafikten de görüldüğü gibi tabaka sayısı arttıkça hasarsız yamasız numuneler üzerindeki hasar yükü artmaktadır. Bunun sebebi ise 6 tabakalı kompozitlerin 4 tabaka ve 2 tabakalı numunelere oranla daha yüksek rijitlik ve mukavemet göstermesinden kaynaklanmaktadır. Grafik değerlerine bakıldığında maksimum hasar yükünün 550 N olduğu gözlemlenmiştir.

4.1.1.2. Hasarsız yamasız numunelerde lif yönü değişiminin hasar yüküne etkisi

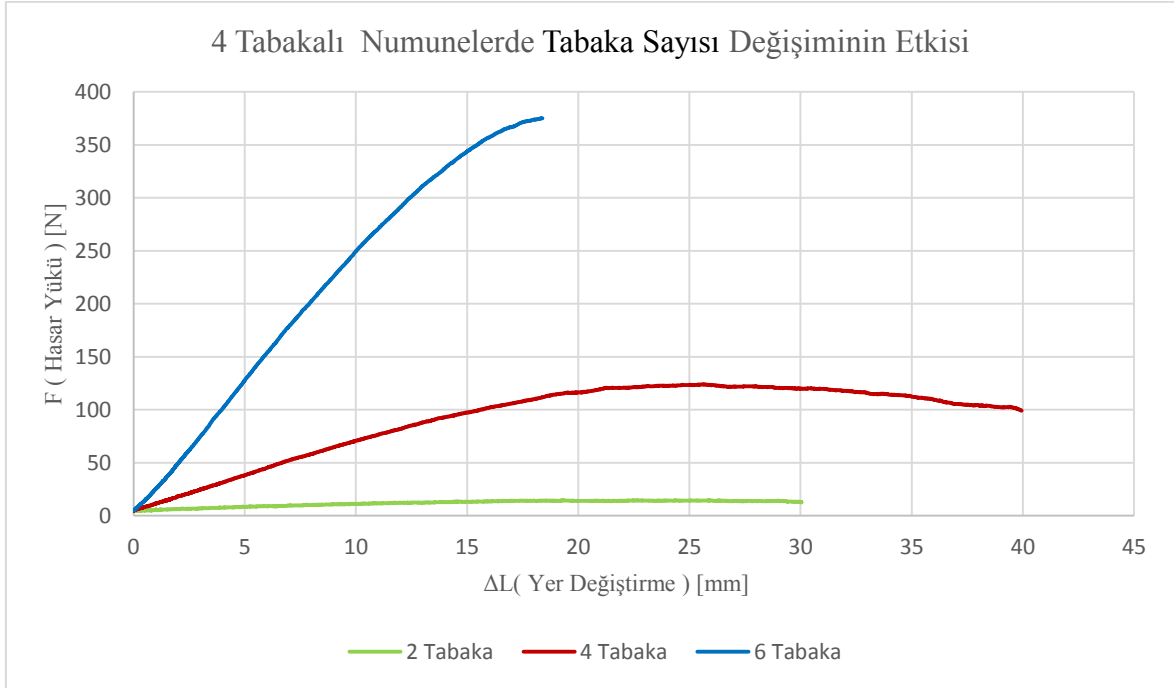


Şekil 4.3. Hasarsız yamasız 4 tabakalı numunelerde lif yönü değişiminin etkisi

Yapılan deneyler sonucunda; grafikten de görüldüğü gibi lif yönü değişiminin hasarsız yamasız numuneler üzerindeki hasar yükü değişkenlik göstermektedir. Bu değişim lama lif yönlerinin kuvvetin uygulanış doğrultularına aldığı pozisyona göredir. “x” yönü lamanın uzunluğu doğrultusunda, “y” yönü lamanın genişliği doğrultusunda ve “z” yönü de lamanın kalınlığı doğrultusundadır. Lama lif yönü açıları “x” eksenine ile yaptıkları açılarıdır. Dolayısıyla (0-0) lif yönlü levhalarda lifler “x” eksenine yani lama uzunluğu doğrultusunda uzanmakta, (90-90) lif yönlü levhalarda lifler “y” eksenine yani lama genişliği doğrultusunda uzanmaktadır. (0-90) lifler her iki doğrultuda ve (45-(-45)) lifler x eksenine 45 derece açılı ve birbirine dik olarak uzanmaktadır. Eğme kuvveti ise “y” yönünde yani genişliği doğrultusunda bir hat boyunca uygulanmaktadır. Bu eğme kuvvetine en fazla direnç bu doğrultuya dik yani uzunlamasına “x” yönünde uzanan liflerin bulunduğu (0-0) yönlü levhalarda oluşmaktadır. Çünkü bu doğrultudaki lifler uygulanan eğme kuvvetine maksimum rijitlik ve mukavemet göstermektedir. En az direnç ise (90-90) yönlü levhalarda oluşmakta, daha sonra sırasıyla (45-(-45)), (0-90) ve (0-0) yönlü levhalarda oluşmaktadır. (0-0) lif yönlü levhalarda maksimum kuvvet değeri 340 N, (0-90) lif yönlü levhalarda minimum kuvvet 52 N olarak görülmektedir.

4.1.2. Hasarlı yamasız numunelerin hasar yükü grafikleri

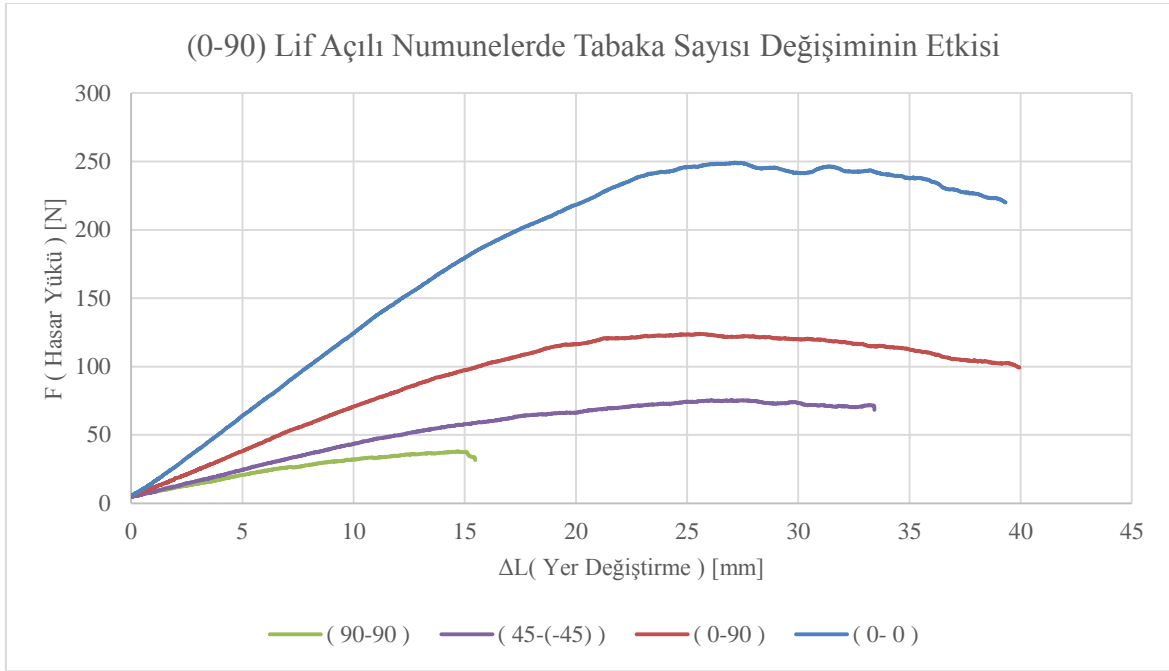
4.1.2.1. Hasarlı yamasız numunelerde tabaka sayısı değişiminin hasar yüküne etkisi



Şekil 4.4. Hasarlı yamasız (0-90) lif açılı numunelerde tabaka sayısı değişiminin etkisi

Yapılan deneyler sonucunda; grafikten de görüldüğü gibi tabaka sayısı arttıkça hasarsız yamasız numuneler üzerindeki Hasar yükü artmaktadır. Bunun sebebi ise 6 tabakalı kompozitlerin 4 tabaka ve 2 tabakalı numunelere oranla daha yüksek rijitlik ve mukavemet göstermesinden kaynaklanmaktadır. Grafik değerlerine bakıldığında maksimum hasar yükünün 375 N dolaylarında gözlemlenmiştir.

4.1.2.2. Hasarlı yamasız numunelerde lif yönü değişiminin hasar yüküne etkisi

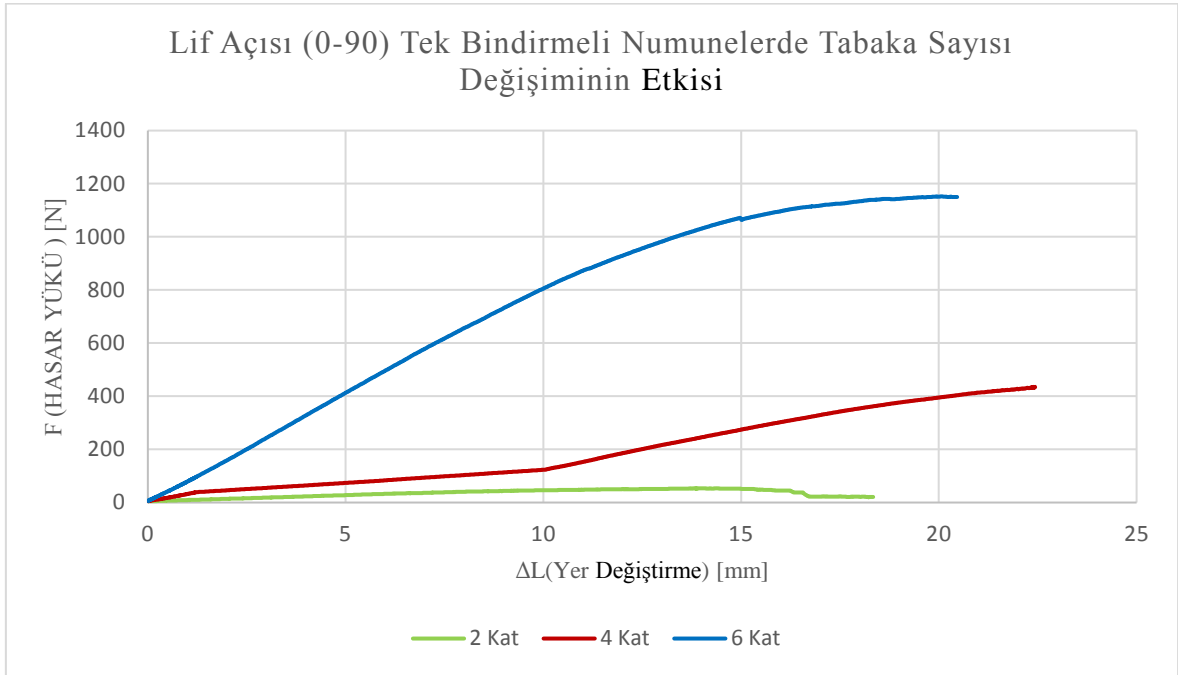


Şekil 4.5. Hasarlı yamasız 4 Tabakalı numunelerde lif yönü değişiminin etkisi

Yapılan deneyler sonucunda; grafikten de görüldüğü gibi lif yönü değişiminin hasarsız yamasız numuneler üzerindeki hasar yükü değişkenlik göstermektedir. Bu değişim lama lif yönlerinin kuvvetin uygulanış doğrultularına aldığı pozisyona göredir. “x” yönü lamanın uzunluğu doğrultusunda, “y” yönü lamanın genişliği doğrultusunda ve “z” yönü de lamanın kalınlığı doğrultusundadır. Lama lif yönü açıları “x” eksenine ile yaptıkları açılarıdır. Dolayısıyla (0-0) lif yönlü levhalarda lifler “x” eksenine yani lama uzunluğu doğrultusunda uzanmakta, (90-90) lif yönlü levhalarda lifler “y” eksenine yani lama genişliği doğrultusunda uzanmaktadır. (0-90) lifler her iki doğrultuda ve (45-(-45)) lifler x eksenine 45 derece açılı ve birbirine dik olarak uzanmaktadır. Eğme kuvveti ise “y” yönünde yani genişliği doğrultusunda bir hat boyunca uygulanmaktadır. Bu eğme kuvvetine en fazla direnç bu doğrultuya dik yani uzunlamasına “x” yönünde uzanan liflerin bulunduğu (0-0) yönlü levhalarda oluşmaktadır. Çünkü bu doğrultudaki lifler uygulanan eğme kuvvetine maksimum rijitlik ve mukavemet göstermektedir. En az direnç ise (90-90) yönlü levhalarda oluşmakta, daha sonra sırasıyla (45-(-45)), (0-90) ve (0-0) yönlü levhalarda oluşmaktadır. (0-0) lif yönlü levhalarda maksimum kuvvet değeri 250 N, (0-90) lif yönlü levhalarda minimum kuvvet 35 N dolaylarında görülmektedir.

4.1.3. Hasarlı tek bindirmeli numunelerin hasar yükü grafikleri

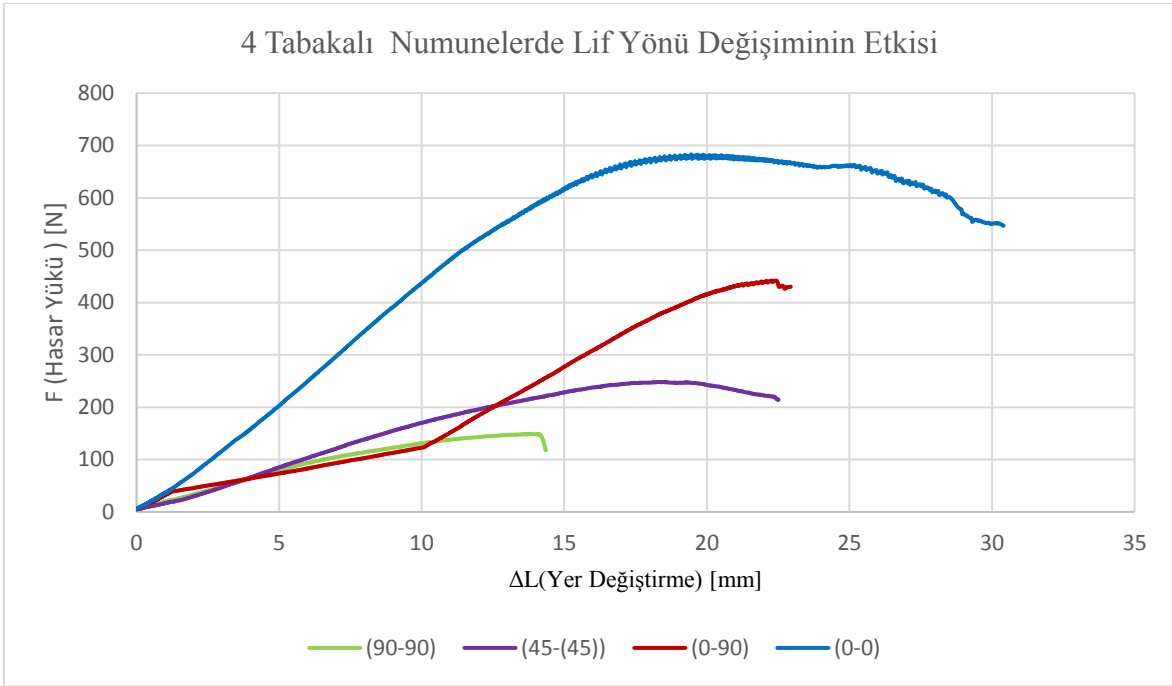
4.1.3.1. Hasarlı tek bindirmeli numunelerde tabaka sayısı değişiminin hasar yüküne etkisi



Şekil 4.6. Hasarlı tek bindirmeli (0-90) lif açılı numunelerde tabaka sayısı değişiminin etkisi

Yapılan deneyler sonucunda; grafikten de görüldüğü gibi tabaka sayısı arttıkça hasarlı tek bindirmeli numuneler üzerindeki Hasar yükü artmaktadır. Bunun sebebi ise 6 tabakalı kompozitlerin 4 tabaka ve 2 tabakalı numunelere oranla daha yüksek rijitlik ve mukavemet göstermesinden kaynaklanmaktadır. Grafik değerlerine bakıldığında maksimum hasar yükünün 1170 N olduğu gözlemlenmiştir.

4.1.3.2. Hasarlı tek bindirmeli numunelerde lif yönü değişiminin hasar yüküne etkisi

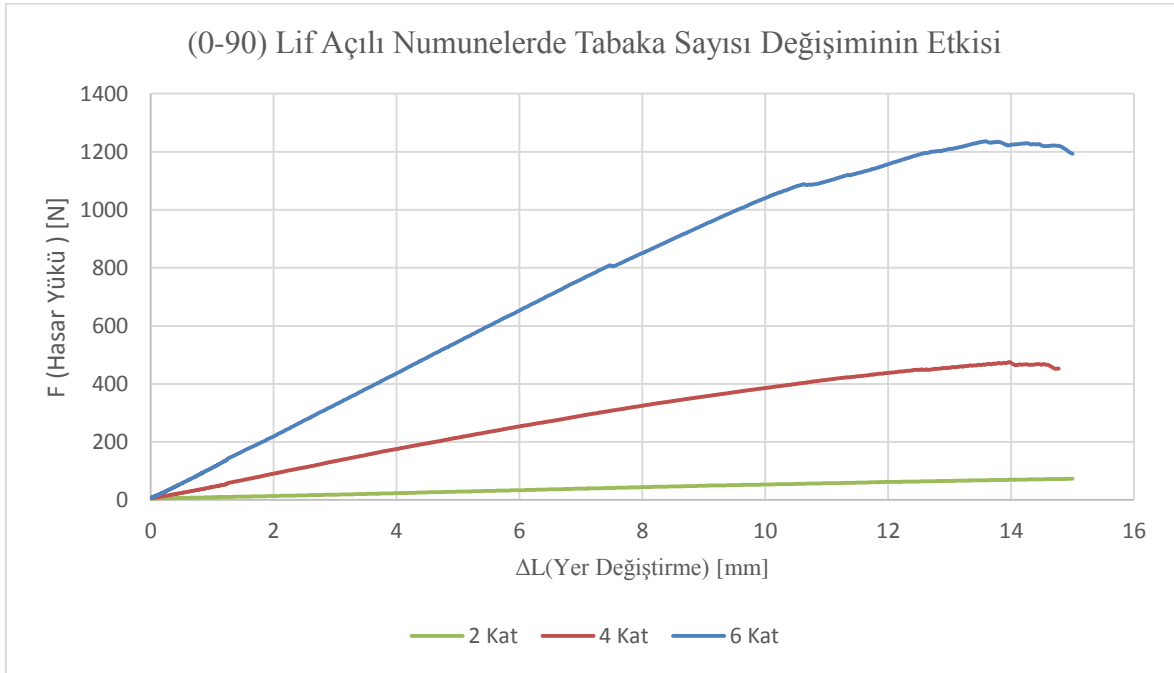


Şekil 4.7. Hasarlı tek bindirmeli 4 tabakalı numunelerde lif yönü değişiminin etkisi

Yapılan deneyler sonucunda; grafikten de görüldüğü gibi lif yönü değişiminin hasarsız yamasız numuneler üzerindeki hasar yükü değişkenlik göstermektedir. Bu değişim lama lif yönlerinin kuvvetin uygulanış doğrultularına aldığı pozisyona göredir. “x” yönü lamanın uzunluğu doğrultusunda, “y” yönü lamanın genişliği doğrultusunda ve “z” yönü de lamanın kalınlığı doğrultusundadır. Lama lif yönü açıları “x” eksenini ile yaptıkları açılarıdır. Dolayısıyla (0-0) lif yönlü levhalarda lifler “x” eksenini yani lama uzunluğu doğrultusunda uzanmakta, (90-90) lif yönlü levhalarda lifler “y” eksenini yani lama genişliği doğrultusunda uzanmaktadır. (0-90) lifler her iki doğrultuda ve (45-(-45)) lifler x eksenine 45 derece açılı ve birbirine dik olarak uzanmaktadır. Eğme kuvveti ise “y” yönünde yani genişliği doğrultusunda bir hat boyunca uygulanmaktadır. Bu eğme kuvvetine en fazla direnç bu doğrultuya dik yani uzunlamasına “x” yönünde uzanan liflerin bulunduğu (0-0) yönlü levhalarda oluşmaktadır. Çünkü bu doğrultudaki lifler uygulanan eğme kuvvetine maksimum rijitlik ve mukavemet göstermektedir. En az direnç ise (90-90) yönlü levhalarda oluşmakta, daha sonra sırasıyla (45-(-45)), (0-90) ve (0-0) yönlü levhalarda oluşmaktadır. (0-0) lif yönlü levhalarda maksimum kuvvet değeri 680 N, (0-90) lif yönlü levhalarda minimum kuvvet 52 N dolaylarında görülmektedir.

4.1.4. Hasarlı çift bindirmeli numunelerin hasar yükü grafikleri

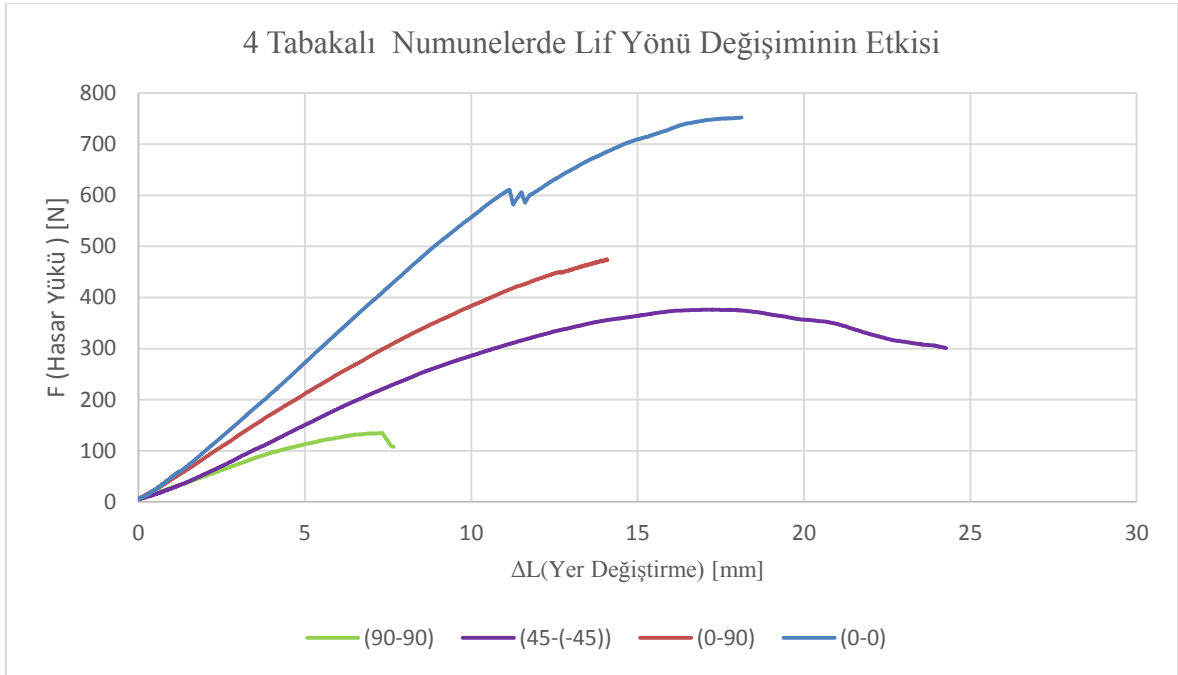
4.1.4.1. Hasarlı çift bindirmeli numunelerde tabaka sayısı değişiminin hasar yüküne etkisi



Şekil 4.8. Hasarlı çift bindirmeli (0-90) lif açılı numunelerde tabaka sayısı değişiminin etkisi

Yapılan deneyler sonucunda; grafikten de görüldüğü gibi tabaka sayısı arttıkça hasarlı çift bindirme uygulanan numuneler üzerindeki Hasar yükü artmaktadır. Bunun sebebi ise 6 tabakalı kompozitlerin 4 tabaka ve 2 tabakalı numunelere oranla daha yüksek rijitlik ve mukavemet göstermesinden kaynaklanmaktadır. Grafik değerlerine bakıldığında maksimum hasar yükünün 1220 N olduğu gözlemlenmiştir.

4.1.4.2. Hasarlı çift bindirmeli numunelerde lif yönü değişiminin hasar yüküne etkisi

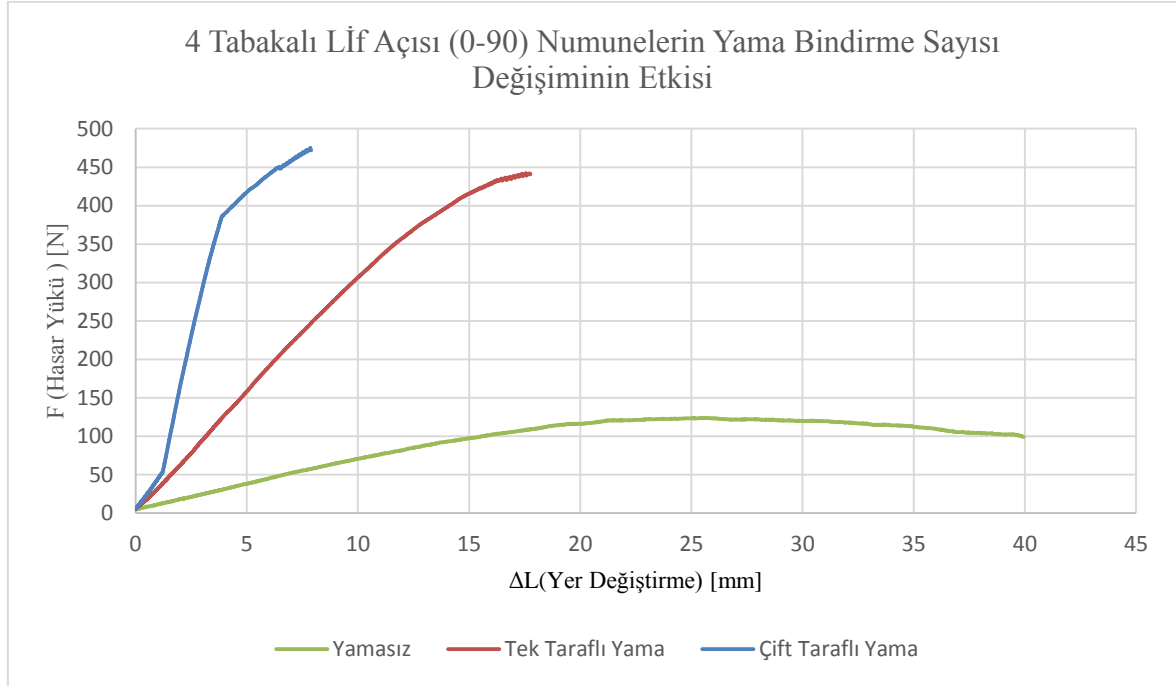


Şekil 4.9. Hasarlı çift bindirmeli 4 tabakalı numunelerde lif yönü değişiminin etkisi

Yapılan deneyler sonucunda; grafikten de görüldüğü gibi lif yönü değişiminin hasarsız yamasız numuneler üzerindeki hasar yükü değişkenlik göstermektedir. Bu değişim lama lif yönlerinin kuvvetin uygulanış doğrultularına aldığı pozisyona göre değişir. “x” yönü lamanın uzunluğu doğrultusunda, “y” yönü lamanın genişliği doğrultusunda ve “z” yönü de lamanın kalınlığı doğrultusundadır. Lama lif yönü açıları “x” eksenine göre yapılır. Dolayısıyla (0-0) lif yönlü levhalarda lifler “x” eksenine yani lama uzunluğu doğrultusunda uzanmakta, (90-90) lif yönlü levhalarda lifler “y” eksenine yani lama genişliği doğrultusunda uzanmaktadır. (0-90) lifler her iki doğrultuda ve (45-(-45)) lifler x eksenine 45 derece açılı ve birbirine dik olarak uzanmaktadır. Eğme kuvveti ise “y” yönünde yani genişliği doğrultusunda bir hat boyunca uygulanmaktadır. Bu eğme kuvvetine en fazla direnç bu doğrultuya dik yani uzunlamasına “x” yönünde uzanan liflerin bulunduğu (0-0) yönlü levhalarda oluşmaktadır. Çünkü bu doğrultudaki lifler uygulanan eğme kuvvetine maksimum rijitlik ve mukavemet göstermektedir. En az direnç ise (90-90) yönlü levhalarda oluşmakta, daha sonra sırasıyla (45-(-45)), (0-90) ve (0-0) yönlü levhalarda oluşmaktadır. (0-0) lif yönlü levhalarda maksimum kuvvet değeri 750 N, (0-90) lif yönlü levhalarda minimum kuvvet 130 N dolaylarında görülmektedir.

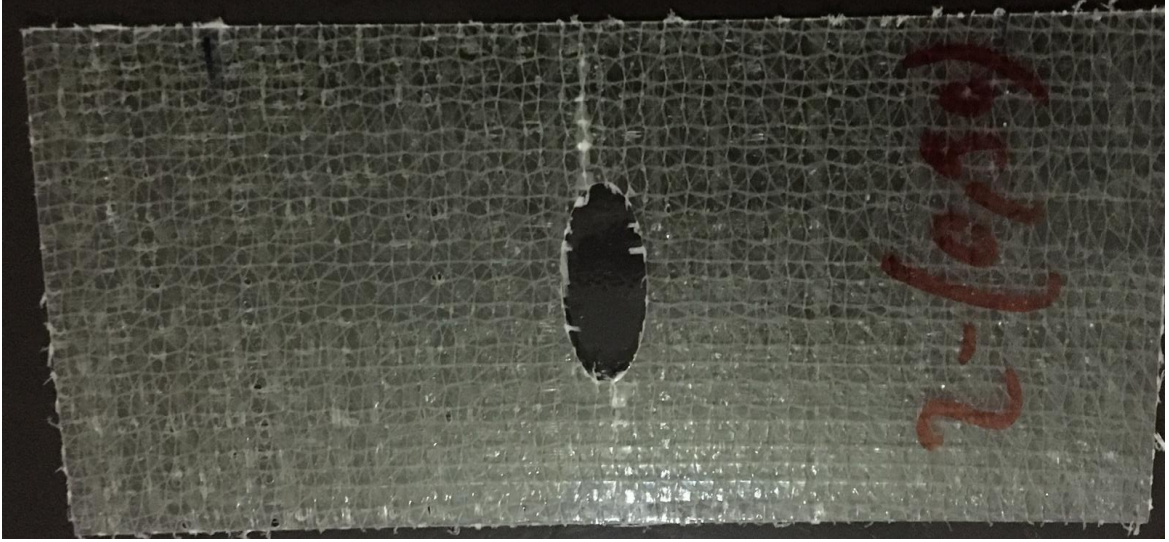
4.1.5. Hasarlı yamasız ve yamalı numunelerin hasar yükü grafiği

4.1.5.1. Hasarlı yamasız ve yamalı numunelerde bindirme sayısı değişiminin etkisi



Şekil 4.10. Hasarlı 4 tabakalı (0-90) lif açılı numunelerin yama bindirme sayısı değişiminin etkisi

Yapılan deneyler sonucunda; grafikten de görüldüğü gibi hasarlı yüzeye yama uygulanan tek bindirme ve çift bindirmeli numunelerin hasarlı yamasız numunelere göre uygulanan hasar yükündeki artışlar belirgin olarak görülmektedir. Yamalı bindirmeli numuneler arasında ise çift bindirmeli numunelerin tek bindirmeli numunelere göre daha yüksek mukavemet sonuçları elde ettiği gözlemlenmektedir. Bindirme sayısındaki artışın hasar yüküne olumlu davranmasının sebebi, hasarlı bölgeye uygulanan kuvvete karşı Z eksenindeki lif sayısındaki artıştan kaynaklanmaktadır. maksimum hasar yükü çift bindirmeli numunede 470 N dolaylarında elde edilmiştir.



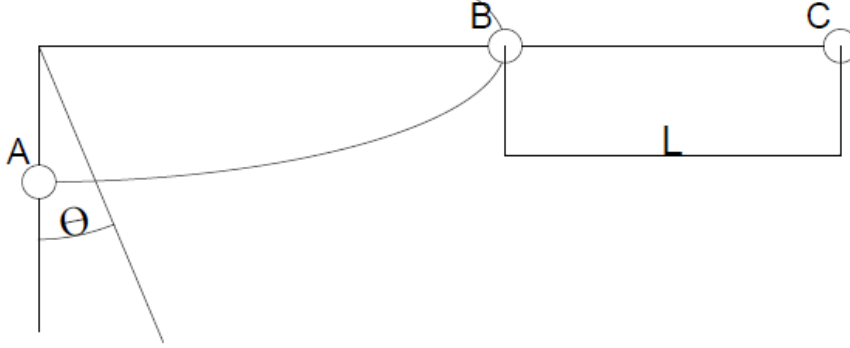
Şekil 4.11. Yamasız hasarlı 2 tabaka (0,90) numunenin deney sonrası hasar tipi (delik merkezinden)



Şekil 4.12. Tek taraflı bindirme uygulanan 4 tabaka (0,0) numunenin deney sonrası hasar tipi (yama yanından)

4.2. Numerik Bulgular

Numerik analizlerde cam elyaf kompozit lamannın üzerinde belirlenen kritik hatlar Şekil 4.13’ de belirtilmiştir.



Şekil 4.13. AB ve BC hatları

AB hattı cam elyaf kompozit üzerinde oluşturulan 24-11 mm ölçülerindeki eliptik delikli hasar tipinin $\frac{1}{4}$ ‘lük eŐit dilimlerinden birini gostermektedir. Bu hatta oluşacak gerilme analizleri, kuvvetin uygulandığı sfire iÇerisinde ki değişen θ aÇısı boyunca gızlemlenecektir.

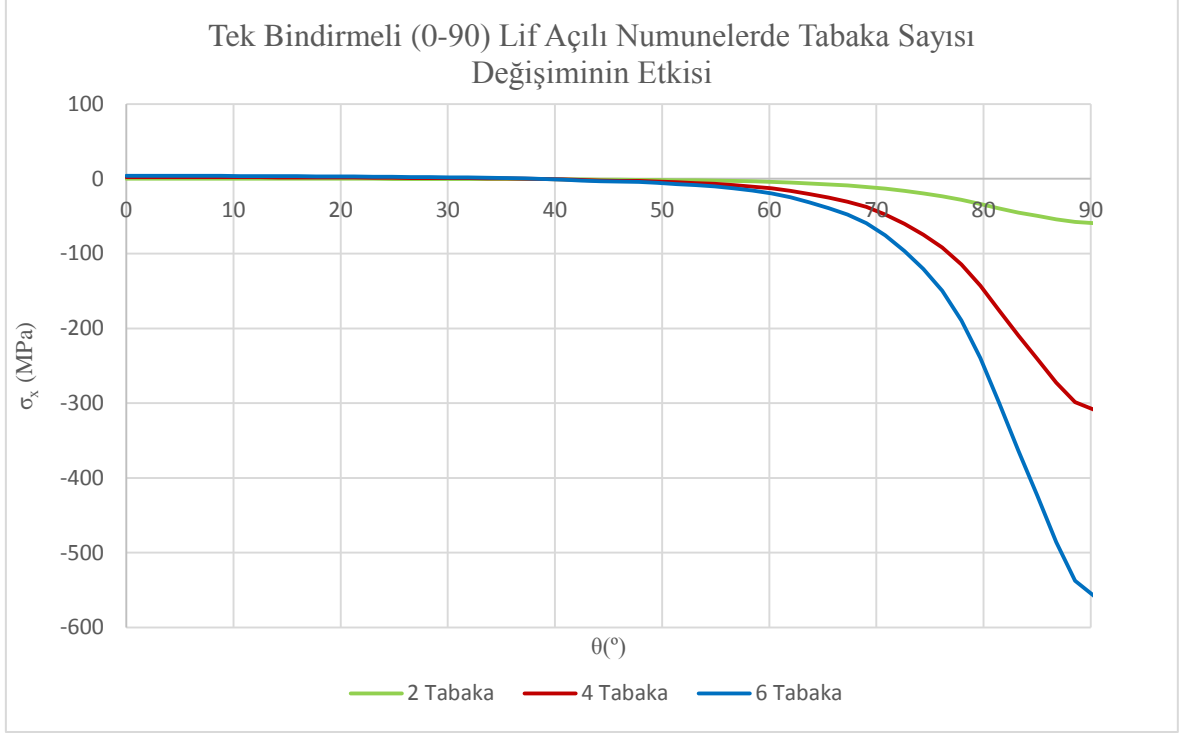
BC hattı ise eliptik delikli hasarda oluşan gerilmelerin, lama ũst sınırı C noktasına kadar ilerleyen L lineer mesafesini gostermektedir.

4.2.1. Ana malzeme

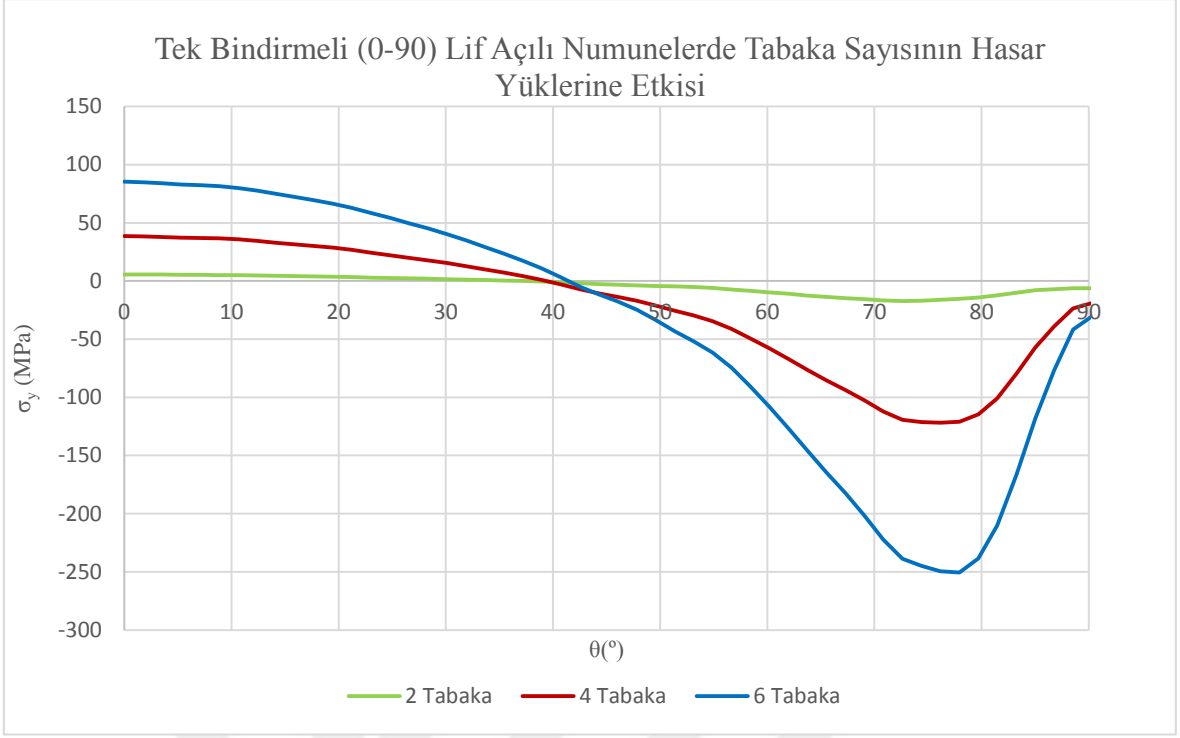
4.2.1.1. AB hattı

4.2.1.1.1. Tek bindirmeli yamalı numunelerde lif yönü ve tabaka sayısının AB hattında hasar yüklerine etkisi

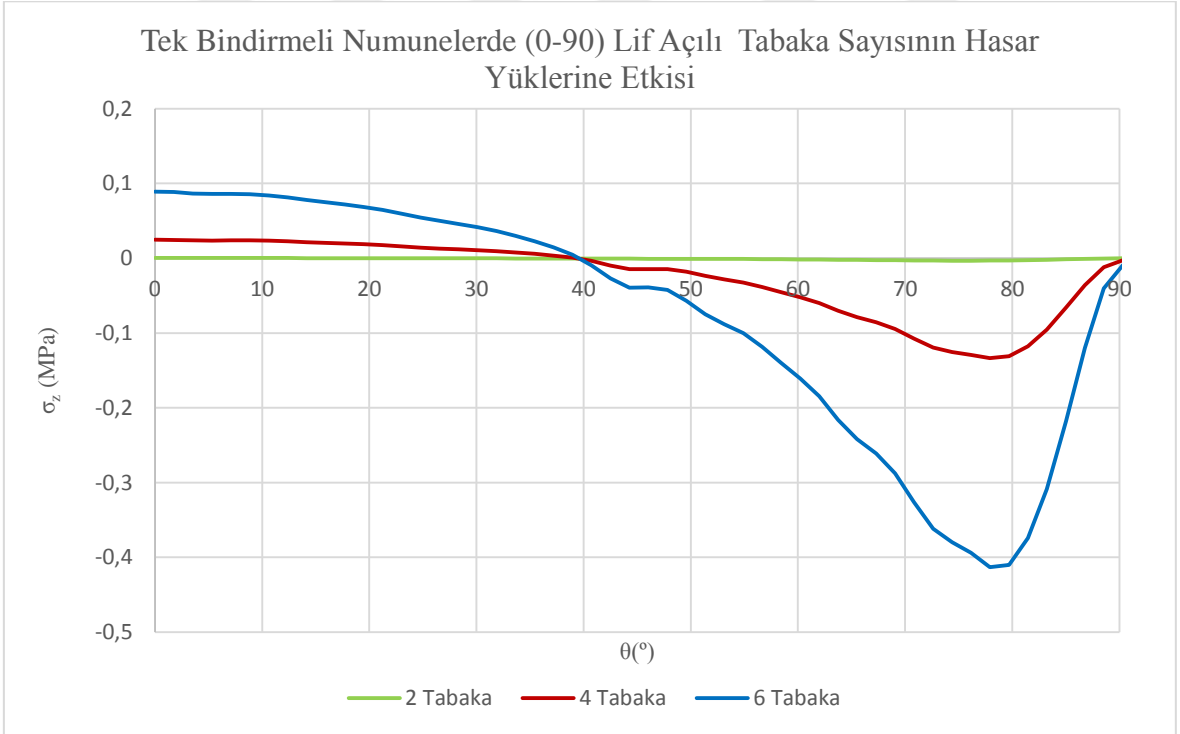
4.2.1.1.1.1. Tabaka sayısının hasar yüklerine etkisi



Şekil 4.14. Hasarlı tek bindirmeli (0-90) açılı numunelerde tabaka sayısı değişiminin σ_x gerilme dağılımına etkisi



Şekil 4.15. Hasarlı tek bindirmeli (0-90) açılı numunelerde tabaka sayısı değişiminin σ_y gerilme dağılımına etkisi

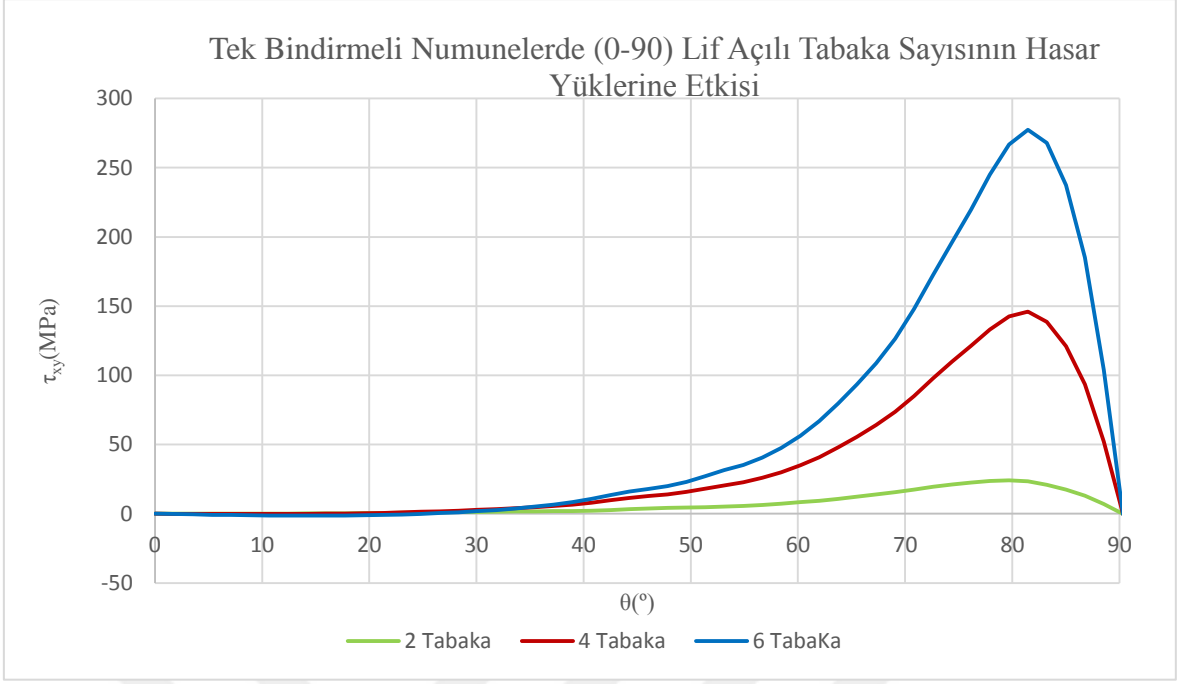


Şekil 4.16. Hasarlı tek bindirmeli (0-90) açılı numunelerde tabaka sayısı değişiminin σ_z gerilme dağılımına etkisi

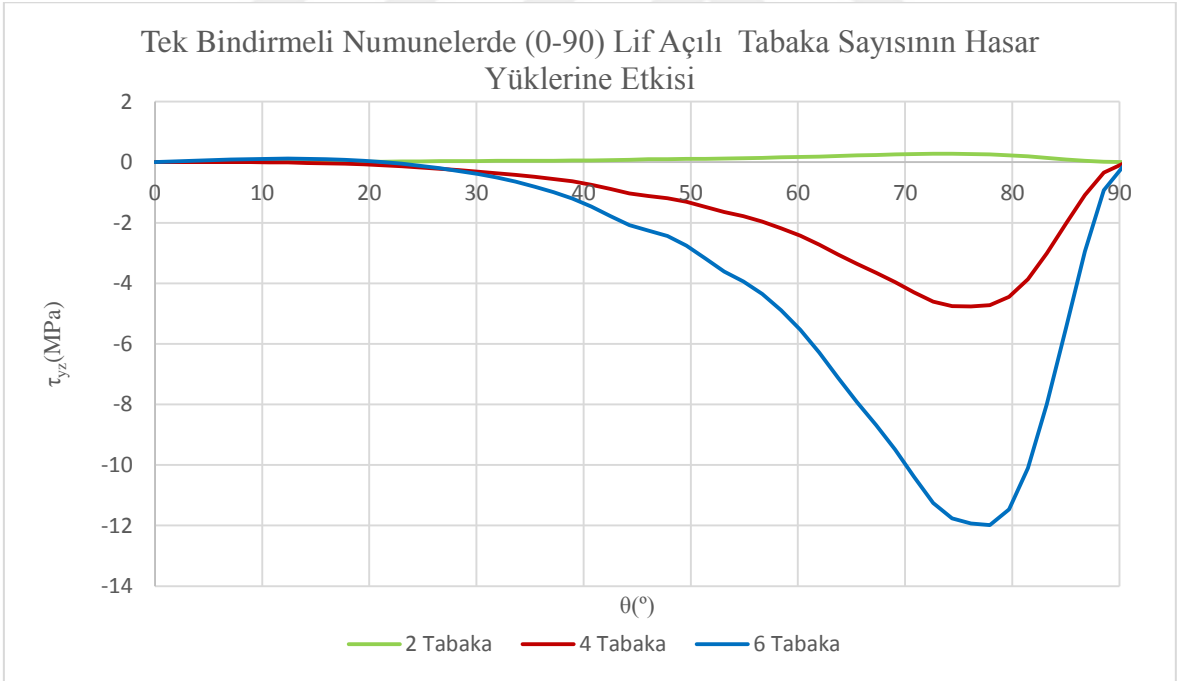
Şekil 4.14 ' de yapılan tek bindirmeli lif açısı (0-90) olan tabaka sayıları sırasıyla 2, 4 ve 6 olan lamalarda AB hattı boyunca ilk 60° açı değerinde stabil bir gerilme değeri gözlenirken, 60° açıdan sonra lamalarda gerilmeler eksi yönde bir artış oluşmuştur. 2 tabakalı numune de artış biraz daha az olurken, 6 tabakalı numunede artış en fazladır. Gerilme değerleri 2 tabakalı numune 90°'lik AB hattının son noktasına geldiğinde maksimum -60 MPa değerinde bir gerilmeye maruz kalmıştır. 4 tabakalı numune 90°'lik AB hattının son noktasına geldiğinde maksimum -310 MPa bir gerilmeye maruz kalmıştır. 6 tabakalı numune 90°'lik AB hattının son noktasına geldiğinde maksimum -560 MPa bir gerilmeye maruz kalmıştır.

Şekil 4.15'de yapılan hasarlı tek bindirmeli lif açısı (0-90) olan tabaka sayıları sırasıyla 2, 4 ve 6 olan lamalarda AB hattı boyunca 45°'lik açı değerinde bir geçiş noktası olarak görünmektedir. AB hattının ilk 45° değerinde 6 tabakalı numunenin gerilme değerleri 90 MPa değerlerinden 0 noktasına ulaşırken, ikinci 45° açıda eksi yöndeki gerilme artışı devam ederken 75° açı değerinde -250 MPa ulaştıktan sonra keskin bir dönüş ile -40 MPa bir gerilme değerinde son bulmuştur. AB hattının ilk 45° 4 tabakalı numunenin gerilme değerleri 45 MPa değerlerinden 0 noktasına ulaşırken ikinci 45° açıda eksi yöndeki gerilme artışı devam ederken 75° açı değerinde -125 MPa ulaştıktan sonra keskin bir dönüş ile -25 MPa bir gerilme değerinde son bulmuştur. AB hattının ilk 45° açıda 2 tabakalı numunenin gerilme değerleri 10 MPa değerlerinden 0 noktasına ulaşırken ikinci 45° açıda eksi yöndeki gerilme artışı devam ederken 75° açı değerinde -25 MPa ulaştıktan sonra diğer tabakalara oranla daha yumuşak bir dönüş ile -10 MPa bir gerilme değerinde son bulmuştur.

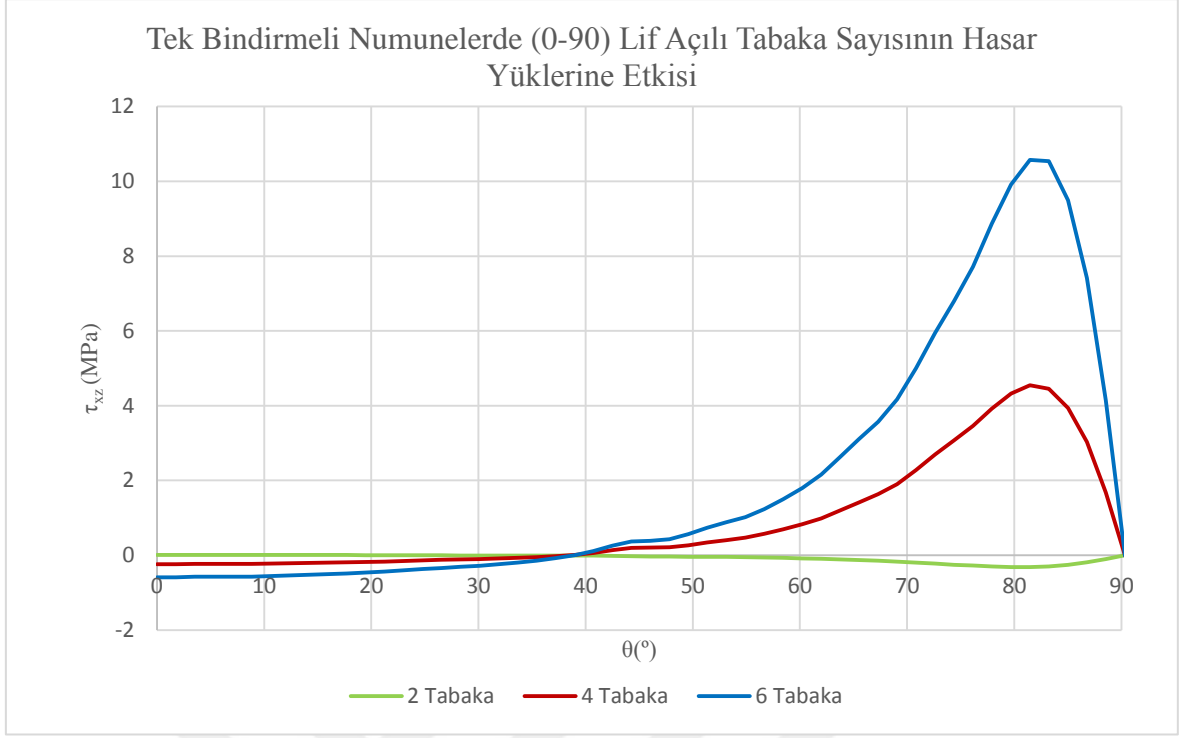
Şekil 4.16'da yapılan hasarlı tek bindirmeli lif açısı (0-90) olan tabaka sayıları sırasıyla 2, 4 ve 6 olan lamalarda AB hattı σ_y ve σ_z gerilme dağılımları benzer grafik özellikleri göstermektedir. Değerler sonucunda AB hattının 45°'lik açı değeri bir geçiş noktası olarak görünmektedir. AB hattının ilk 45° açı değerinde 6 tabakalı numunenin gerilme değerleri 0,1 MPa değerlerinden 0 noktasına ulaşırken ikinci 45° açıda eksi yöndeki gerilme artışı devam ederken 75° açı değerinde -0,4 MPa ulaştıktan sonra keskin bir dönüş ile -0,03 MPa bir gerilme değerinde son bulmuştur. AB hattının ilk 45° 4 tabakalı numunenin gerilme değerleri 0,03 MPa değerlerinden 0 noktasına ulaşırken ikinci 45° açıda eksi yöndeki gerilme artışı devam ederken 75° açı değerinde -1,3 MPa ulaştıktan sonra keskin bir dönüş ile -0,02 MPa bir gerilme değerinde son bulmuştur. AB hattının ilk 45° açı değerinde 2 tabakalı numunenin gerilme değerleri 0,01 MPa değerlerinde noktasına ulaşırken ikinci 45° açıda eksi yöndeki gerilme artışı devam ederken 75° açı değerinde yön değiştirip 0 noktasına ulaşmıştır.



Şekil 4.17. Hasarlı tek bindirmeli (0-90) açılı numunelerde tabaka sayısı değişiminin τ_{xy} gerilme dağılımına etkisi



Şekil 4.18. Hasarlı tek bindirmeli (0-90) açılı numunelerde tabaka sayısı değişiminin τ_{yz} gerilme dağılımına etkisi



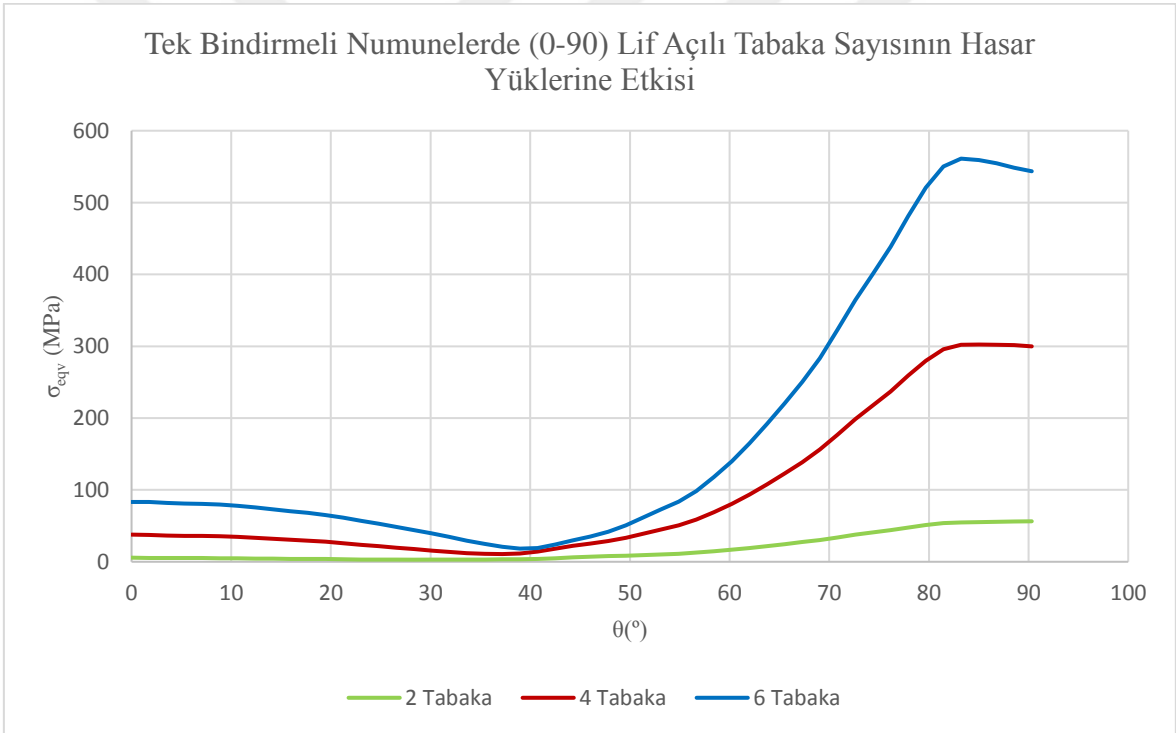
Şekil 4.19. Hasarlı tek bindirmeli (0-90) açılı numunelerde tabaka sayısı değişiminin τ_{xz} gerilme dağılımına etkisi

Şekil 4.17’de analizi yapılan hasarlı tek bindirmeli (0-90) lif açılı numunelerin tabaka sayısındaki değişiminin τ_{xz} gerilme dağılımına etkisi incelenmiştir. İncelemeler sonunda kayma gerilmelerinin AB hattının ilk 45°’lik kısmında bariz bir artış görünmeden stabil olarak gerilme değerlerinde çok büyük değişiklikler olmamıştır. 45° açı değerine ulaşıldığında ise lamalarda gözle görülür bir artış ortaya çıkmış ve 80° açı değerinde tabakalar maksimum noktasına ulaşmış ve bu noktadan sonra keskin bir dönüşle AB hattının son noktasında 0 MPa yakın değerlere ulaşmıştır. Bu değerler 2 tabakalı numune için 80° açı değerinde yaklaşık 25 MPa, 4 tabakalı 150 MPa ve 6 tabakalı en yüksek değer olan 275 MPa değerine ulaşmıştır.

Şekil 4.18’de analizi yapılan hasarlı tek bindirmeli (0-90) lif açılı numunelerin tabaka sayısındaki değişiminin τ_{yz} gerilme dağılımına etkisi incelenmiştir. τ_{yz} gerilme dağılım grafiğinin hat boyunca hareketleri τ_{xy} gerilme dağılımı ile benzerlik göstermiştir fakat gerilme yönleri farklı olarak. İncelemeler sonunda kayma gerilmelerinin AB hattının ilk 45°’lik kısmında bariz bir artış görünmeden stabil olarak gerilme değerlerinde çok büyük değişiklikler olmamıştır. 45° açı değerine ulaşıldığında ise lamalarda gözle görülür bir artış ortaya çıkmış ve 80° açı değerinde tabakalar maksimum noktasına ulaşmış ve bu noktadan sonra keskin bir dönüşle AB hattının son noktasında 0 MPa yakın değerlere ulaşmıştır. Bu

değerler 2 tabakalı numune için 80° açı değerinde yaklaşık 25 MPa, 4 tabakalı 150 MPa ve 6 tabakalı en yüksek değer olan 275 MPa değerine ulaşmıştır.

Şekil 4.19’de analizi yapılan hasarlı tek bindirmeli (0-90) lif açılı numunelerin tabaka sayısındaki değişiminin τ_{xz} gerilme dağılımına etkisi incelenmiştir. τ_{xy} gerilme dağılım grafiğinin hat boyunca hareketleri τ_{xz} gerilme dağılımı ile benzerlik göstermiştir. İncelemeler sonunda kayma gerilmelerinin AB hattının ilk 40°’lik yumuşak bir gerilme değerlerinin eksi yönden pozitif yöne doğru bir yönelim gösterdiği gözlemlenmektedir. 40° açı değerine ulaşıldığında ise lamalarda 0 MPa değerlerinde gerilme gözle görülür bir artış ortaya çıkmış ve 80° açı değerinde tabakalar max noktasına ulaşmış ve bu noktadan sonra keskin bir dönüşle AB hattının son noktasında 0 MPa yakın değerlere ulaşmıştır. Bu değerler 2 tabakalı numune için 80° açı değerinde yaklaşık -0,3 MPa, 4 tabakalı 4,5 MPa ve 6 tabakalı en yüksek değer olan 10,5 MPa değerine ulaşmıştır.

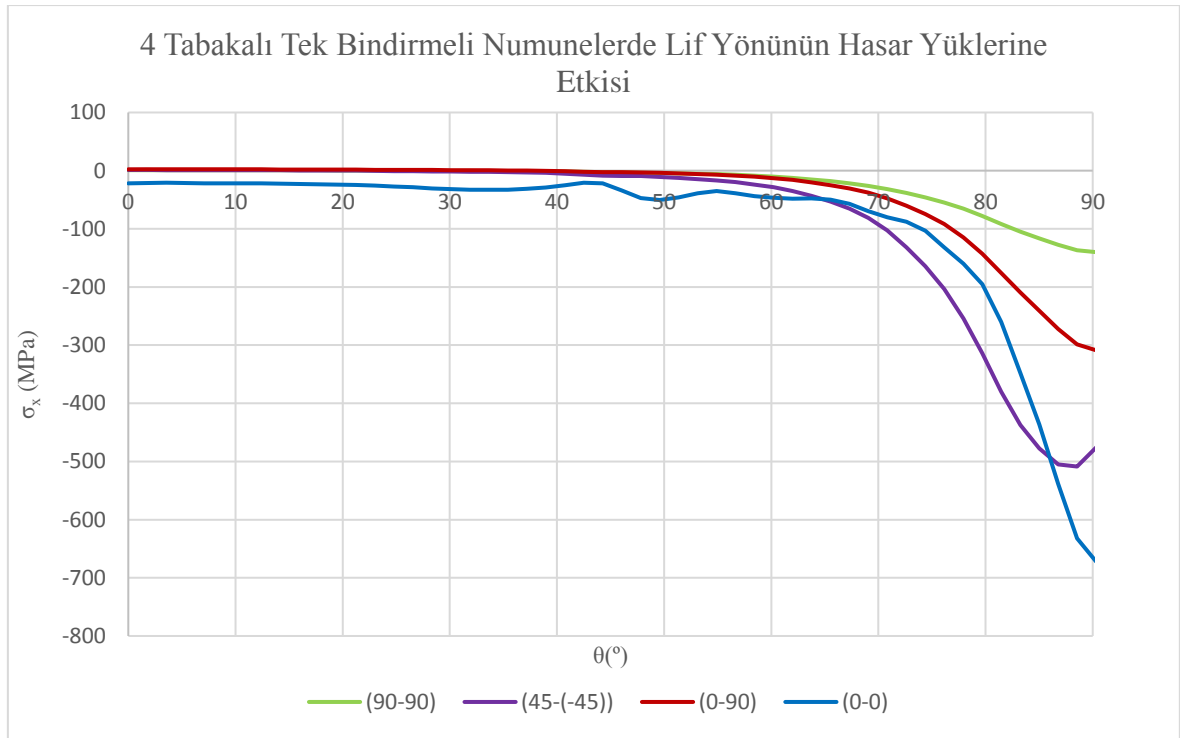


Şekil 4.20. Hasarlı tek bindirmeli (0-90) açılı numunelerde tabaka sayısı değişiminin σ_{eqv} gerilme dağılımına etkisi

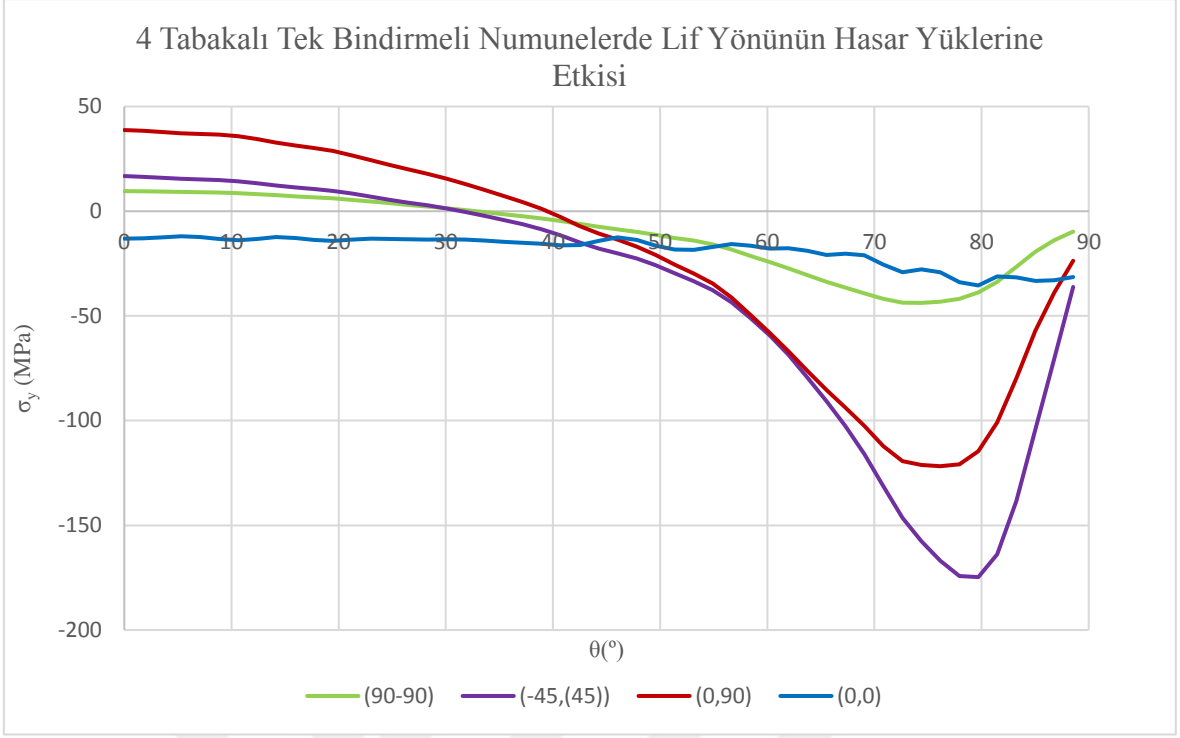
Şekil 4.20’de hasarlı tek bindirmeli (0-90) lif açılı numunelerde tabaka sayısı değişiminin Von Mises grafiği gözlenmiştir. Bu gözlemler sonucu görülüyor ki diğer grafiklerde de önem arz eden 40°- 45°’lik açı değerlerinde lamaların keskin bir gerilme davranış değişikliğine uğradığı sonucuna varılmıştır. Birleşik gerilmeleri ifade eden Von mises tabaka sayısı değişim grafiğinde 2 tabakalı numunelerde 35 MPa değerlerinden önce 10 MPa

değerlerine oradan da hızlı bir artış ile 80° de ki maksimum gerilme noktasına ulaşmıştır. Bu noktadaki gerilme değeri yaklaşık olarak 50 MPa değerine ulaşmıştır. Von mises tabaka sayısı değişim grafiğinde 4 tabakalı numunelerde 10 MPa değerlerinden önce 0 MPa değerlerine oradan da hızlı bir artış ile 80° de ki maksimum gerilme noktasına ulaşmıştır. Bu noktadaki gerilme değeri yaklaşık olarak 280 MPa değerine ulaşmıştır. Von mises tabaka sayısı değişim grafiğinde 6 tabakalı numunelerde 80 MPa değerlerinden önce 20 MPa değerlerine oradan da hızlı bir artış ile 80° de ki maksimum gerilme noktasına ulaşmıştır. Bu noktada ki gerilme değeri yaklaşık olarak 530 MPa değerine ulaşmıştır.

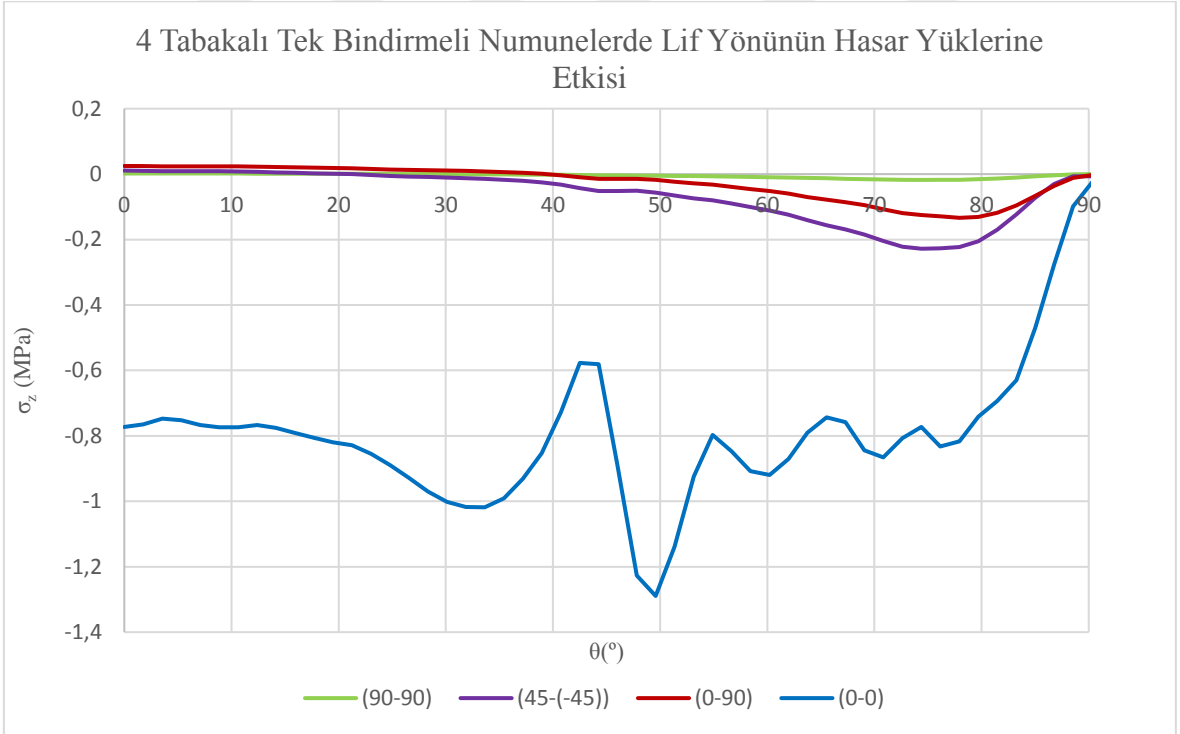
4.2.1.1.1.2. Lif yönünün hasar yüklerine etkisi



Şekil 4.21 Hasarlı tek bindirmeli 4 tabakalı numunelerde lif yönü değişiminin σ_x gerilme dağılımına etkisi



Şekil 4.22. Hasarlı tek bindirmeli 4 tabakalı numunelerde lif yönü değişiminin σ_y gerilme dağılımına etkisi

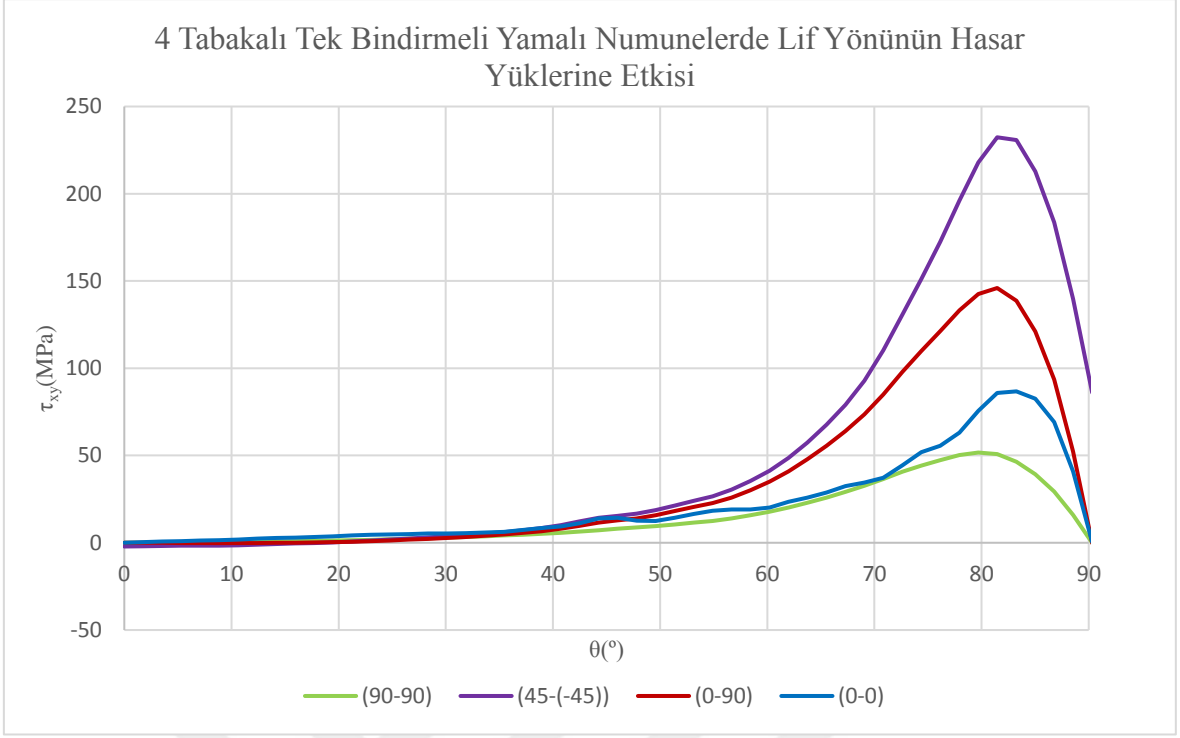


Şekil 4.23. Hasarlı tek bindirmeli 4 tabakalı numunelerde lif yönü değişiminin σ_z gerilme dağılımına etkisi

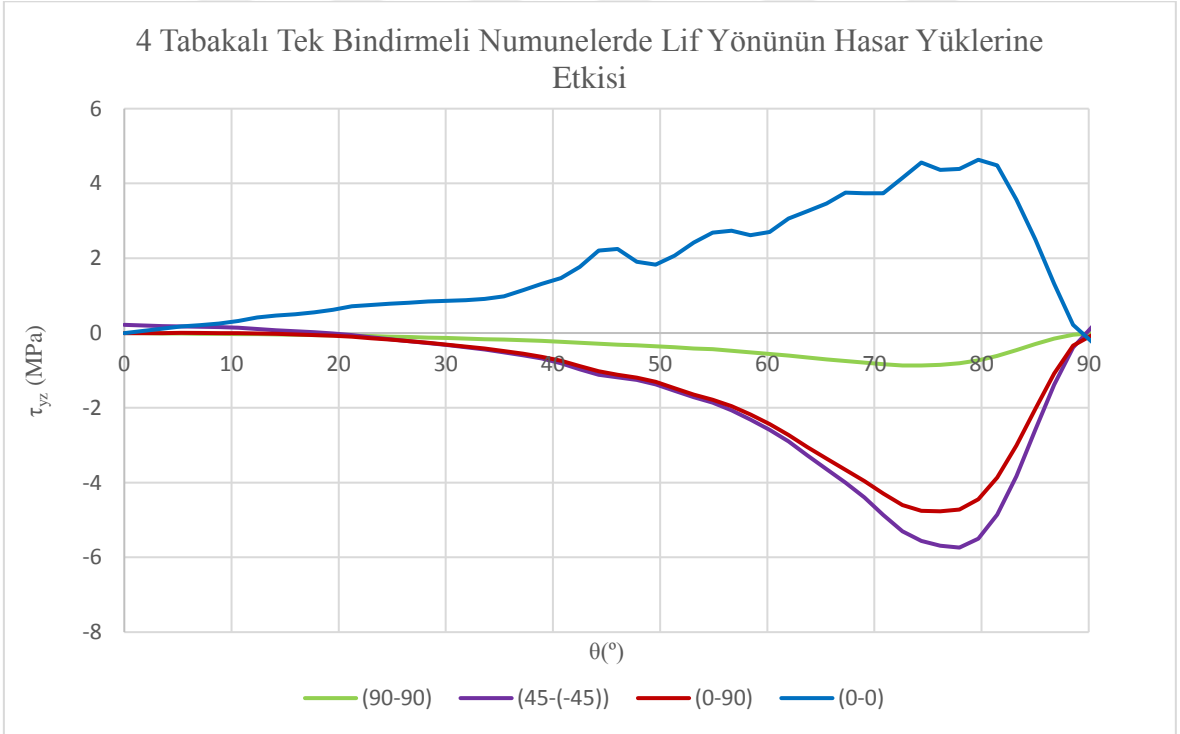
Şekil 4.21’de hasarlı tek bindirmeli tabaka sayısı 4 lif açıları değişkenlik gösteren numunelerin σ_x gerilme değerleri elde edilmiştir. Gerilmeler sonucunda lif açısı değişim grafiği 50° dolaylarında 0 MPa değerlerine düşüp eksi yönde artışa geçmiştir. Bu artışın minimal gözlemlendiği (90-90) lif açılı numunedir. Pozitif yönde 10 MPa dolaylarında başlayan gerilme 50 ° sonraki eksi yöndeki artış ile -120 MPa, (0-90) pozitif yönde 10 MPa dolaylarından -300 MPa değerine, ,(45-(-45)) pozitif yönde 2 MPa değerlerinden eksi yönde artış ile -510 MPa değerine ulaşmış ve son olarak (0-0) açılı numune ise max değer olan -675 MPa değerine ulaşmıştır.

Şekil 4.22’de hasarlı tek bindirmeli tabaka sayısı 4, lif açıları değişkenlik gösteren numunelerin σ_y gerilme değerleri elde edilmiştir. Gerilmeler sonucunda lif açısı değişim grafiği 45° dolaylarında 0 MPa değerlerine düşüp eksi yönde artışa geçmiştir. 80° değerlerine ulaşan farklı lif yönlerine sahip numuneler Keskin bir değişim ile eksi yöndeki artışı durdurup 0 MPa değerine doğru ters yönde bir hareket göstermişlerdir. 80° değerlerindeki max gerilme değerleri lif yönlerine göre şu şekildedir: (0-0) lif yönündeki numune -35 MPa, (90-90) lif yönündeki numune -40 MPa, (0-90) lif yönündeki numune -120 MPa, (45-(-45)) lif yönündeki numune -175 MPa olarak sonuçlanmıştır.

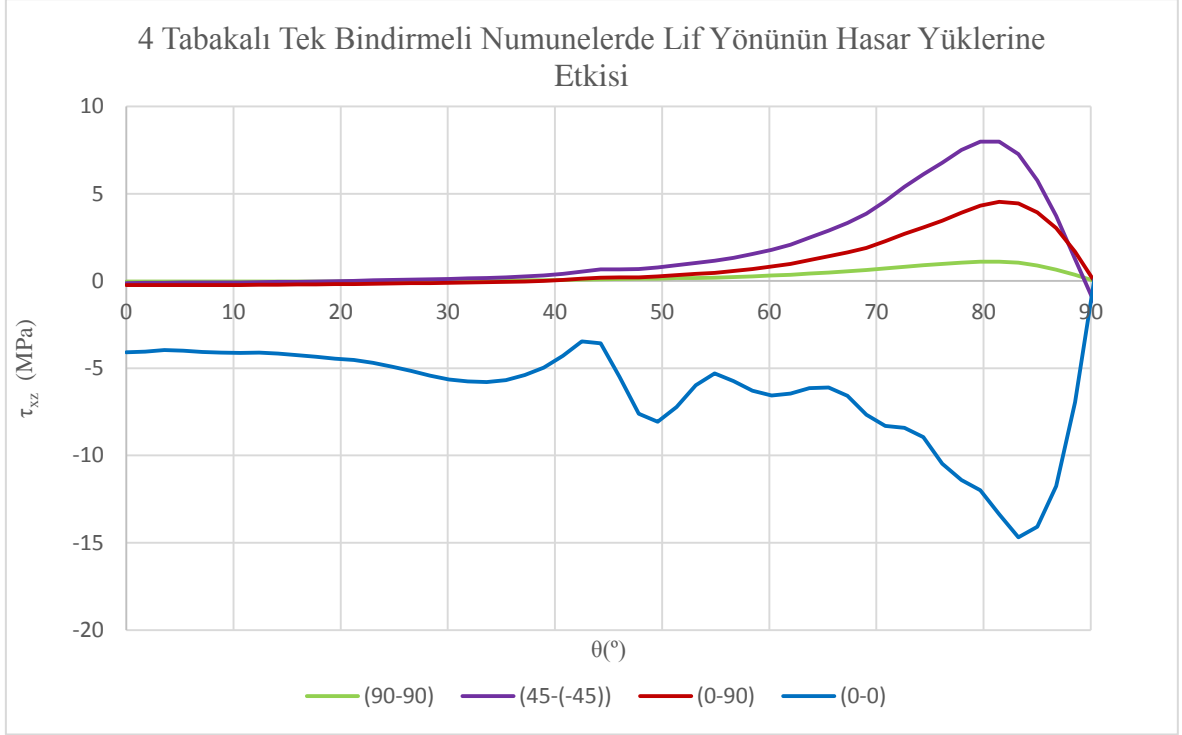
Şekil 4.23’de hasarlı tek bindirmeli tabaka sayısı 4, lif açıları değişkenlik gösteren numunelerin σ_z gerilme değerleri elde edilmiştir. Gerilmeler sonucunda lif açısı değişim grafiği 40-45° dolaylarında 0 MPa değerlerine düşüp eksi yönde artışa geçmiştir. 75° değerlerine ulaşan farklı lif yönlerine sahip numuneler keskin bir değişim ile eksi yöndeki artışı durdurup 0 MPa değerine doğru ters yönde bir hareket göstermişlerdir. 80° değerlerindeki maksimum gerilme değerleri lif yönlerine göre şu şekildedir: (0-0) lif yönündeki numune -0,8 MPa, (90-90) lif yönündeki numune -0,01 MPa, (0-90) lif yönündeki numune -0,1 MPa, (45-(-45)) lif yönündeki numune -0,25 MPa olarak sonuçlanmıştır.



Şekil 4.24. Hasarlı tek bindirmeli 4 tabakalı numunelerde lif yönü değişiminin τ_{xy} gerilme dağılımına etkisi



Şekil 4.25. Hasarlı tek bindirmeli 4tabakalı numunelerde lif yönü değişiminin τ_{yz} gerilme dağılımına etkisi



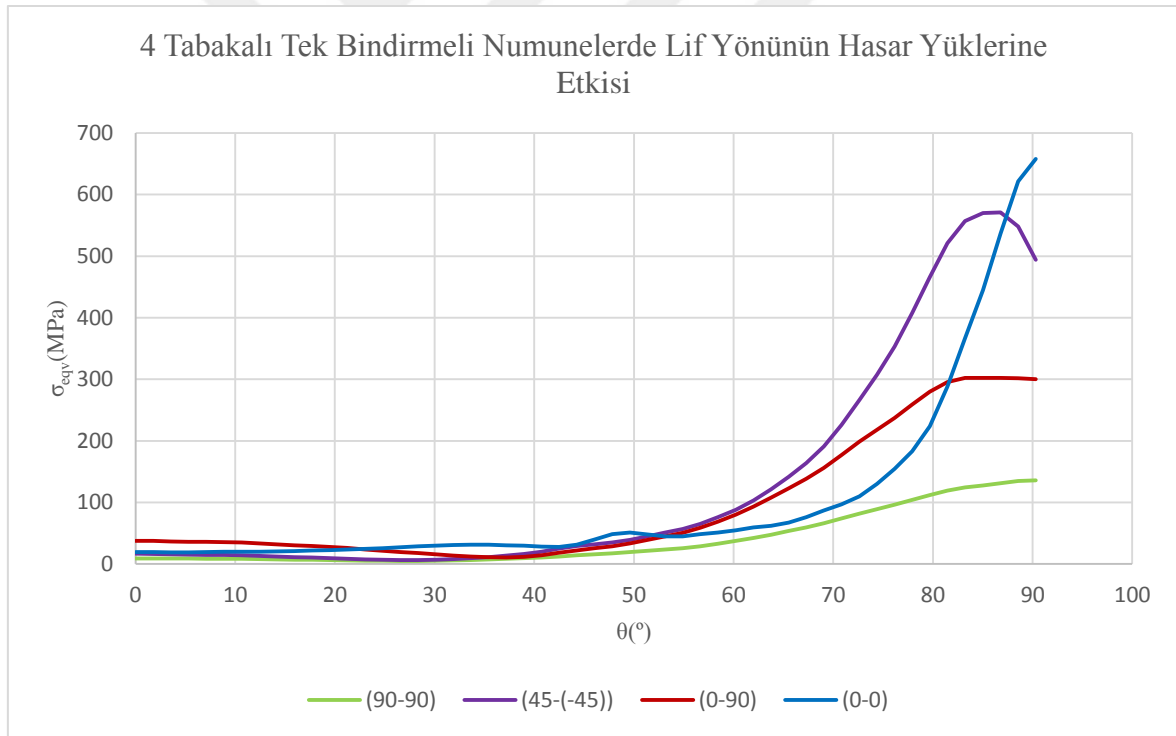
Şekil 4.26. Hasarlı tek bindirmeli 4 tabakalı numunelerde lif yönü değişiminin τ_{xz} gerilme dağılımına etkisi

Şekil 4.24’de hasarlı tek bindirmeli tabaka sayısı 4, lif açıları değişkenlik gösteren numunelerin τ_{xy} gerilme değerleri elde edilmiştir. Gerilmeler sonucunda lif açısı değişim grafiği 20-25° dolaylarında 0 MPa değerlerine düşüp eksi yönde artışa geçmiştir. 80° değerlerine ulaşan farklı lif yönlerine sahip numuneler keskin bir değişim ile artı yöndeki artışı durdurup 0 MPa değerine doğru ters yönde bir hareket göstermişlerdir. 80° değerlerindeki maksimum gerilme değerleri lif yönlerine göre şu şekildedir: (0-0) lif yönündeki numune 75 MPa, (90-90) lif yönündeki numune 50 MPa, (0-90) lif yönündeki numune -148 MPa, (45-(-45)) lif yönündeki numune -240 MPa olarak sonuçlanmıştır.

Şekil 4.25’de hasarlı tek bindirmeli tabaka sayısı 4, lif açıları değişkenlik gösteren numunelerin τ_{yz} gerilme değerleri elde edilmiştir. Gerilmeler sonucunda lif açısı değişim grafiği 10-20° dolaylarında 0 MPa değerlerine düşüp eksi yönde artışa geçmiştir. 75° değerlerine ulaşan farklı lif yönlerine sahip numuneler keskin bir değişim ile eksi yöndeki artışı durdurup 0 MPa değerine doğru ters yönde bir hareket göstermişlerdir. 75° değerlerindeki maksimum gerilme değerleri lif yönlerine göre şu şekildedir, (90-90) lif yönündeki numune -0,5 MPa, (0-90) lif yönündeki numune 4,5 MPa, (45-(-45)) lif yönündeki numune -5,8 MPa olarak sonuçlanmıştır. (0-0) lif yönündeki numune diğerlerine

göre farklı bir gerilme davranışı izleyerek hareket yönünü pozitif kısımda devam ettirmiştir. 75° değerlerindeki max gerilme değeri 4,5 MPa değerine ulaşmıştır.

Şekil 4.26'da hasarlı tek bindirmeli tabaka sayısı 4, lif açıları değişkenlik gösteren numunelerin τ_{xz} gerilme değerleri elde edilmiştir. Gerilmeler sonucunda lif açısı değişim grafiği. 80° değerlerine ulaşan farklı lif yönlerine sahip numuneler keskin bir değişim ile pozitif yöndeki artışı durdurup 0 MPa değerine doğru ters yönde bir hareket göstermişlerdir. 80° değerlerindeki maksimum gerilme değerleri lif yönlerine göre şu şekildedir, (90-90) lif yönündeki numune 1 MPa, (0-90) lif yönündeki numune 4,5 MPa, (45-(-45)) lif yönündeki numune 7 MPa olarak sonuçlanmıştır. (0-0) lif yönündeki numune diğerlerine göre farklı bir gerilme davranışı izleyerek hareket yönünü pozitif kısımda devam ettirmiştir. 80° değerlerindeki maksimum gerilme değeri -14,5 MPa değerine ulaşmıştır.

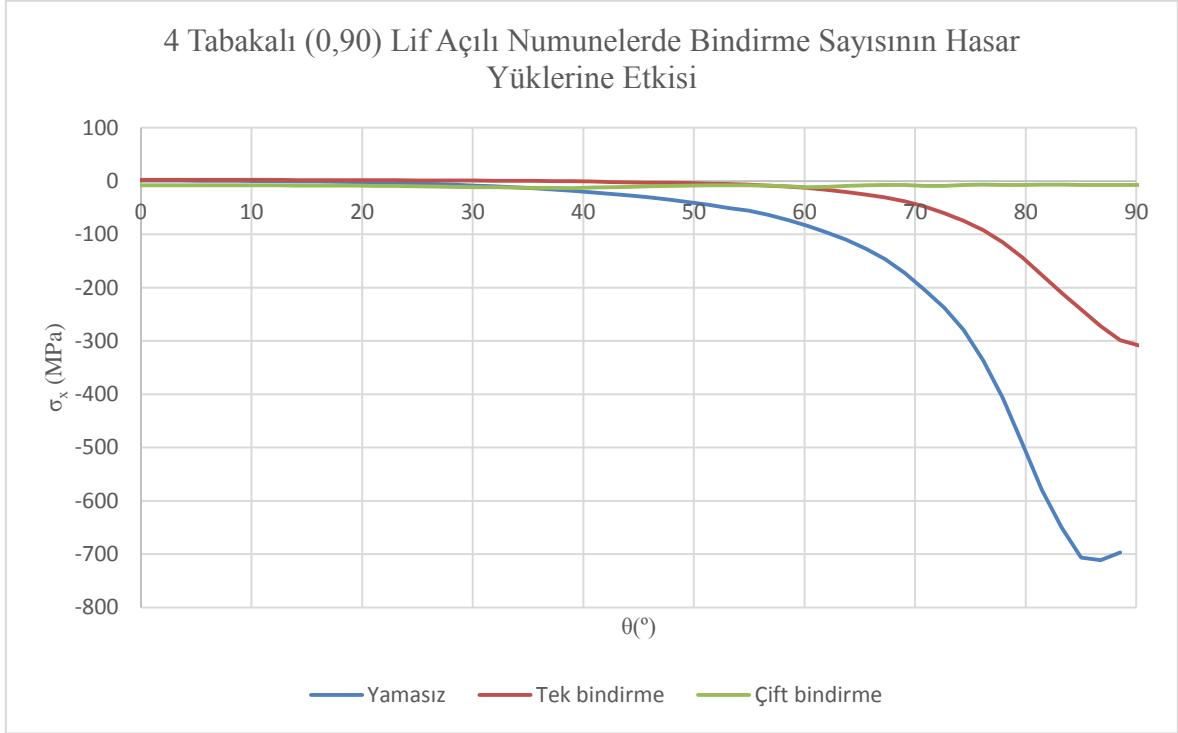


Şekil 4.27. Hasarlı tek bindirmeli 4 tabakalı numunelerde lif yönü değişiminin σ_{eqv} gerilme dağılımına etkisi

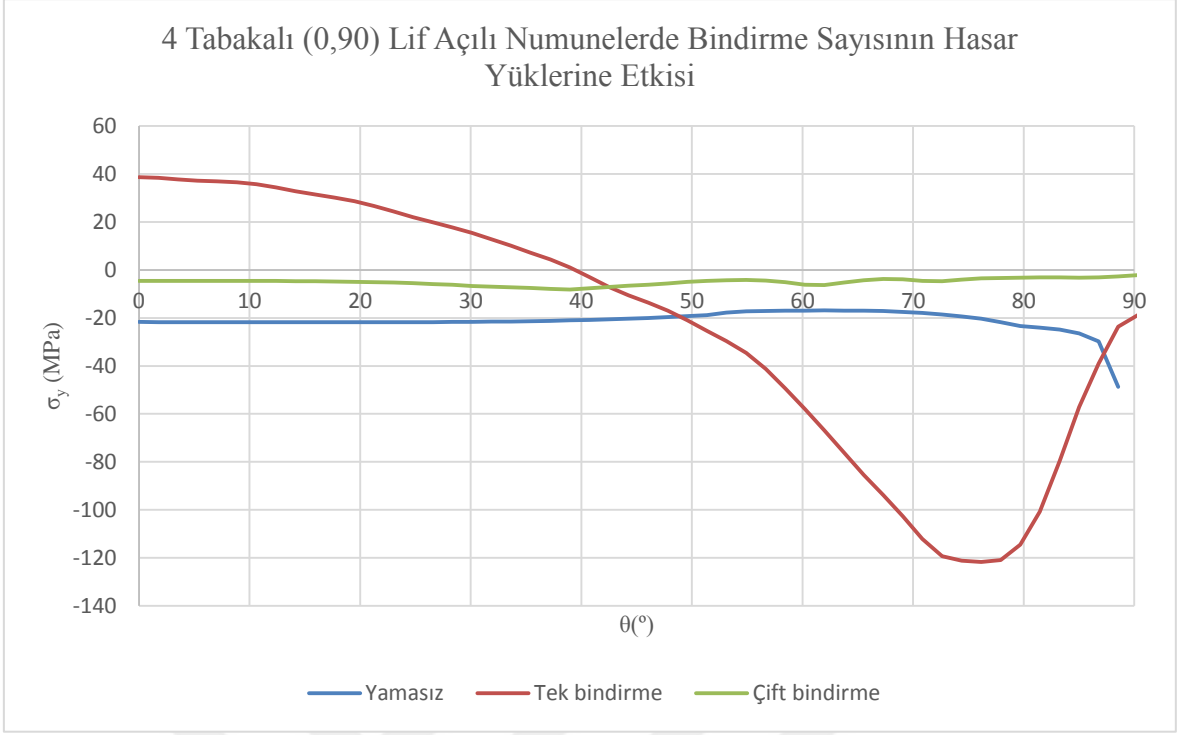
Şekil 4.27'de hasarlı tek bindirmeli 4 tabakalı numunelerde lif yönü değişiminin σ_{eqv} Von Mises grafiği gözlenmiştir. Bu gözlemler sonucu görülüyor ki diğer grafiklerde de önem arz eden 35°-40°'lik açı değerlerinde lamaların keskin bir gerilme davranış değişikliğine

uğradığı sonucuna varılmıştır. Birleşik gerilmeleri ifade eden Von Mises lif yönü değişim grafiğinde 85° numunelerin maksimum değerleri şu şekildedir: (0-0) lif yönündeki numune 550 MPa, (90-90) lif yönündeki numune 120 MPa, (0-90) lif yönündeki numune 300 MPa, (45-(-45)) lif yönündeki numune 530 MPa olarak sonuçlanmıştır.

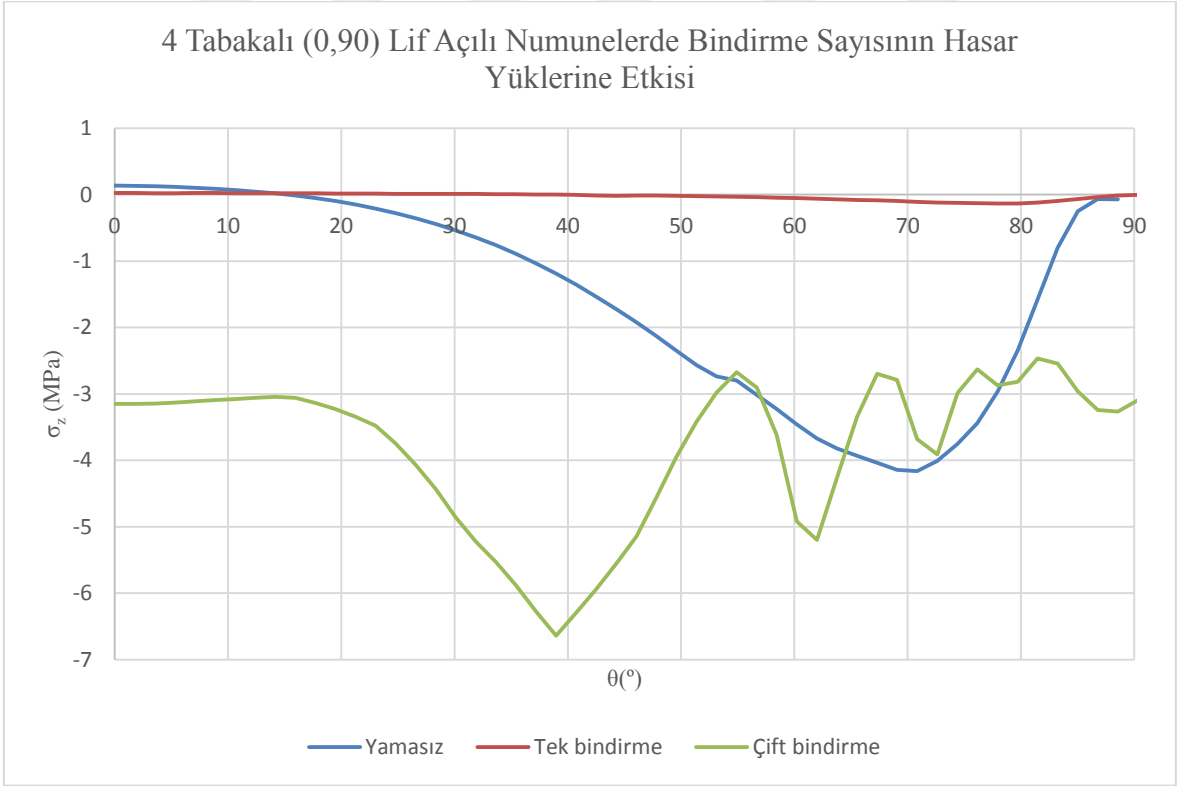
4.2.1.1.2. Bindirme sayısı değişiminin AB hattının hasar yüklerine etkisi



Şekil 4.28. Hasarlı 4 tabakalı (0-90) lif açılı numunelerde bindirme sayısı değişiminin σ_x gerilme dağılımına etkisi



Şekil 4.29. Hasarlı 4 tabakalı (0-90) lif açılı numunelerde bindirme sayısı değişiminin σ_y gerilme dağılımına etkisi

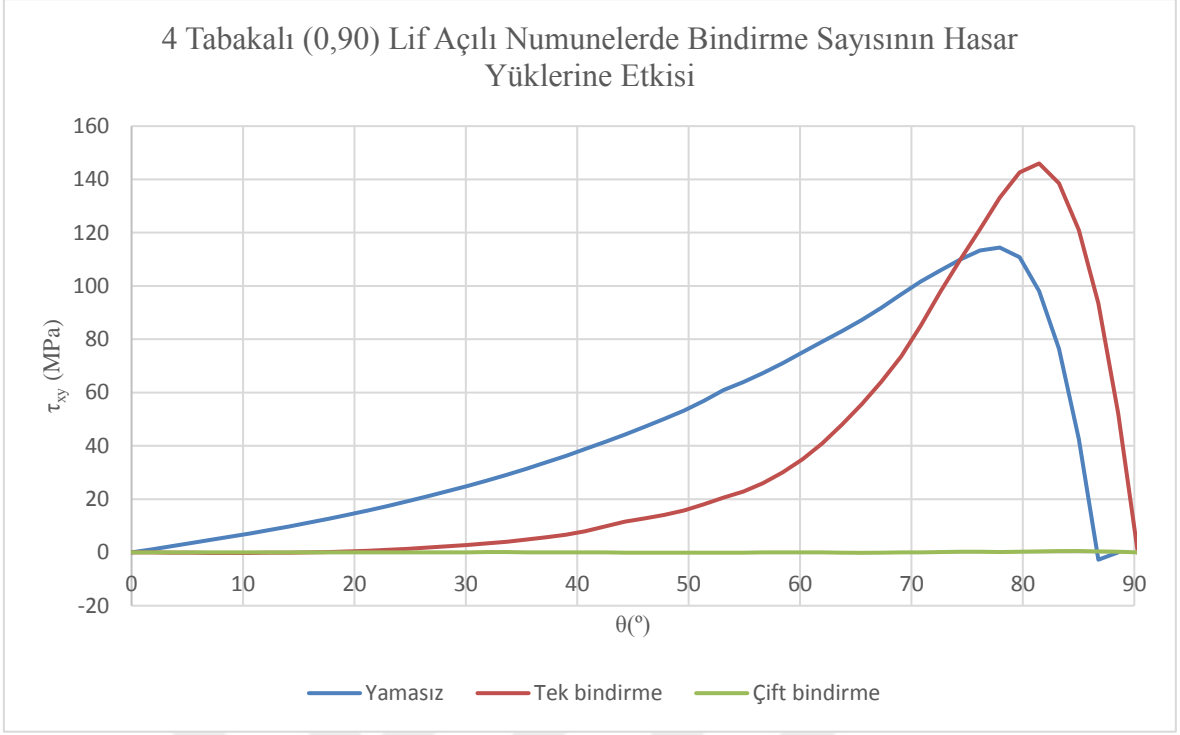


Şekil 4.30. Hasarlı 4 tabakalı (0-90) lif açılı numunelerde bindirme sayısı değişiminin σ_z gerilme dağılımına etkisi

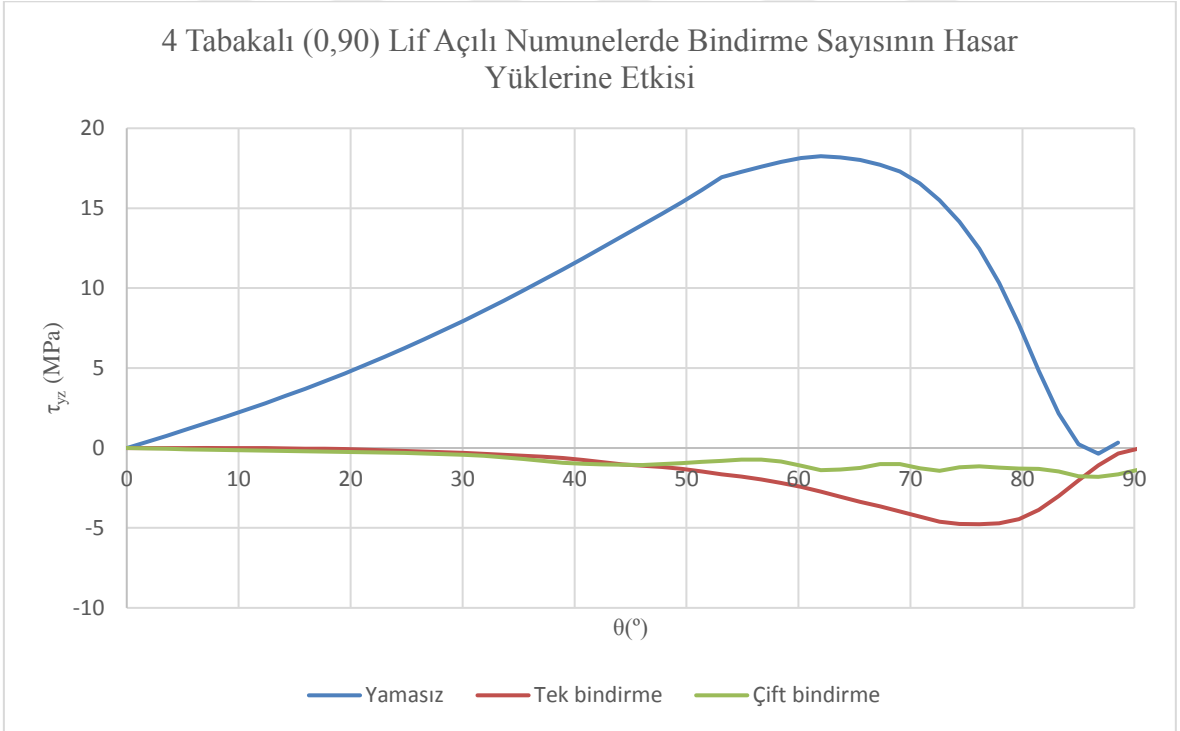
Şekil 4.28’de hasarlı 4 tabakalı (0-90) lif açılı numunelerin bindirme sayısı değişiminin σ_x gerilme değerleri elde edilmiştir. Gerilmeler sonucunda lif açısı değişim grafiği 30-50° dolaylarında 0 MPa değerlerine düşüp eksi yönde artışa geçmiştir. 80° değerlerine ulaşan farklı lif yönlerine sahip numuneler bu noktada maksimum gerilme değerlerini kıyaslayacak olursak bindirme sayısına göre göre şu şekildedir: Çift bindirme -8 MPa, tek bindirme -300 MPa, yamasız -500 MPa değerindedir.

Şekil 4.29’da hasarlı 4 tabakalı (0-90) lif açılı numunelerin bindirme sayısı değişiminin σ_y gerilme değerleri elde edilmiştir. Gerilme davranışları incelendiğinde tek bindirmeli numunelerin pozitif yönde 40 MPa değerinde başlayıp 45° açı değerinde negatif bölgeye geçiş yaptığı daha sonra 75° bandında keskin bir dönüşle 0 MPa değerine doğru yön değiştirdiği gözlemlenmektedir. Eksi yönde yol izleyen tek bindirme ve çift bindirme uygulanan numunelerde 0 MPa doğru hafif eğimli bir yönelme vardır.

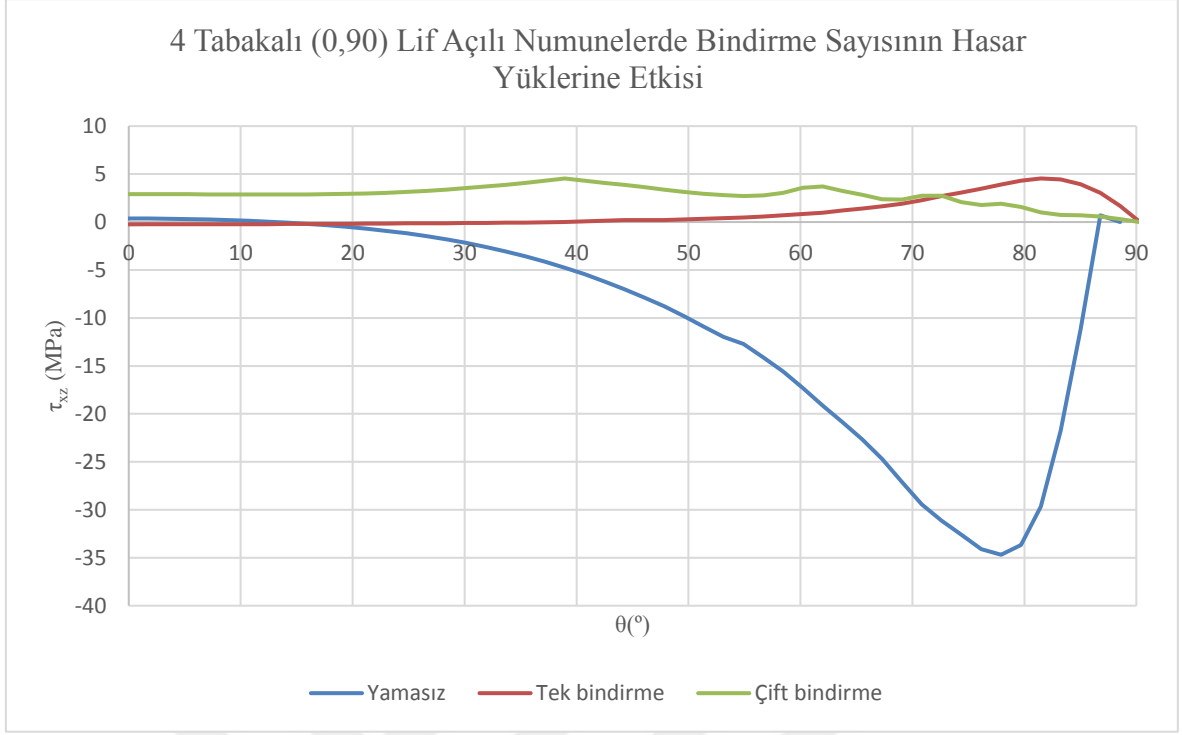
Şekil 4.30’da hasarlı 4 tabakalı (0-90) lif açılı numunelerin bindirme sayısı değişiminin σ_z gerilme değerleri elde edilmiştir. Yamasız numunelerde pozitif yöndeki 0,2 MPa değerinden 15° bandında negatif bölgeye geçiş olmuştur ve eksi yönde hızlı bir artış gerçekleşmiştir. 70° bandında keskin bir dönüş ile 0 MPa değerine doğru yön değişmiştir. Tek bindirme uygulanan numunelerde çok küçük değerlerdeki gerilmeler 70° bandında eksi yöne doğru artarken bu noktada bir değişim ile 0 MPa doğru tekrar yol almaktadır. Çift bindirmeli numunelerde ise negatif bölgede dalgalı bir grafik ortaya çıkmıştır.



Şekil 4.31. Hasarlı 4 tabakalı (0-90) lif açılı numunelerde bindirme sayısı değişiminin τ_{xy} gerilme dağılımına etkisi



Şekil 4.32. Hasarlı 4 tabakalı (0-90) lif açılı numunelerde bindirme sayısı değişiminin τ_{yz} gerilme dağılımına etkisi



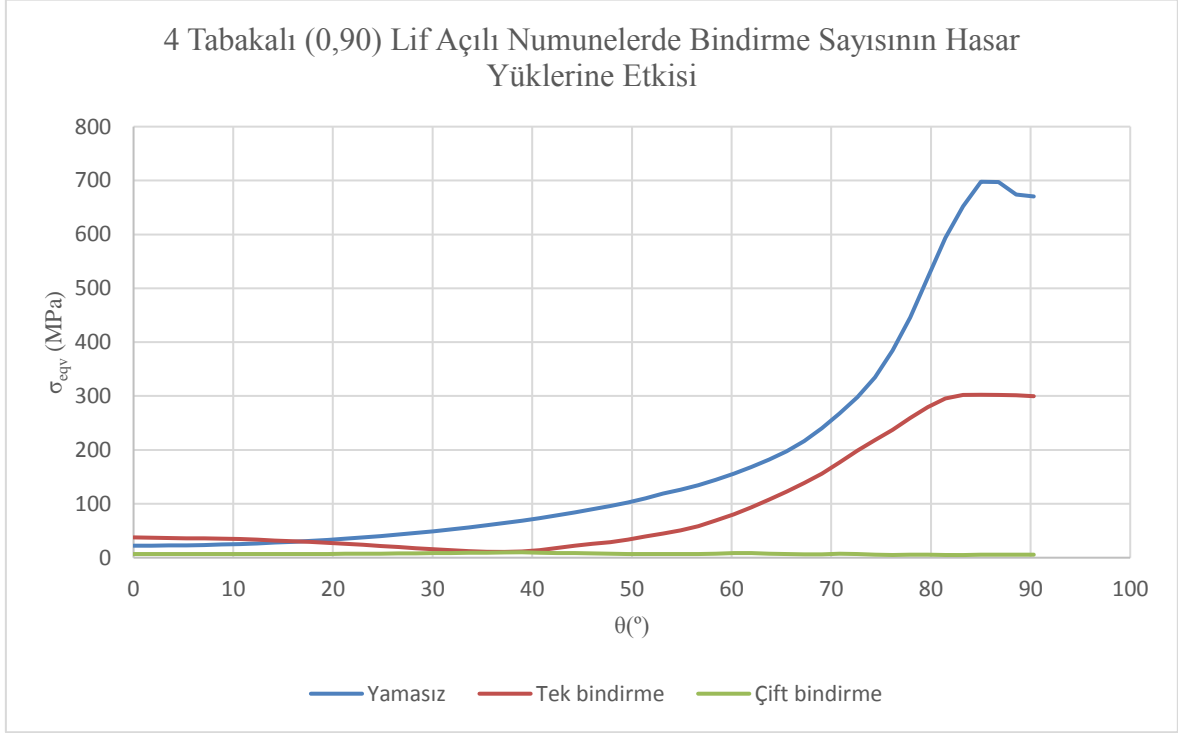
Şekil 4.33. Hasarlı 4 tabakalı (0-90) lif açılı numunelerde bindirme sayısı değişiminin τ_{xz} gerilme dağılımına etkisi

Şekil 4.31’de hasarlı 4 tabakalı (0-90) lif açılı numunelerin bindirme sayısı değişiminin τ_{xy} gerilme değerleri elde edilmiştir. Grafik incelendiğinde numunelerin 0 noktasından başlayan bir artış ile 80° noktasına gelindiğinde gerilme değerlerinde keskin bir değişim gözlemlenmektedir. Bu noktadaki değerleri dikkate alındığında; yamasız numunelerin 100 MPa değerinde, tek bindirmeli numunenin 145 MPa değerinde çift bindirmeli numunenin ise 0 MPa değerlerinde olduğu gözlemlenmektedir.

Şekil 4.32’de hasarlı 4 tabakalı (0-90) lif açılı numunelerin bindirme sayısı değişiminin τ_{yz} gerilme değerleri elde edilmiştir. Grafik incelendiğinde numunelerin 0 noktasından başlayan bir artış ile 60-80 ° noktasına gelindiğinde gerilme değerlerinde keskin bir değişim gözlemlenmektedir. Yamasız numunelerde 0 noktasından başlayan artış 60° bandına geldiğinde kesin bir dönüş ile 0 MPa değerine doğru dönüş gerçekleşmiştir. 60° bandına geldiğinde 18 MPa değerine ulaşmıştır. Tek bindirmeli numunelerde ise bu benzer grafik eksi yönde kendisini göstermiştir.75 ° açıdaki gerilme değeri yaklaşık olarak -5 MPa’dır. Çift bindirme uygulanan numuneler ise hafif eğimli artış ile eksi yönde gerilme değerleri stabil olarak kalmıştır.

Şekil 4.33’de hasarlı 4 tabakalı (0-90) lif açılı numunelerin bindirme sayısı değişiminin τ_{xz} gerilme değerleri elde edilmiştir. Grafik incelendiğinde numunelerin 0

noktasından başlayan bir artış ile 75 ° noktasına gelindiğinde gerilme değerlerinde keskin bir değişim gözlemlenmektedir. Yamasız numunelerde 0 noktasından başlayan artış 75° bandına geldiğinde kesin bir dönüş ile 0 MPa değerine doğru dönüş gerçekleşmiştir. 85° bandına geldiğinde 35 MPa değerine ulaşmıştır. Tek bindirmeli numunelerde ise bu benzer grafik pozitif yönde kendisini göstermiştir. 85° açındaki gerilme değeri yaklaşık olarak 5 MPa'dır. Çift bindirme uygulanan numuneler ise hafif eğimli azalış ile gerilme değerleri stabil olarak kalmıştır.



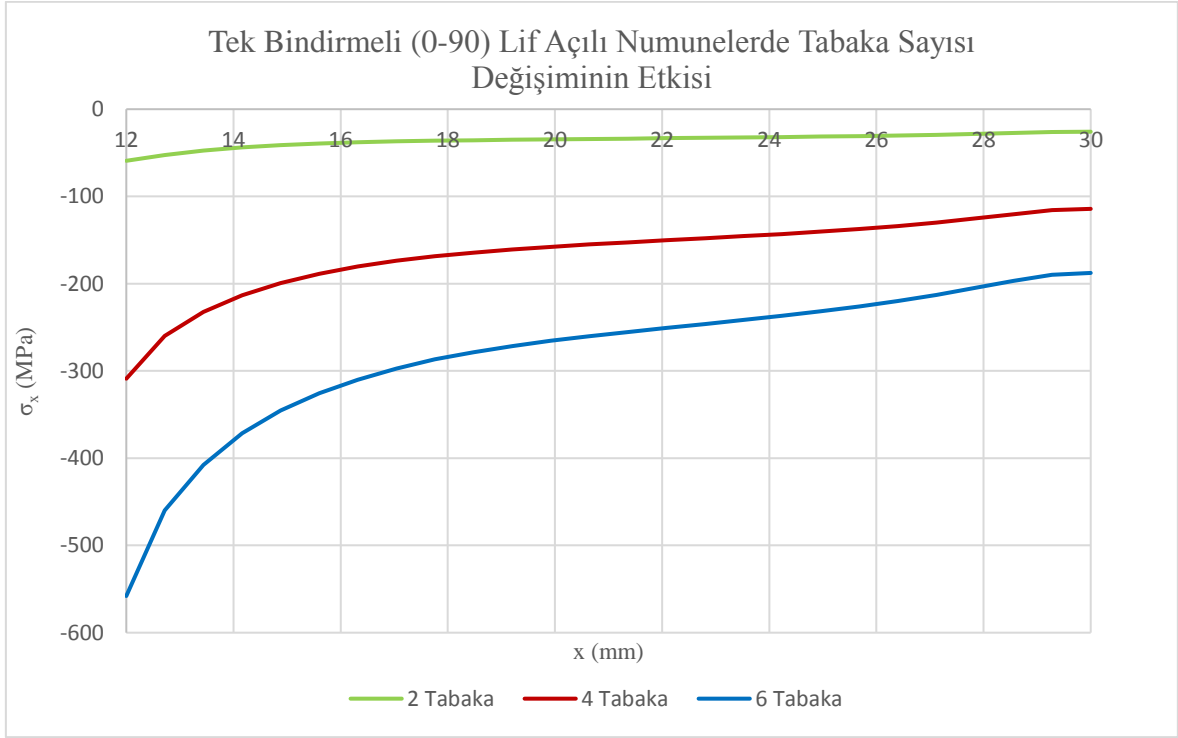
Şekil 4.34. Hasarlı 4 tabakalı (0-90) lif açılı numunelerde bindirme sayısı değişiminin τ_{eqv} gerilme dağılımına etkisi

Şekil 4.34'de hasarlı 4 tabakalı (0-90) lif açılı numunelerin bindirme sayısı değişiminin σ_{eqv} gerilme değerleri elde edilmiştir. Grafik incelendiğinde 35° yamasız numuneler 10 MPa değerlerinden 5 MPa değerine düştüğü daha sonra hızlı bir yükselişe geçerek 80° bandında maksimum değerine yani 700 MPa ulaşmıştır. Tek bindirmeli numuneler ise 20 MPa değerinden 10 MPa düşüp sonra hızlı bir yükselişe 300 MPa değerine ulaşmıştır. Çift bindirmeli numunelerin diğer grafiklerde olduğu gibi daha çok stabil yapısı dikkat çekmiştir.

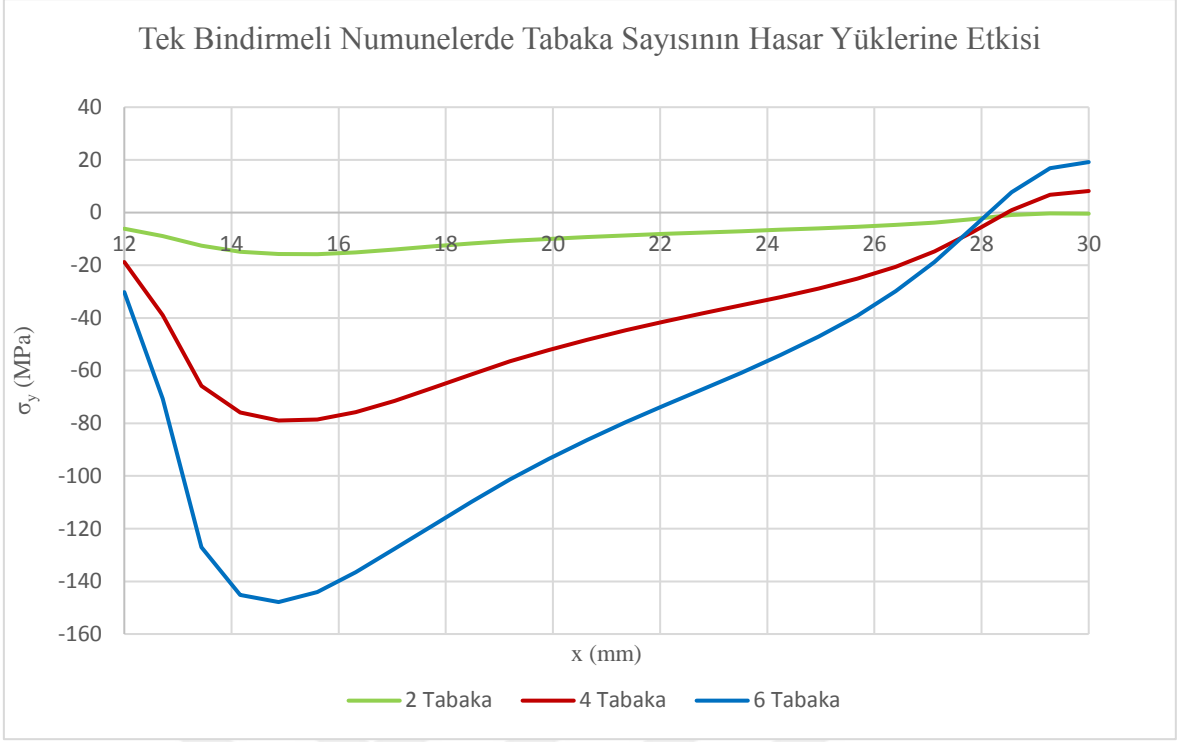
4.2.1.2. BC hattı

4.2.1.2.1. Tek bindirmeli yamalı numunelerde lif yönü ve tabaka sayısının BC hattında hasar yüklerine etkisi

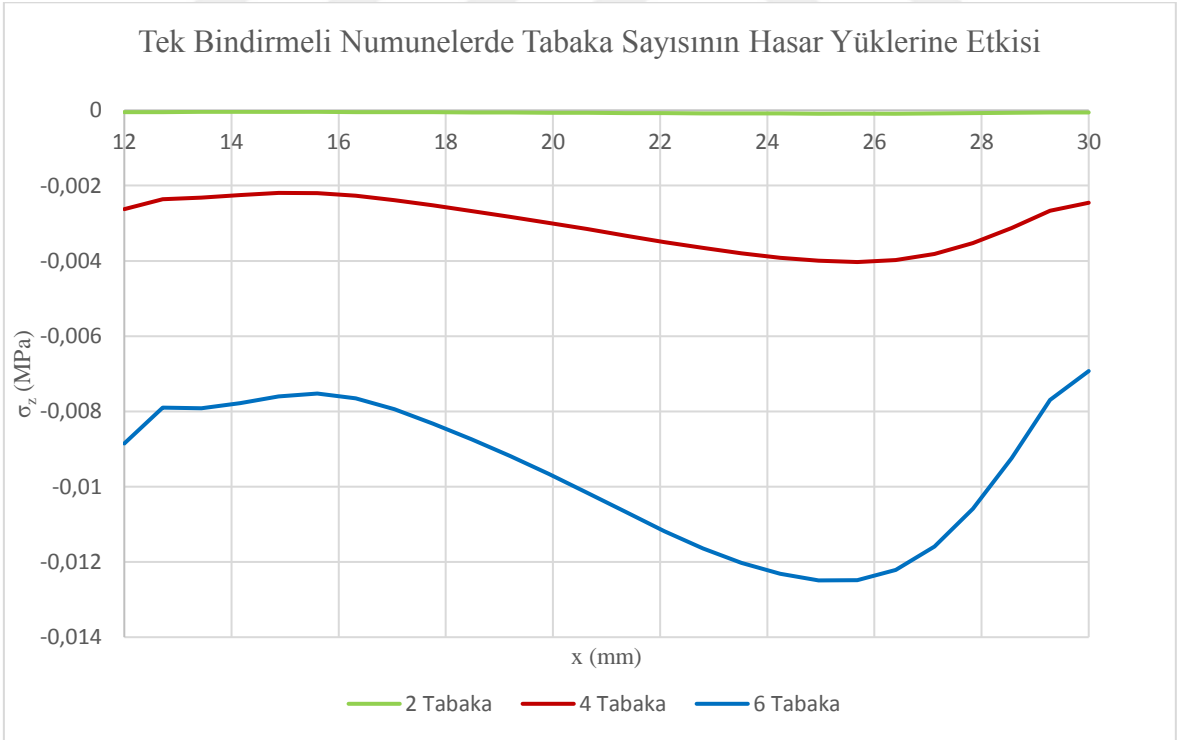
4.2.1.2.1.1. Tabaka sayısının hasar yüklerine etkisi



Şekil 4.35. Hasarlı tek bindirmeli (0-90) açılı numunelerde tabaka sayısı değişiminin σ_x gerilme dağılımına etkisi



Şekil 4.36. Hasarlı tek bindirmeli (0-90) açılı numunelerde tabaka sayısı değişiminin σ_y gerilme dağılımına etkisi

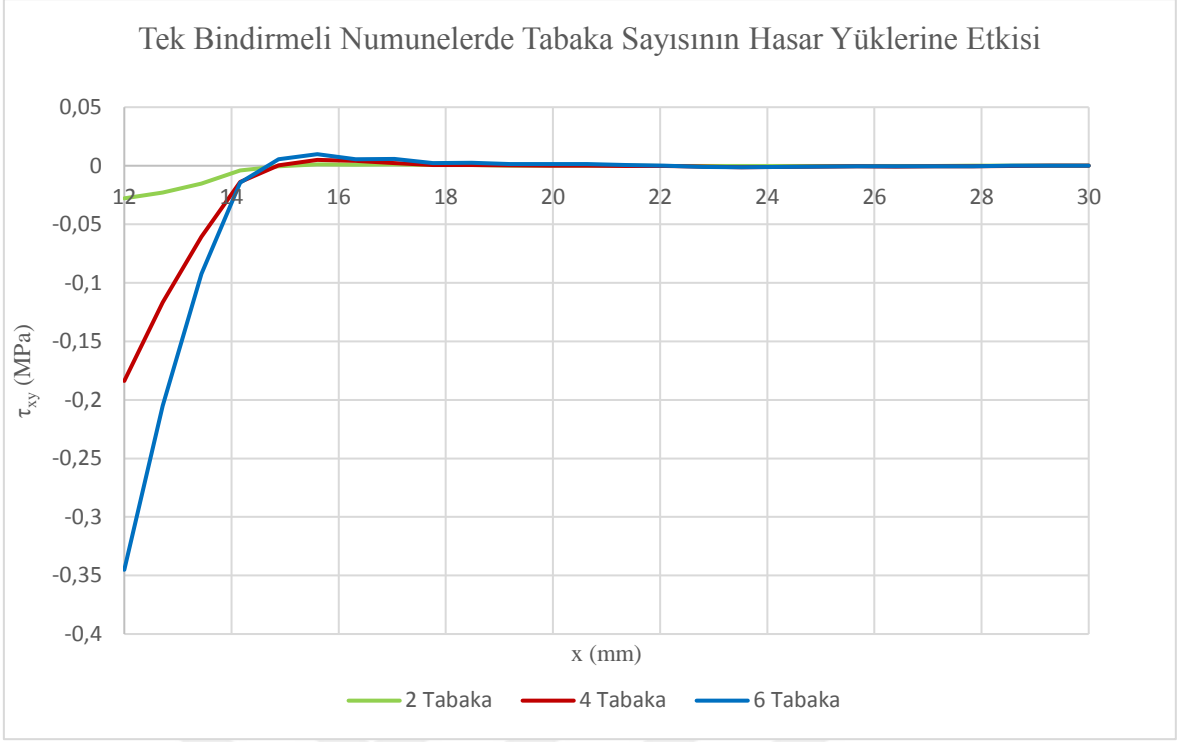


Şekil 4.37. Hasarlı tek bindirmeli (0-90) açılı numunelerde tabaka sayısı değişiminin σ_z gerilme dağılımına etkisi

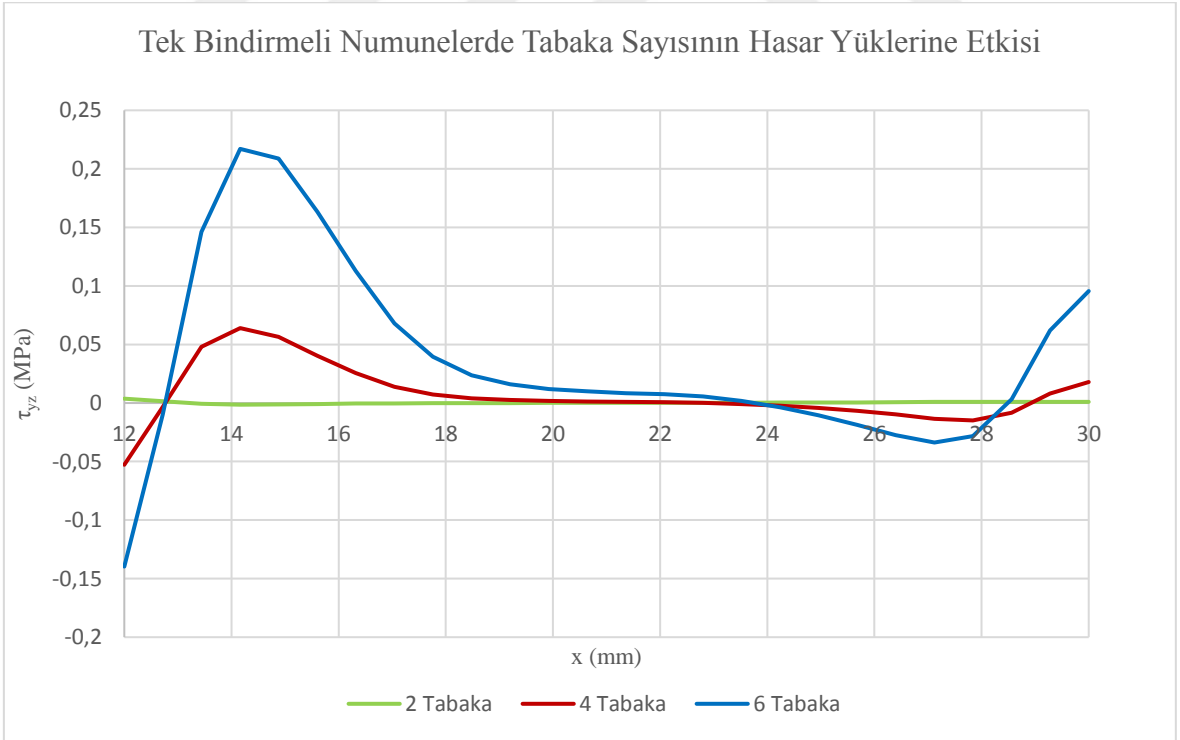
Şekil 4.35'de yapılan hasarlı tek bindirmeli lif açısı (0-90) olan tabaka sayıları sırasıyla 2, 4 ve 6 olan lamalarda, BC hattı boyunca ilk 2 mm'lik x değeri boyunca hızlı bir eksi yöndeki düşüşle 0 MPa gerilme değerine ulaşmışlardır. Düşen numuneler daha sonra hafif eğimli bir yol izleyerek eksi yönden 0 'a doğru hareketlerini sürdürmüşlerdir. Tabaka sayıları incelendiğinde 2 tabakalı numunelerim -50 MPa değerinden 0 MPa değerlerine yakınsandığı gözlemlenmektedir. 4 tabakalı numunelerde aynı grafik hareketi görülmektedir. -300 MPa değerinden hızlı bir eksi yönde azalışla 2 mm de -200 MPa gelen değer BC hattının sonunda -110 MPa değerine gelmiştir. 6 tabakalı numuneler de grafik hareket benzerliği devam etmektedir. -550 MPa değerinden 2 mm sonunda -350 MPa değere ulaşan numuneler BC hattı sonunda -200 MPa civarına ulaşmış olur.

Şekil 4.36'da yapılan hasarlı tek bindirmeli lif açısı (0-90) olan tabaka sayıları sırasıyla 2, 4 ve 6 olan lamaların σ_y gerilme dağılımları incelenmiştir. Bu incelemeler sonunda tabaka sayısı farklı numunelerin ilk 2 mm boyunca eksi yönde hızlı bir artış gösterdiği daha sonra daha az bir eğimle 0 MPa değerine ulaştığı ve bu noktadan sonra hareketine pozitif yönde devam ettiği gözlemlenmektedir. 2 mm noktasında 2 tabakalı numuneler -20 MPa, 4 tabakalı numuneler -80 MPa, 6 tabakalı numuneler ise -150 MPa değerlerindedir. Bu değerlerden sonra pozitif yöne geçtikleri nokta 16 mm'dir.

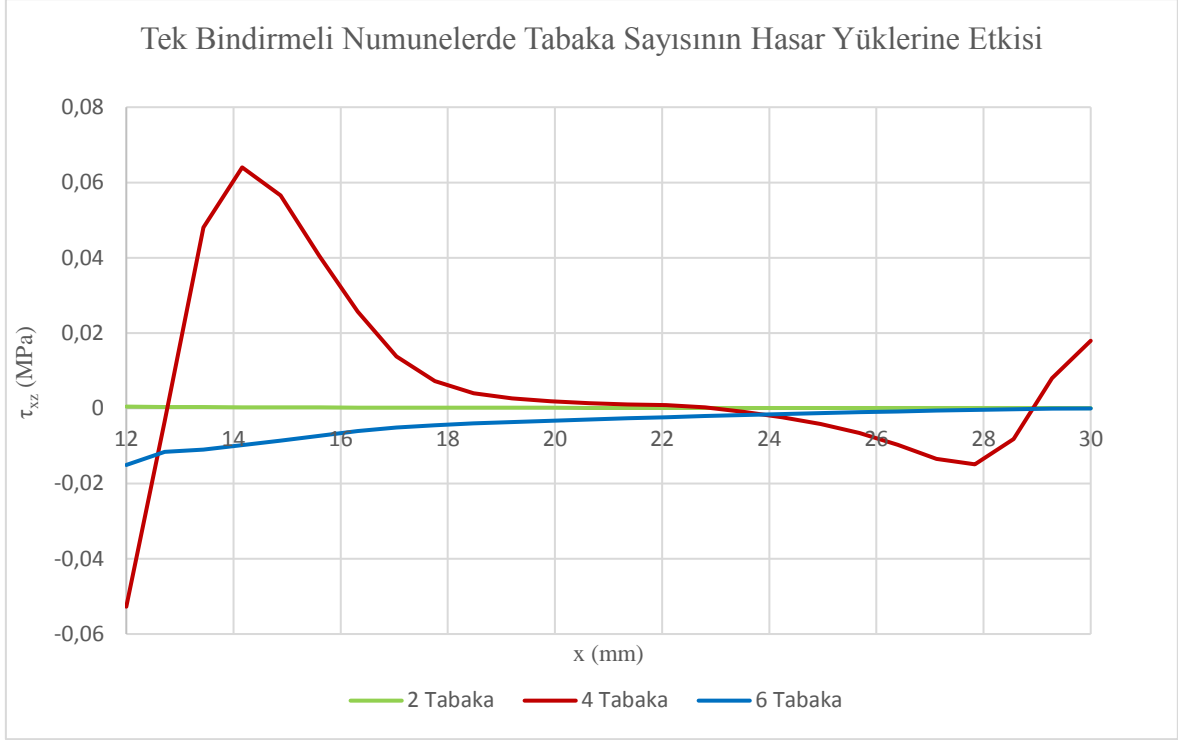
Şekil 4.37'de yapılan hasarlı tek bindirmeli lif açısı (0-90) olan tabaka sayıları sırasıyla 2, 4 ve 6 olan lamaların σ_z gerilme dağılımları incelenmiştir. Numunelerin ilk 2 mm hat boyunca eksi yönden artı yöne doğru bir artış sergileyip sonra tekrar eksi yöne devam edip artış gösteren bir davranışta bulunmuşlardır. 13 mm sehimi değeri numuneler için yine bir değişim noktası olmuş ve numuneler artı yöne doğru bir eğilim göstermişlerdir. 13 mm sehimi değerinde 2 tabakalı numunelerde gerilme -0,01 MPa değerinde, 4 tabakalı numuneler de bu değer -0,004, 6 tabakalı ise -0,012 değerindedir.



Şekil 4.38. Hasarlı tek bindirmeli (0-90) açılı numunelerde tabaka sayısı değişiminin τ_{xy} gerilme dağılımına etkisi



Şekil 4.39. Hasarlı tek bindirmeli (0-90) açılı numunelerde tabaka sayısı değişiminin τ_{yz} gerilme dağılımına etkisi



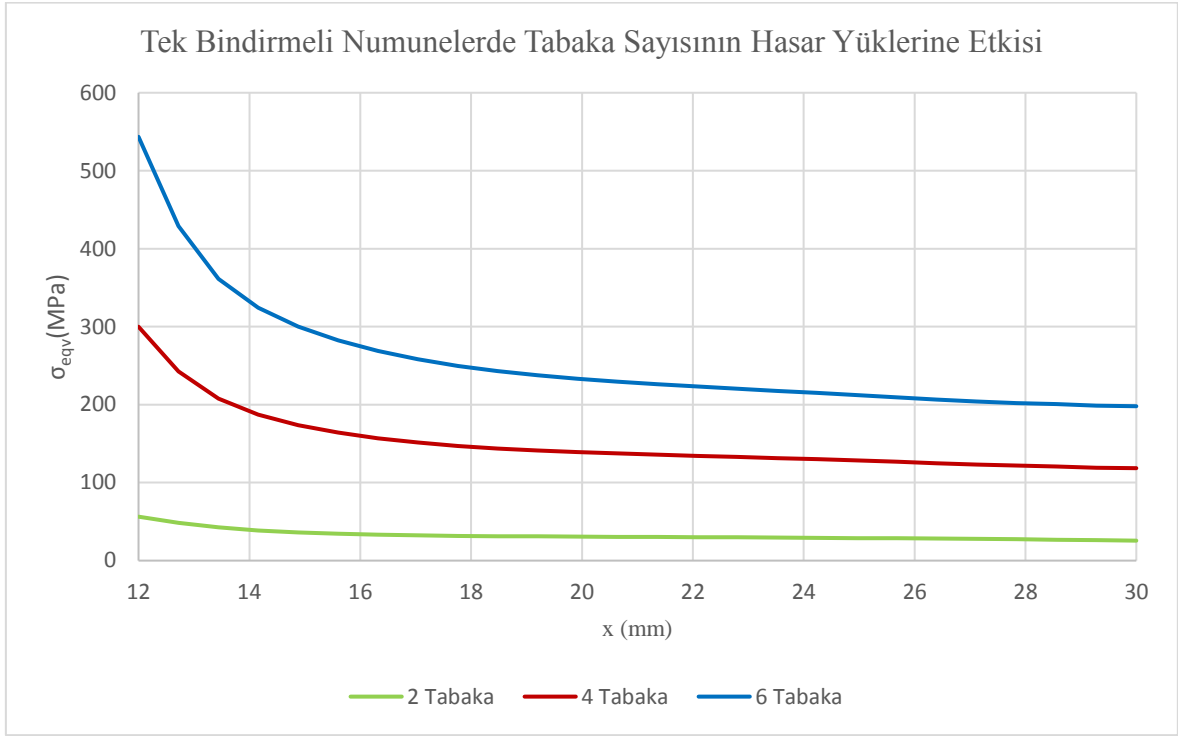
Şekil 4.40. Hasarlı tek bindirmeli (0-90) açılı numunelerde tabaka sayısı değişiminin τ_{xz} gerilme dağılımına etkisi

Şekil 4,38'te yapılan hasarlı tek bindirmeli lif açısı (0-90) olan tabaka sayıları sırasıyla 2, 4 ve 6 olan lamaların τ_{xy} gerilme dağılımları incelenmiştir. İncelenen grafiklerde İlk 2 mm x mesafesinde numunelerde eksi yönden artı yöne doğru hızlı bir artış gözlemlenmektedir. Bu artış daha sonra kendisini daha düşük eğim açılarında 0 MPa değerine yakınlaştırmıştır.

Şekil 4.39'da yapılan hasarlı tek bindirmeli lif açısı (0-90) olan tabaka sayıları sırasıyla 2, 4 ve 6 olan lamaların τ_{yz} gerilme dağılımları incelenmiştir. Bu dağılımlar neticesinde ilk 1,5 mm x değerinde numunelerin eksi yönden artı yöne çok hızlı bir şekilde geçtiği ve daha sonra hızlı bir düşüşle 11 m değerinde 0 MPa değerine geldiği gözlemlenmektedir. Numuneler daha sonra kısa bir dalgalanma ile 16 mm değerinden sonra tekrar pozitif yöne geçip gerilme değerlerini artırmışlardır. Bu kritik noktadaki gerilme değerleri 2 tabaka için 1,5 mm noktasında -0,001 MPa değerinde, 4 tabaka için -0,05 MPa değerinde, 6 tabaka için -0,13 MPa değerindedir. 18 mm sehim sonunda ise aldıkları gerilme değerleri 2 tabaka için; 0 MPa, 4 tabaka için; 0,02 MPa, 6 tabaka için 0,1 MPa değerindedir.

Şekil 4.40'da yapılan hasarlı tek bindirmeli lif açısı (0-90) olan tabaka sayıları sırasıyla 2, 4 ve 6 olan lamaların τ_{xz} gerilme dağılımları incelenmiştir. Bu dağılımlar neticesinde ilk 1,5 mm x değerinde 4 tabakalı numune için maksimum gerilme değeri 0,06

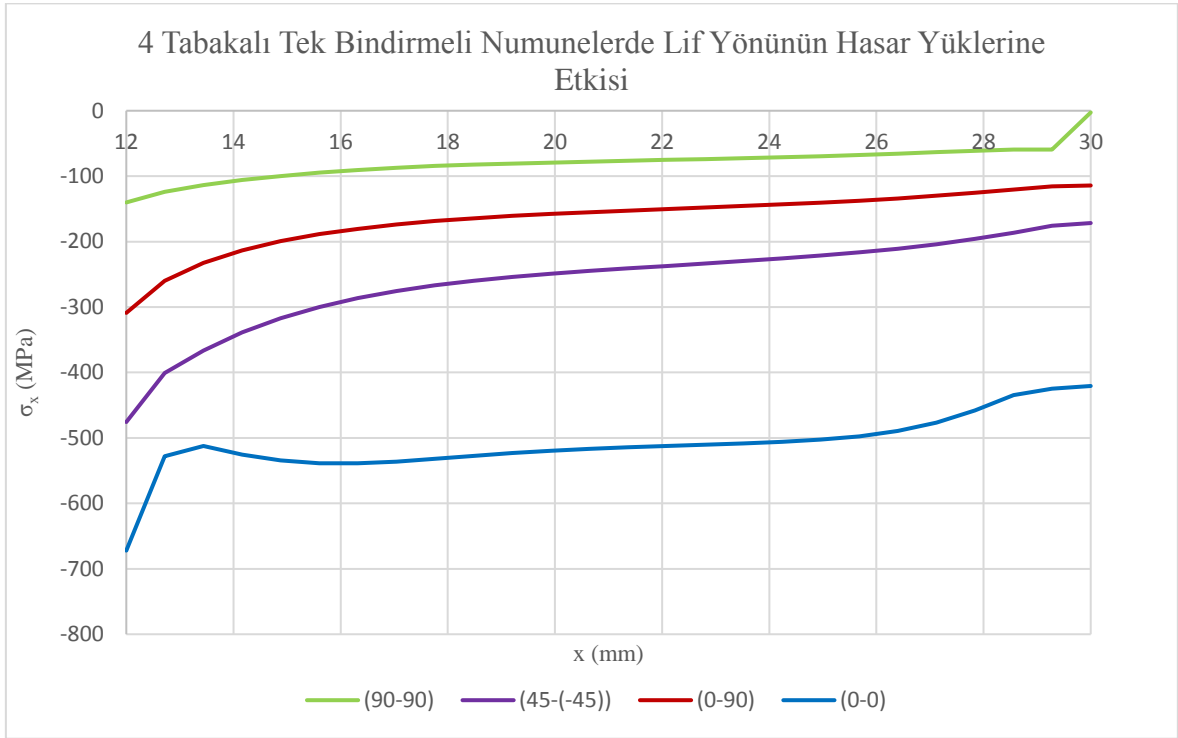
MPa ulaştığı gözlemlenmiştir. 6 tabakalı numuneler ise eksi yönden başlayan bir hareketle az eğimli bir yol izleyerek 18 mm sonunda 0 MPa değerine yaklaşmıştır.



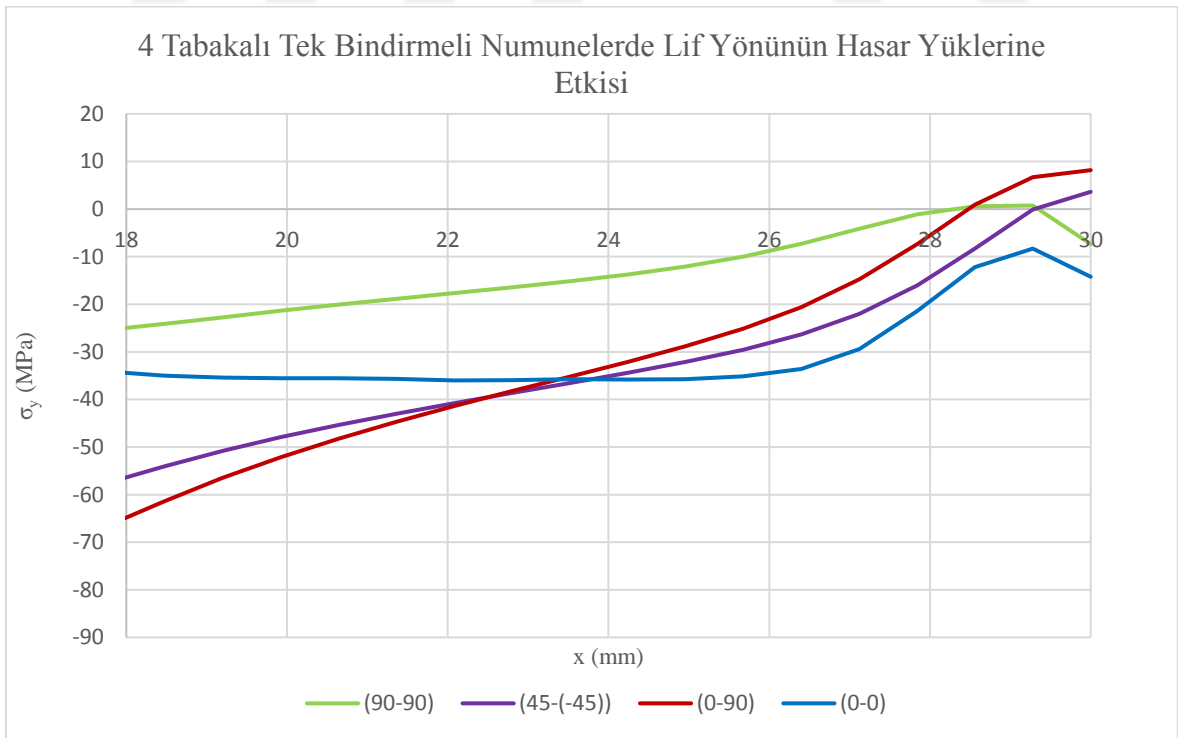
Şekil 4.41. Hasarlı tek bindirmeli (0-90) açılı numunelerde tabaka sayısı değişiminin σ_{eqv} gerilme dağılımına etkisi

Şekil 4.41'de yapılan hasarlı tek bindirmeli lif açısı (0-90) σ_{eqv} gerilme dağılımı incelenmiştir. BC hattı boyunca ilk 2 mm'lik x değeri boyunca hızlı bir eksi yöndeki düşüş gösteren numuneler daha sonra hafif eğimli bir yol izleyerek pozitif yönden 0'a doğru hareketlerini sürdürmüşlerdir. Tabaka sayıları incelendiğinde 2 tabakalı numunelerim 50 MPa değerinden 10 MPa değerlerine yakınsandığı gözlemlenmektedir. 4 tabakalı numunelerde aynı grafik hareketi görülmektedir. 300 MP değerinden hızlı bir eksi yönde azalışla 2 mm de 180 MPa gelen değer BC hattının sonunda -110 MPa değerine gelmiştir. 6 tabakalı numuneler de grafik benzerliği devam etmektedir. 550 MPa değerinden 2 mm sonunda 350 MPa değere ulaşan numuneler BC hattı sonunda 200 MPa civarına ulaşmış olur.

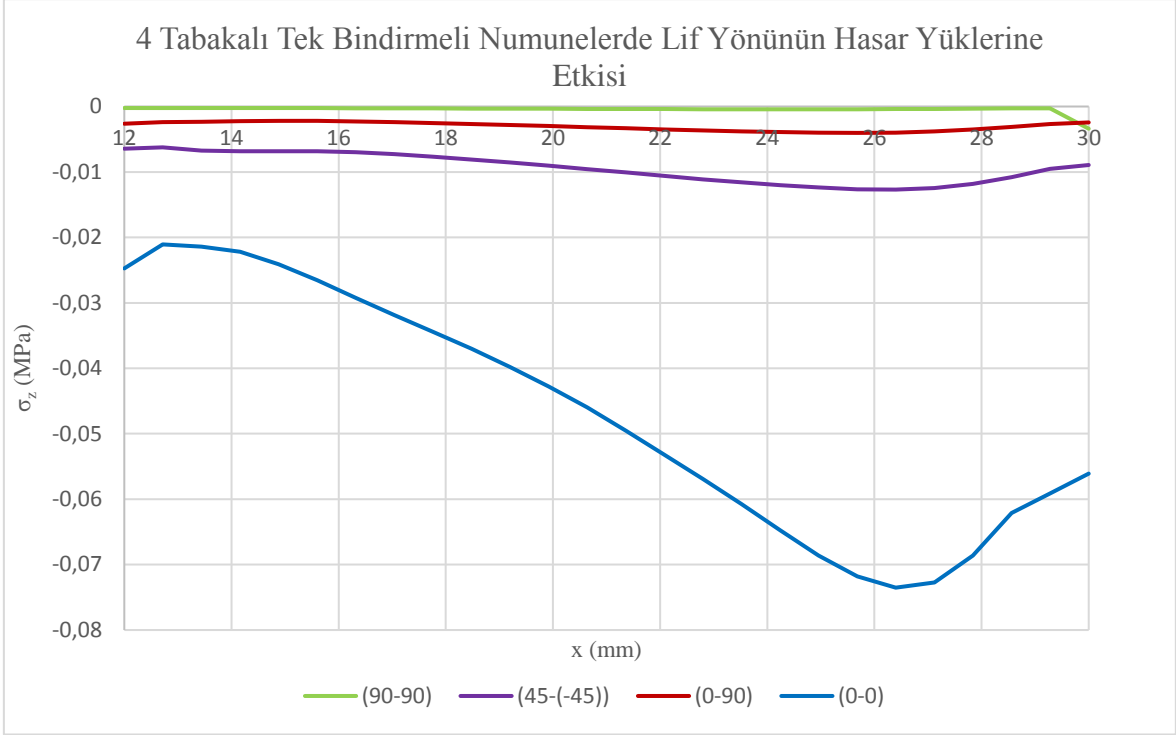
4.2.1.2.1.2. Lif yönünün hasar yüklerine etkisi



Şekil 4.42. Hasarlı tek bindirmeli 4 tabakalı numunelerde lif yönü değişiminin σ_x gerilme dağılımına etkisi



Şekil 4.43. Hasarlı tek bindirmeli 4 tabakalı numunelerde lif yönü değişiminin σ_y gerilme dağılımına etkisi



Şekil 4.44. Hasarlı tek bindirmeli 4 tabakalı numunelerde lif yönü değişiminin σ_z gerilme dağılımına etkisi

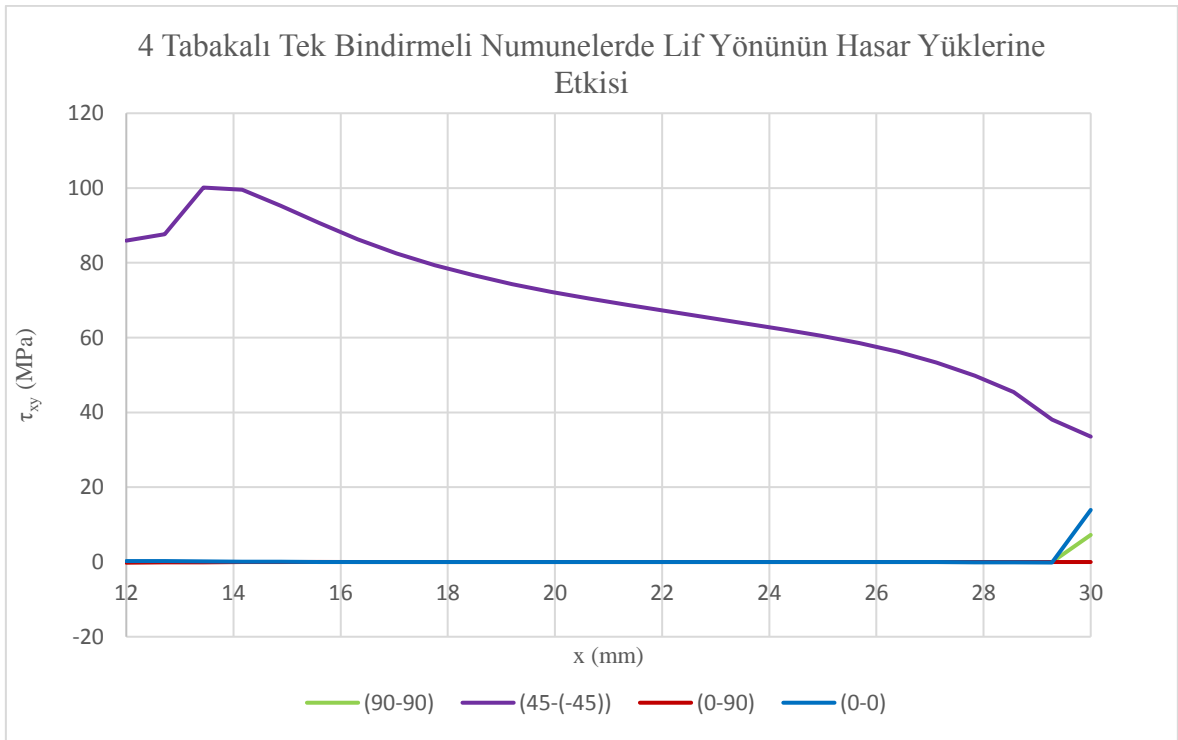
Şekil 4.42 'de yapılan hasarlı tek bindirmeli 4 tabakalı olan lif yönleri değişiklik gösteren numunelerde, BC hattı boyunca ilk 2 mm' lik x değeri boyunca hızlı bir eksi yönden pozitif yöne artış gösteren numuneler daha sonra hafif eğimli bir yol izleyerek pozitif yön 0 'a doğru hareketlerini sürdürmüşlerdir. Tabaka sayıları incelendiğinde (90-90) lif yönlü numunelerim -130 MPa değerinden 0 MPa değerlerine yakınsandığı gözlemlenmektedir. (0-90) lif yönlü numunelerde aynı grafik hareketi görülmektedir. -300 MP değerinden hızlı bir eksi yönde azalışla 2 mm de -200 MPa gelen değer BC hattının sonunda -110 MPa değerine gelmiştir. (45-(-45)) lif yönlü numuneler de grafik benzerliği devam etmektedir. -480 MPa değerinden 2 mm sonunda -300 MPa değere ulaşan numuneler BC hattı sonunda -180 MPa civarına ulaşmış olur.

Lif yönü (0-0) olan numuneler de aynı grafik yolunu takip etmişlerdir. -700 MPa değerinden hızlı bir eksi yönde azalışla 2 mm de -500 MPa gelen değer BC hattının sonunda -420 MPa değerine gelmiştir.

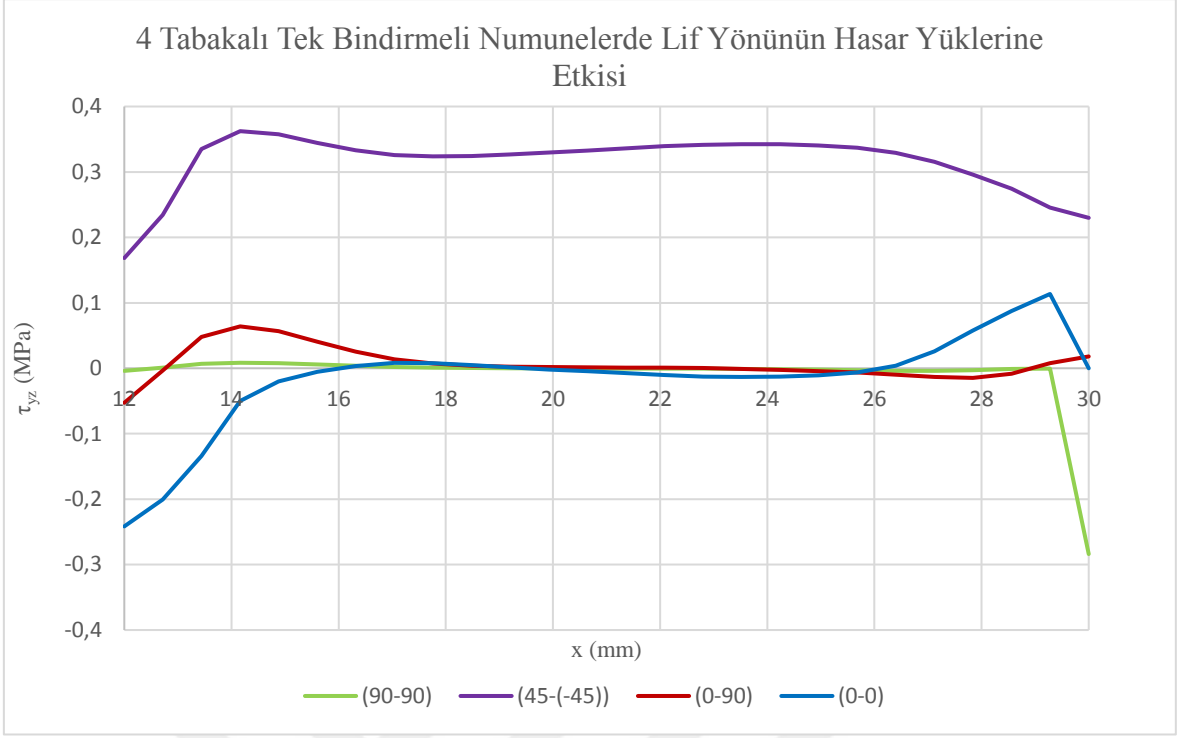
Şekil 4.43'de hasarlı tek bindirmeli 4 tabakalı numunelerde lif yönü değişiminin σ_y gerilme dağılımı incelenmiştir. İncelemeler sonucu elde edilen grafikte 0 noktasından başlayan gerilme davranışının 1,5 mm sonunda hızlı bir düşüşe geçtiği görülmektedir. (90-90) lif yönünde -28 MPa değerine, (45-(-45)) lif yönünde -68 MPa değerine, (0-90) lif

yönünde -80 MPa değerine, (0-0) lif yönünün diğerlerinden farklı bir izleyerek -18 MPa değerine geldiği gözlemlenilmektedir. 1,5 mm x değerinden sonra keskin bir dönüşle eksi yönden pozitif yöne doğru bir hareket tespit edilmiştir.

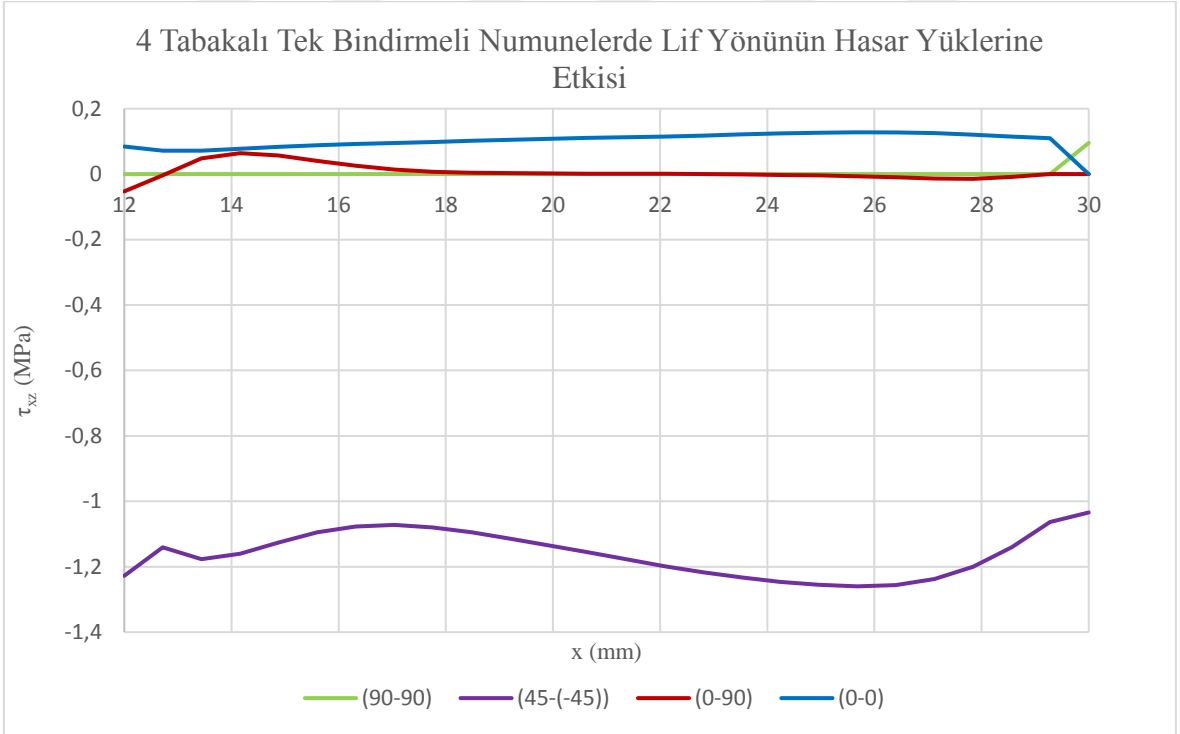
Şekil 4.44'te hasarlı tek bindirmeli 4 tabakalı numunelerde lif yönü değişiminin σ_z gerilme dağılımı incelenmiştir. Bu incelemeler sonucunda grafiklerin hepsinin aynı hareket yollarını izlediğini sadece lif yönü (0-0) numunenin değerlerinin diğerlerine oranla fazla değiştiği gözlemlenmektedir.



Şekil 4.45. Hasarlı tek bindirmeli 4 tabakalı numunelerde lif yönü değişiminin τ_{xy} gerilme dağılımına etkisi



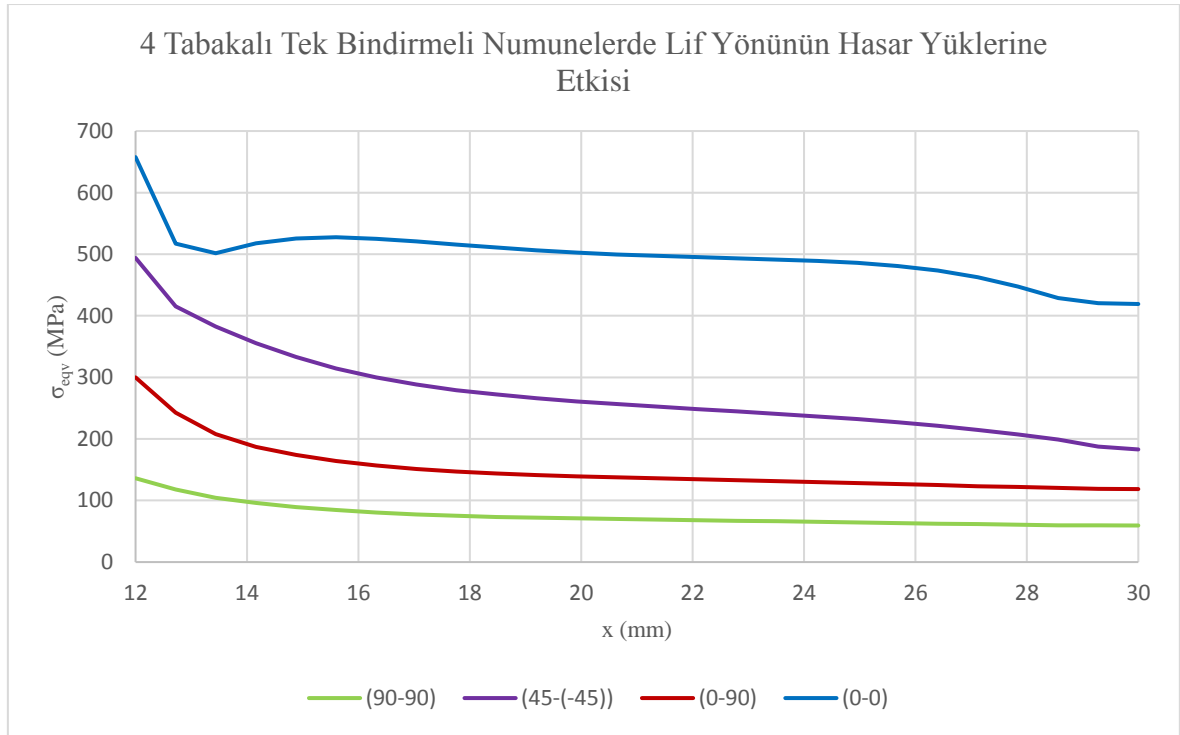
Şekil 4.46. Hasarlı tek bindirmeli 4 tabakalı numunelerde lif yönü değişiminin τ_{yz} gerilme dağılımına etkisi



Şekil 4.47. Hasarlı tek bindirmeli 4 tabakalı numunelerde lif yönü değişiminin τ_{xz} gerilme dağılımına etkisi

Şekil 4.46’da hasarlı tek bindirmeli 4 tabakalı numunelerde lif yönü değişiminin σ_z gerilme dağılımı incelenmiştir. İncelenen grafikte lif yönleri farklı numunelerin gerilme davranışları aynı olmakla beraber farklı gerilme değerleri elde edilmiştir. İlk 1,5 mm değerinde (0-0) lif yönlü numuneler -0,2 MPa dan 0 değerine oldukça yaklaşır daha sonra az eğimli bir stabil yol izleyip 13 mm x değerinde pozitif alana geçiş yapmıştır. 13 mm değerinde birden artışa geçen gerilme maksimum 0,1 MPa değerini görmüştür. (0-90) lif yönlü numuneler -0,05 MPa dan 0,05 değerine oldukça yaklaşır daha sonra az eğimli bir stabil yol izleyip 13 mm x değerinde pozitif alana geçiş yapmıştır. 13 mm değerinde birden artışa geçen gerilme maksimum 0,06 MPa değerini görmüştür. Aynı hareketleri izleyen (45-(-45)) lif yönlü numuneler 0,2 MPa başlangıç değerinden 0,35 MPa değerine hızlı bir artış gösterip sonra az eğimli stabil bir düşüşle 0,25 MPa değerini görmüştür.

Şekil 4.47’de hasarlı tek bindirmeli 4 tabakalı numunelerde lif yönü değişiminin τ_{xz} gerilme dağılımı incelenmiştir. İncelenen grafikte lif yönleri farklı numunelerin gerilme davranışları da farklı özellik göstermişlerdir. Lif yönü (45-(-45)) olan numuneler -1,2 MPa başlangıçlı değerinden 2 mm x değerine kadar artış gösterip daha sonra az eğimli bir dalgalanmış grafikte 18 mm sonunda -1 MPa değerini görmüştür. Lif yönü (0-90) ile aynı benzer grafik hareketi gösteren numune -0,05 MPa başlangıç değerinden 0,1 MPa değerine ulaşır tekrar hafif bir dalgalanma ile yaklaşık 0 MPa değerindedir.

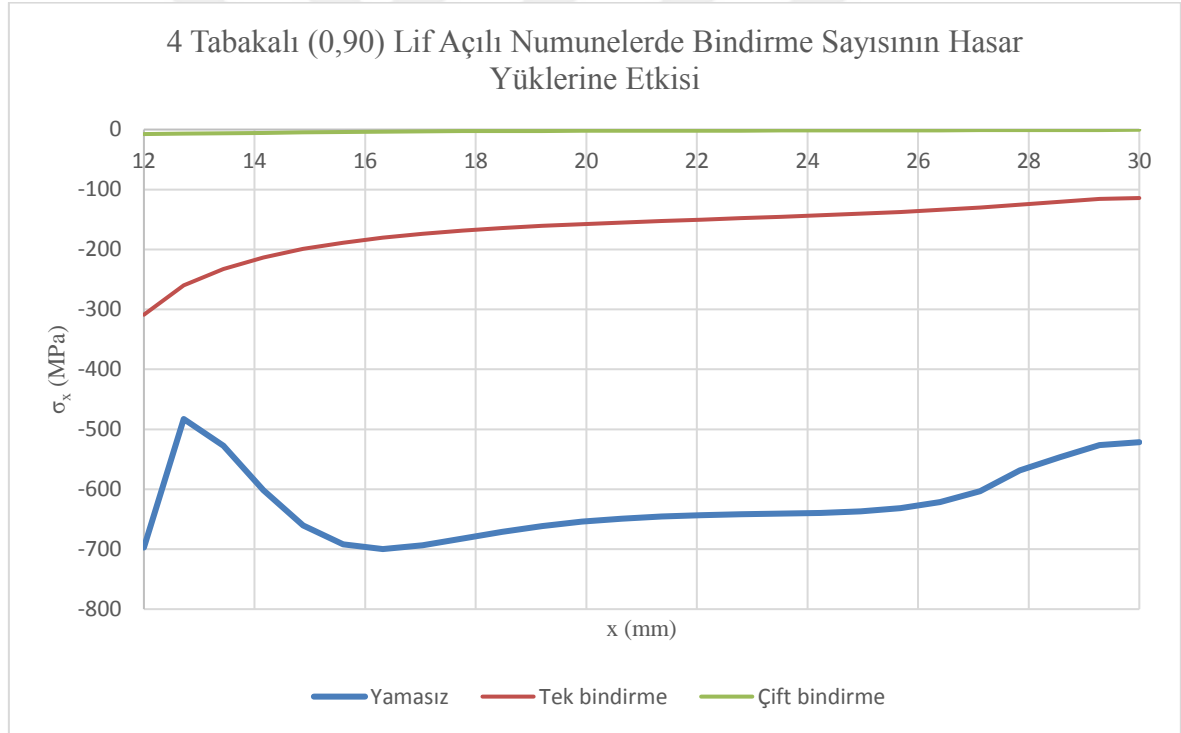


Şekil 4.48. Hasarlı tek bindirmeli 4tabakalı numunelerde lif yönü değişiminin σ_{eqv} gerilme dağılımına etkisi

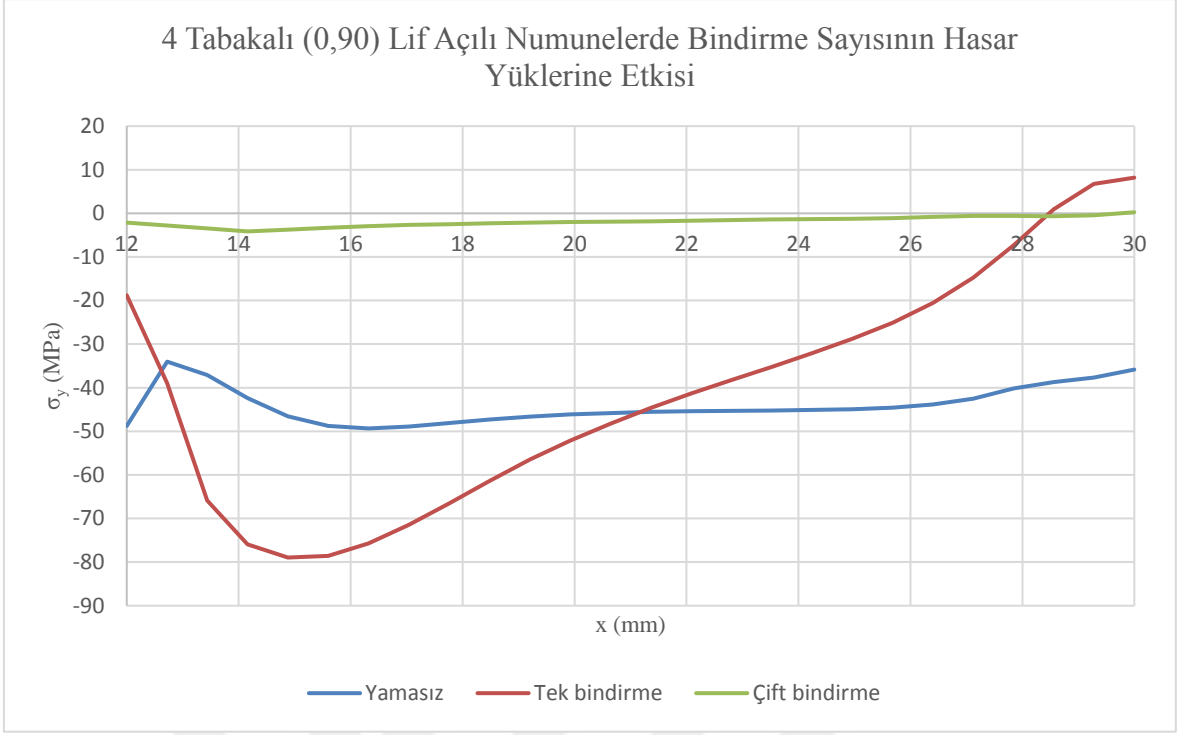
Şekil 4.48 ' de yapılan hasarlı tek bindirmeli 4 tabakalı olan lif yönleri değişiklik gösteren numunelerde, BC hattı boyunca ilk 2 mm'lik x değeri boyunca hızlı bir düşüş göstermektedir. Bu düşüşün ardından az eğimli bir davranışla satabil olarak düşmeye devam ederler. Lif yönleri incelendiğinde (90-90) lif yönlü numunelerim 130 MPa değerinden 80 MPa değerlerine yakınsandığı gözlemlenmektedir. (0-90) lif yönlü numunelerde aynı grafik hareketi görülmektedir. 300 MPa değerinden hızlı bir eksi yönde azalışla 2 mm de 180 MPa gelen değer BC hattının sonunda 120 MPa değerine gelmiştir. (45-(-45)) lif yönlü numuneler de grafik benzerliği devam etmektedir. 500 MPa değerinden 2 mm sonunda 310 MPa değere ulaşan numuneler BC hattı sonunda -180 MPa civarına ulaşmış olur.

Lif yönü (0-0) olan numuneler de aynı grafik yolunu takip etmişlerdir. 650 MPa değerinden hızlı bir eksi yönde azalışla 2 mm de 500 MPa gelen değer BC hattının sonunda 420 MPa değerine gelmiştir.

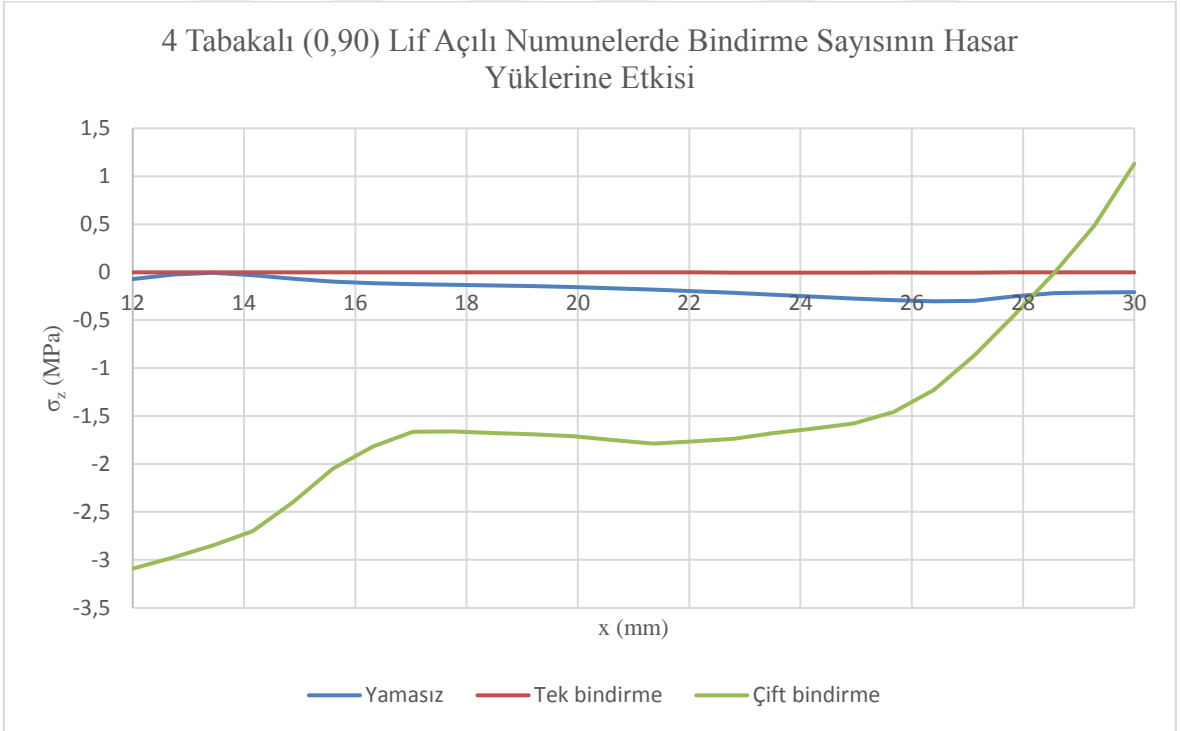
4.2.1.1.4. Bindirme sayısı değişiminin BC hattının hasar yüklerine etkisi



Şekil 4.49. Hasarlı 4 tabakalı (0-90) lif açılı numunelerde bindirme sayısı değişiminin σ_x gerilme dağılımına etkisi



Şekil 4.50. Hasarlı 4 tabakalı (0-90) lif açılı numunelerde bindirme sayısı değişiminin σ_y gerilme dağılımına etkisi

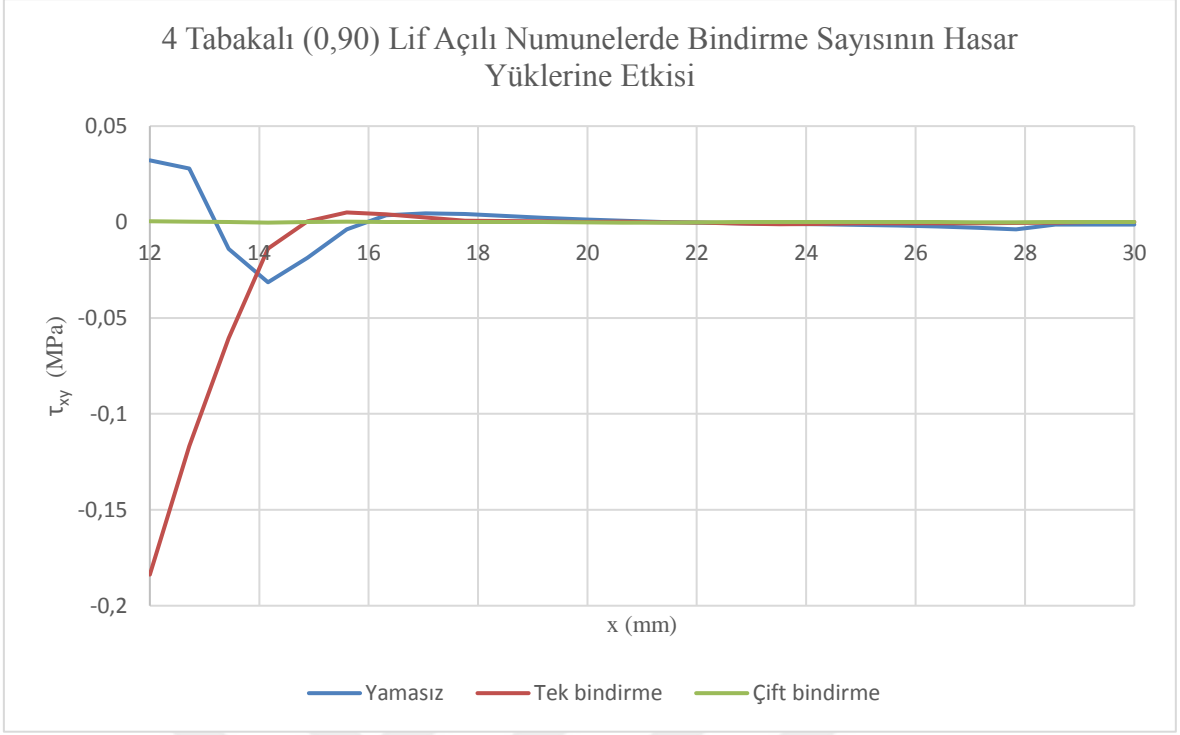


Şekil 4.51. Hasarlı 4 tabakalı (0-90) lif açılı numunelerde bindirme sayısı değişiminin σ_z gerilme dağılımına etkisi

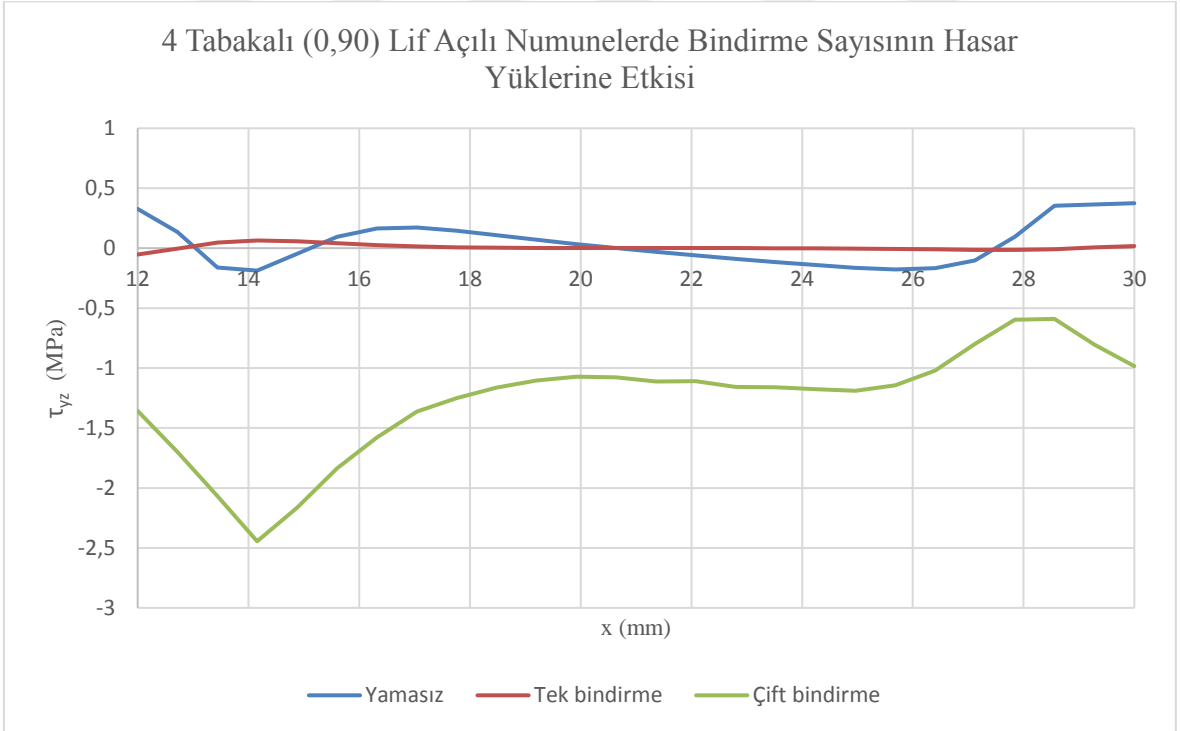
Şekil 4.49’de hasarlı 4 tabakalı (0-90) lif açılı numunelerde bindirme sayısı değişiminin σ_x gerilme dağılımı incelenmiştir. İncelenen grafikte BC hattı boyunca yamasız numunelerde -700 MPa değerinden artı yöne hızlı bir artışla -500 MPa değerine ulaşmıştır. Daha sonra eksi yönde bir düşüşle tekrar eski seviyesine gelen numune hafif bir eğimle pozitif yöne doğru ilerleme kaydetmiş ve -550 MPa seviyelerine gelmiştir. Tek bindirme uygulanan numune gerilmeleri ise -300 MPa dan -120 MPa doğru az eğimli bir düşüş sergilemiştir. Çift bindirmeli numunelerde ise durum 0 MPa bandında görünmeyen ufak dalgalanmalarla hareketini tamamlamıştır.

Şekil 4.50’de hasarlı 4 tabakalı (0-90) lif açılı numunelerde bindirme sayısı değişiminin σ_y gerilme dağılımı incelenmiştir. Yamasız numunelerde -50 MPa başlangıç seviyesinden başlayan numune pozitif yöne doğru bir artışla -35 MPa seviyesine gelmiştir. Bu noktadan bir keskin dönüş izleyerek 2 mm x sonunda eski gerilme değeri -50 MPa seviyesine inmiştir. Daha sonra hafif bir eğimle pozitif yöne doğru ilerleme kaydetmiş ve -40 MPa seviyelerine gelmiştir. Tek bindirmeli numunelerde ise durum biraz daha farklıdır. -20 MPa seviyesinden başlayan gerilme değeri Hızlı bir düşüşle -80 MPa seviyesine gelmiş bu noktadan sonra 0 MPa seviyesine doğru hızla artmıştır. Çift bindirmeli numunelerde ise durum 0 MPa bandında görünmeyen ufak dalgalanmalarla hareketini tamamlamıştır.

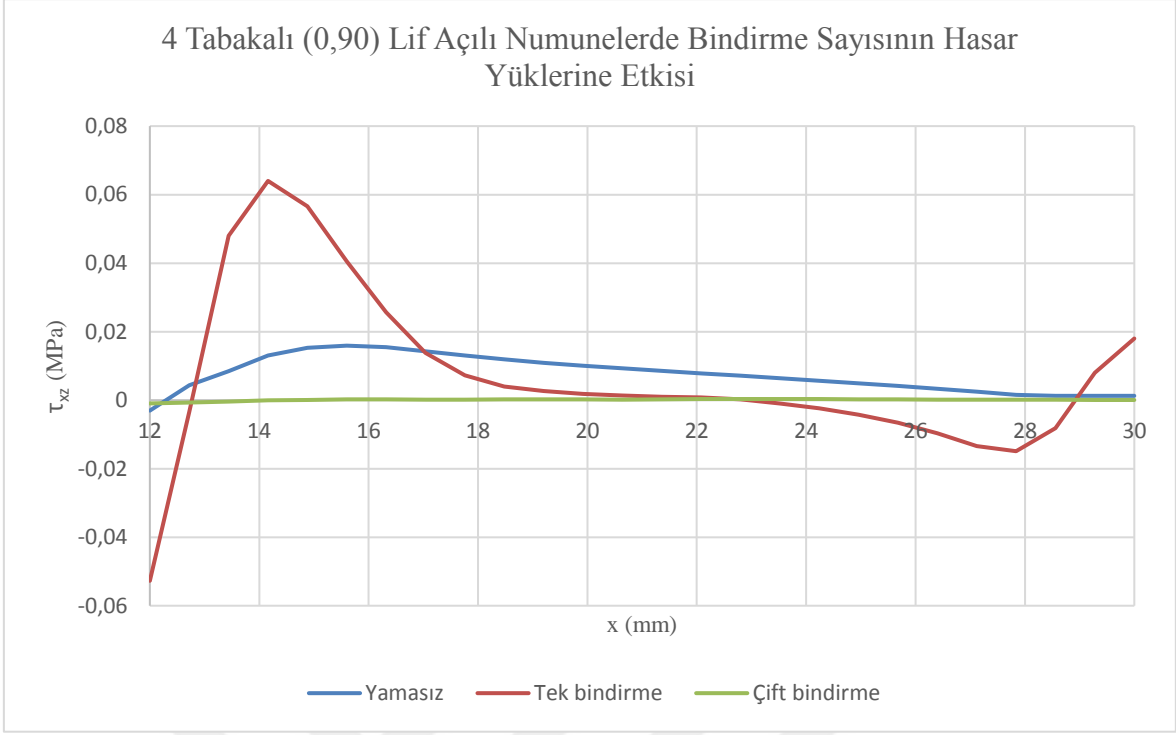
Şekil 4.51’de hasarlı 4 tabakalı (0-90) lif açılı numunelerde bindirme sayısı değişiminin σ_z gerilme dağılımı incelenmiştir. Yamasız numunelerde -0,75 MPa başlangıç seviyesinden başlayan numune pozitif yöne doğru bir artışla -0,1 MPa seviyesine gelmiştir. Bu noktadan bir keskin dönüş izleyerek 2 mm x sonunda eski gerilme değeri -0,75 MPa seviyesine inmiştir. Daha sonra hafif bir eğimle pozitif yöne doğru ilerleme kaydetmiş ve -2,25 MPa seviyelerine gelmiştir. Tek bindirme uygulanan numuneler ise gözle görülmeyen -0,0025 MPa seviyesinden 0,002 seviyesine artış gösteri 14 mm sonunda -0,004 MPa seviye inip tekrar pozitif yöne bir eğilim göstererek -0,003 MPa değerine gelmiştir. Çift bindirmeli numunelerde -3 MPa seviyesinden dalgalanmalı bir yol izleyerek 0 MPa seviyelerine gelmiştir.



Şekil 4.52. Hasarlı 4 tabakalı (0-90) lif açılı numunelerde bindirme sayısı değişiminin τ_{xy} gerilme dağılımına etkisi



Şekil 4.53. Hasarlı 4 tabakalı (0-90) lif açılı numunelerde bindirme sayısı değişiminin τ_{yz} gerilme dağılımına etkisi



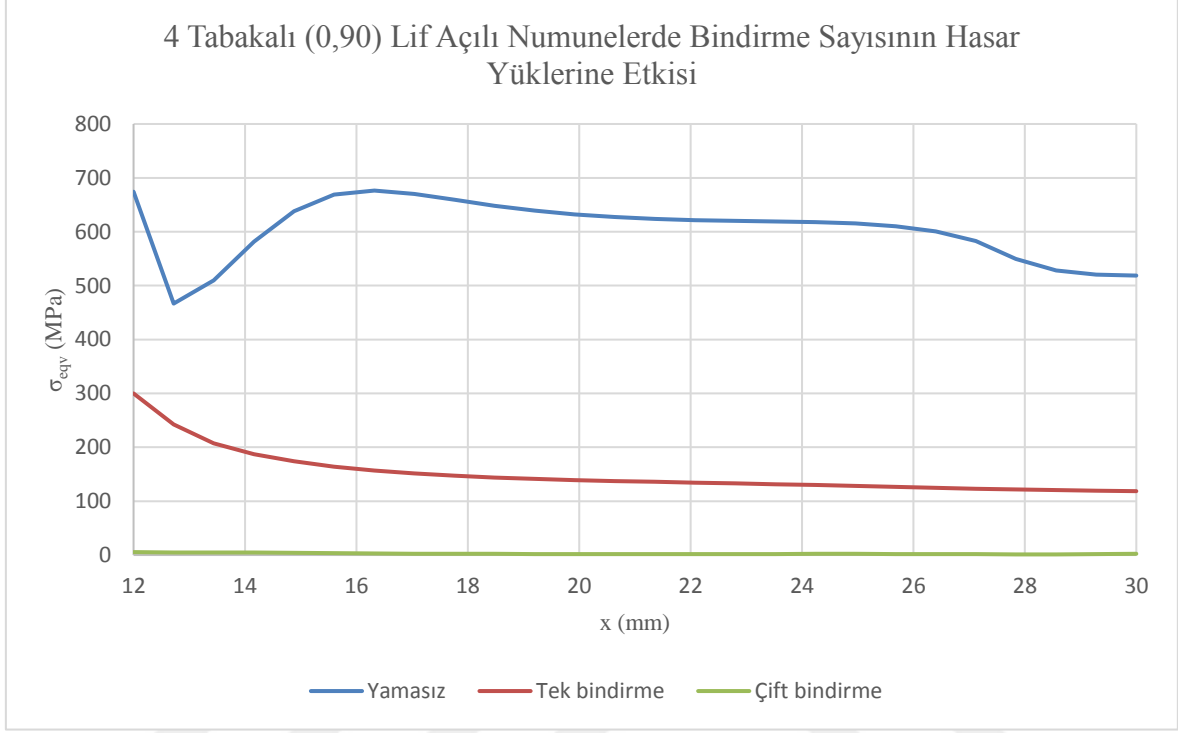
Şekil 4.54. Hasarlı 4 tabakalı (0-90) lif açılı numunelerde bindirme sayısı değişiminin τ_{xz} gerilme dağılımına etkisi

Şekil 4.52’de hasarlı 4 tabakalı (0-90) lif açılı numunelerde bindirme sayısı değişiminin τ_{xy} gerilme dağılımı incelenmiştir. İncelemeler sonunda yamasız numunelerin 0,025 değerinden hızlı bir düşüşle -0,025 değerine düştüğü gözlemlenmiştir. Tek bindirme uygulanan numunelerde ise -0,18 MPa değerinden çok keskin bir artış ile 0,01 MPa pozitif değerlere ulaşmıştır.

Şekil 4.53’de hasarlı 4 tabakalı (0-90) lif açılı numunelerde bindirme sayısı değişiminin τ_{yz} gerilme dağılımı incelenmiştir. İncelenen grafikte yamasız numunelerin 0,25 MPA başlangıç değerlerinden -0,25 MPa değerine geldiğini daha sonra keskin bir dönüşle 4 mm sehimde 0,20 MPa değerine ulaştığı görülmüştür. 9 mm x değerinde negatif bölüme geçen numune yeni bir pozitif yönlü dönüşle sonunda 0,4 MPa değerine ulaşır. Çift bindirme uygulanan numunelerinde yamasız numuneler gibi davranış sergilediği gözlemlenmiştir. -1,5 MPa değerinden hızlı bir düşüşle -2,5 MPa değerine gelen numune buradan tekrar bir yön değişikliği ile 18 mm x değeri sonunda -1,75 MPa değerine ulaşmıştır.

Şekil 4.54’de hasarlı 4 tabakalı (0-90) lif açılı numunelerde bindirme sayısı değişiminin τ_{xz} gerilme dağılımı incelenmiştir. İncelemeler sonunda yamasız numunelerin -0,0001 gibi çok küçük bir değerden başlayıp -0,18 MPa ulaştığı ve daha sonra azalarak 0 gittiği gözlemlenmiştir. Tek bindirmeli numunelerin -0,05 MPa değerinden çok hızlı bir artış

ile 0,06 MPa değerlerine ulaştığı daha sonra 11 mm x sonunda negatif bölgeye taşındığı ve son olarak da 18 mm sonunda -0,01 MPa değerinde kaldığı gözlemlenmiştir. Çift bindirmeli numunelerin ise gözle görünmeyen ufak dalgalanmalara maruz kaldığı ve 0 MPa bandında dolandığı söylenebilir.



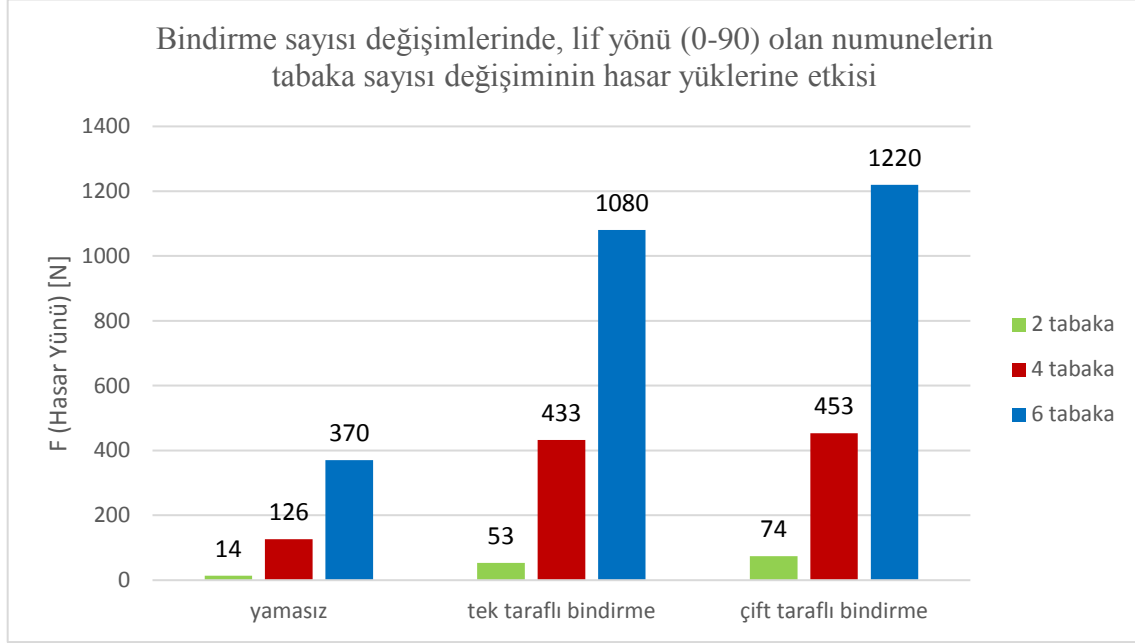
Şekil 4.55. Hasarlı 4 tabakalı (0-90) lif açılı numunelerde bindirme sayısı değişiminin σ_{eqv} gerilme dağılımına etkisi

Şekil 4.55’de hasarlı 4 tabakalı (0-90) lif açılı numunelerde bindirme sayısı değişiminin σ_{eqv} gerilme dağılımı incelenmiştir. İncelenen grafikte BC hattı boyunca yamasız numunelerde 700 MPa değerinden artı yöne hızlı bir artışla 480 MPa değerine ulaşmıştır. Daha sonra eksi yönde bir düşüşle tekrar eski seviyesine gelen numune hafif bir eğimle pozitif yöne doğru ilerleme kaydetmiş ve 650 MPa seviyelerine gelmiştir. Tek bindirme uygulanan numune gerilmeleri ise 300 MPa’dan 120 MPa’a doğru az eğimli bir düşüş sergilemiştir. Çift bindirmeli numunelerde ise durum 0 MPa bandında görünmeyen ufak dalgalanmalarla hareketini tamamlamıştır.

4.3. Hasar Yüklerinin Karşılaştırılması

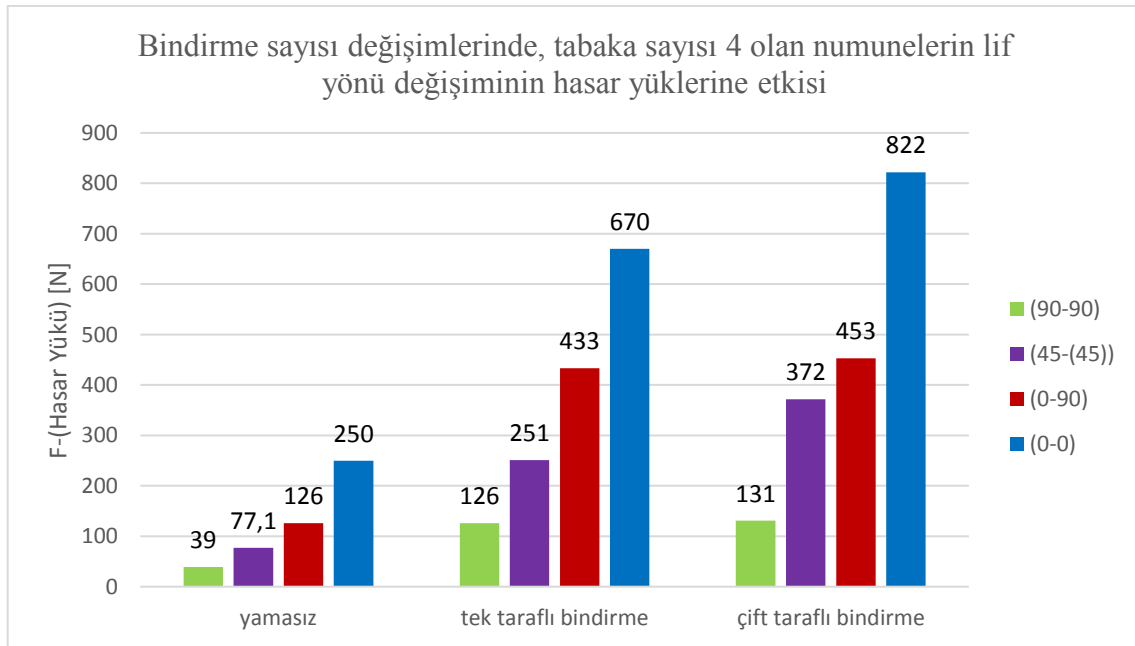
4.3.1. Deneysel hasar yüklerinin karşılaştırılması

4.3.1.1. Bindirme sayısı değişimlerinde, (0-90) lif yönlü numunelerde, tabaka sayısı değişiminin hasar yüklerine etkisi



Şekil 4.56. (0-90) lif açılı numunelerde tabaka sayısı değişiminin bindirme sayısına etkisi

4.3.1.2. Bindirme sayısı değişimlerinde, 4 tabakalı numunelerde, lif yönü değişiminin hasar yüklerine etkisi



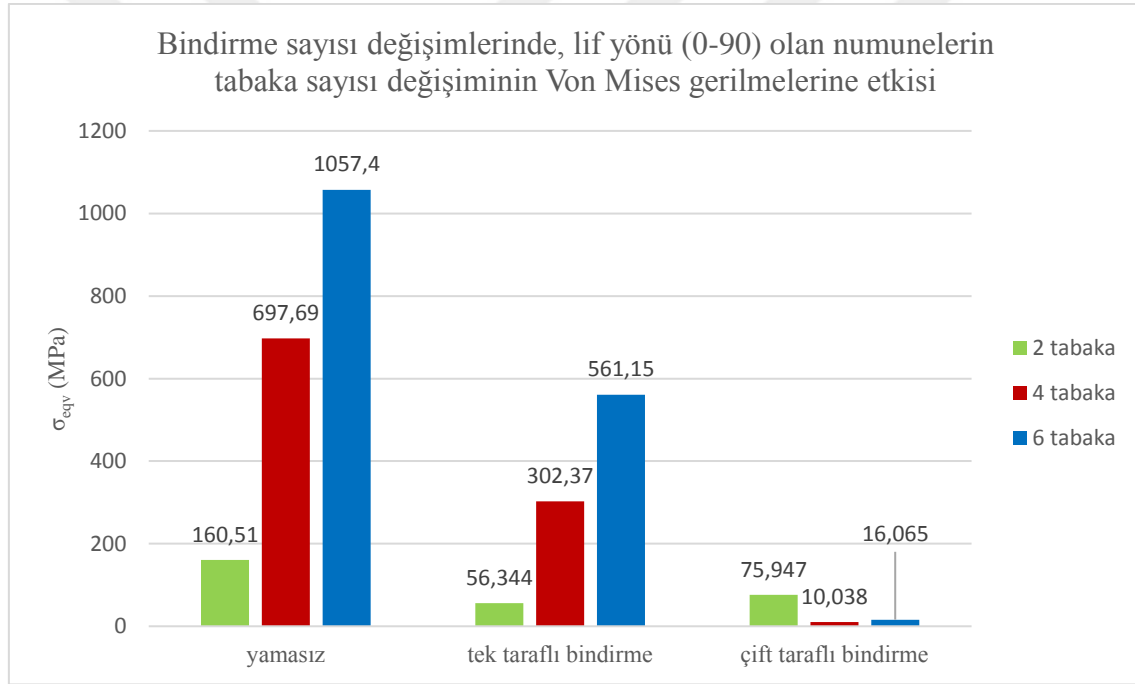
Şekil 4.57. Tabaka sayısı 4 olan numunelerde lif yönü değişiminin bindirme sayısına etkisi

Deneysel sonuçlar gösteriyor ki bindirme sayılarına göre en düşük hasar yükü değerleri hasarlı yamasız numunelerde oluşmuşken, en yüksek hasar yükü değeri çift taraflı bindirme sayısına sahip numunelerde oluşmuştur. Ayrıca 2 tabaka, 4 tabaka ve 6 tabakalı numunelerden en yüksek mukavemet değerine sahip numuneler 6 tabakalı numunelerdir. Lif yönleri dikkate alındığında ise lif yönü (0-0) numuneler bütün kıyaslamalarda en yüksek hasar yüküne sahiptir. 6 tabakalı (0-90) lif yönüne sahip numune 1200 N değerlerine ulaşmışken, (0-0) lif yönlü 4 tabakalı numune 820 N değerlerinde kalmıştır.

4.3.2. Numerik hasar yüklerinin karşılaştırılması

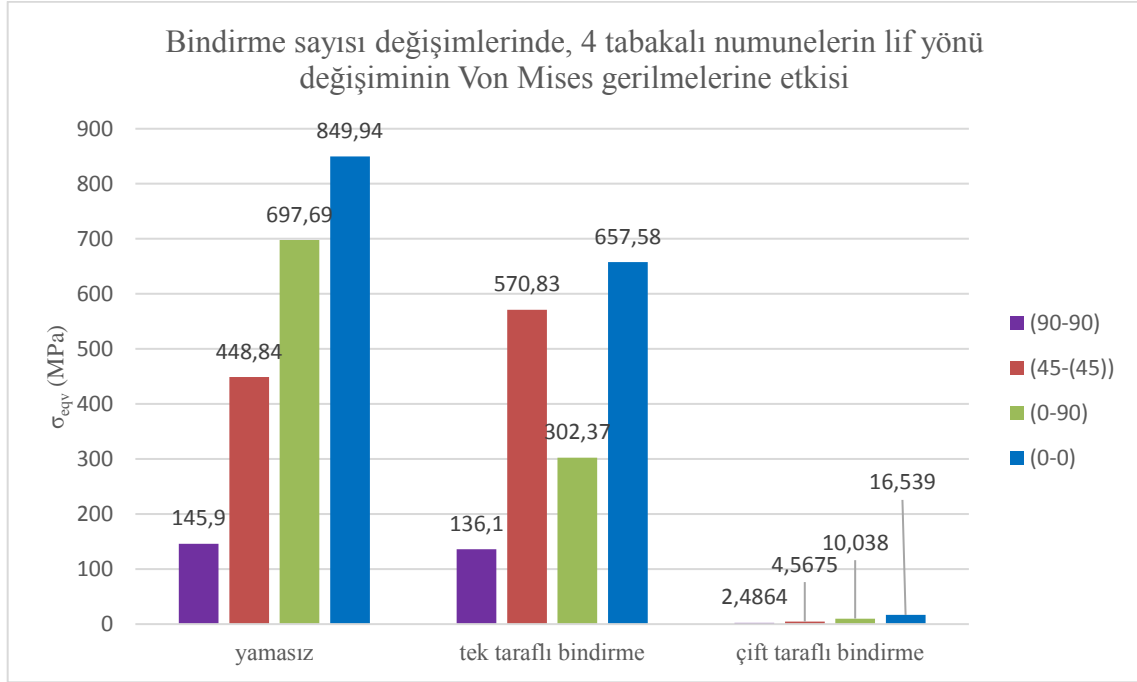
4.3.2.1. AB hattı

4.3.2.1.1. Bindirme sayısı değişimlerinde, (0-90) lif yönlü numunelerde, tabaka sayısı değişiminin Von Mises gerilmelerine etkisi



Şekil 4.58. (0-90) lif yönlü numunelerde tabaka sayısı değişiminin Von Mises gerilmelerine etkisi

4.3.2.1.2. Bindirme sayısı değişimlerinde, 4 tabakalı numunelerde, lif yönü değişiminin Von Mises gerilmelerine etkisi

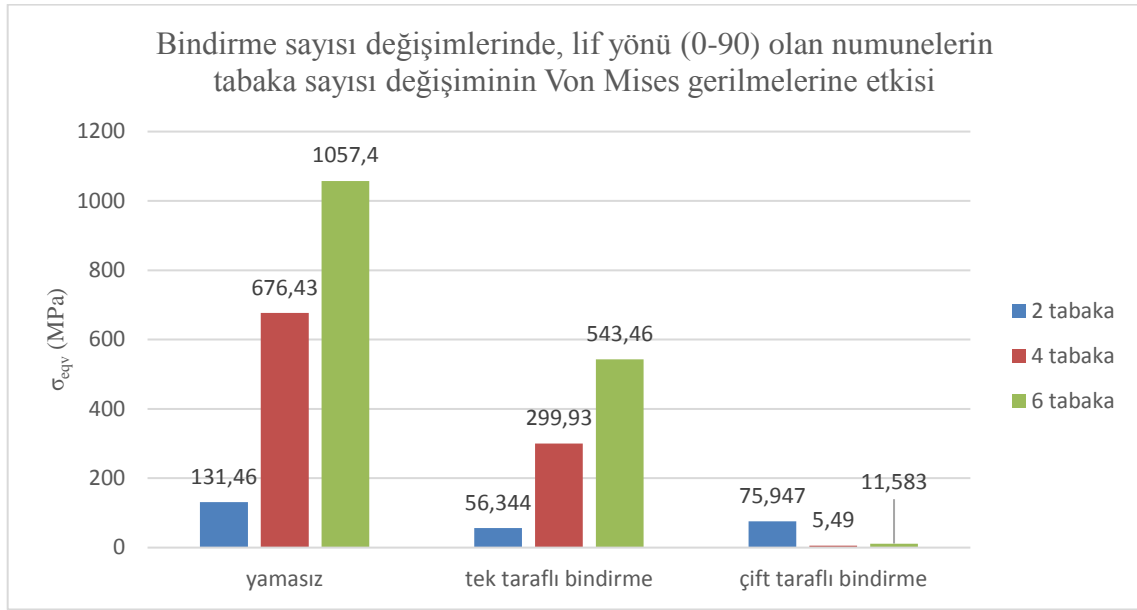


Şekil 4.59. Tabaka sayısı 4 olan numunelerde lif yönü değişiminin Von Mises gerilmelerine etkisi

Nümerik sonuçlar gösteriyor ki bindirme sayılarına göre en düşük hasar yükü değerleri hasarlı yamasız numunelerde oluşmuşken, en yüksek hasar yükü değeri çift taraflı bindirme sayısına sahip numunelerde oluşmuştur. Ayrıca 2 tabaka, 4 tabaka ve 6 tabakalı numunelerden en yüksek mukavemet değerine sahip numuneler 6 tabakalı numunelerdir. Yamasız levhaların lif yönleri dikkate alındığında ise lif yönü (0-0) numuneler en yüksek hasar yüküne sahiptir. 6 tabakalı (0-90) lif yönüne sahip numune 1057 MPa değerlerine ulaşmışken, (0-0) lif yönlü 4 tabakalı numune 850 MPa değerlerinde kalmıştır.

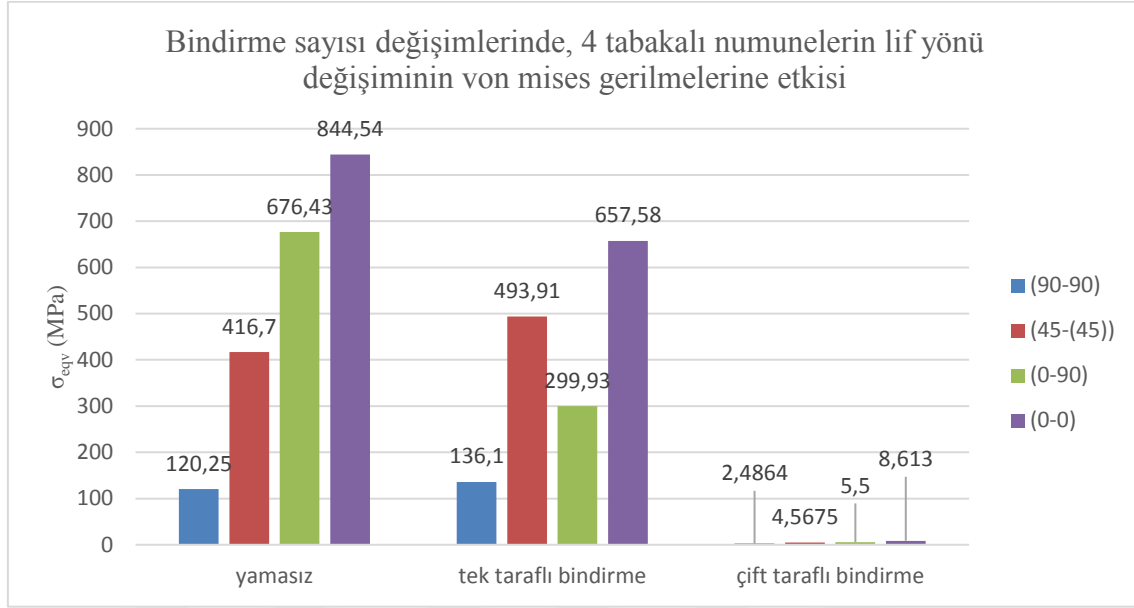
4.3.2.2. BC hattı

4.3.2.2.1. Bindirme sayısı değişimlerinde, (0-90) lif yönlü numunelerde, tabaka sayısı değişiminin hasar yüklerine etkisi



Şekil 4.60. (0-90) lif yönlü numunelerde tabaka sayısı değişiminin Von Mises gerilmelerine etkisi

4.3.2.2.2. Bindirme sayısı değişimlerinde, 4 tabakalı numunelerde, lif yönü değişiminin Von Mises gerilmelerine etkisi



Şekil 4.61. Tabaka sayısı 4 olan numunelerde lif yönü değişiminin Von Mises gerilmelerine etkisi

Numerik sonuçlar gösteriyor ki bindirme sayılarına göre en düşük hasar yükü değerleri hasarlı yamasız numunelerde oluşmuşken, en yüksek hasar yükü değeri çift taraflı bindirme sayısına sahip numunelerde oluşmuştur. Ayrıca 2 tabaka, 4 tabaka ve 6 tabakalı numunelerden en yüksek mukavemet değerine sahip numuneler 6 tabakalı numunelerdir. Yamasız levhaların lif yönleri dikkate alındığında ise lif yönü (0-0) numuneler en yüksek hasar yüküne sahiptir. 6 tabakalı (0-90) lif yönüne sahip numune 1057 MPa değerlerine ulaşmışken, (0-0) lif yönlü 4 tabakalı numune 850 MPa değerlerinde kalmıştır.

5. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada eliptik hasarlı tabakalı kompozit levhaların tamirinde; lif yönü değişen lamalar ve lama tabaka sayısının eğme deneyi sonrası gerilme analizleri değerlendirilmiştir. Deneyler de ilk olarak hasarsız yamasız yani lamalar üzerine eliptik delik açılmamış ham lamaların 3 numune üzerinden deneyleri yapılmıştır. Daha sonra lamalar üzerine delik açılıp yama uygulaması yapılmadan deneyler yenilenmiştir. Yamasız deneylerin sonuçlanmasıyla tek bindirmeli ve çift bindirmeli yama uygulanmış ve hasar tamir edilmiştir. Bu deneylerde amaç hasarlı kısmın tek bindirme ve çift bindirme altında lif yönü değişim ve katman sayısı değişiminin gerilme değerlerine etkisi gözlemlenmiştir. Bu etkiler dikkate alındığında katman sayısının etkisi incelendiğinde; 2 tabakalı numunelerin yapılan bütün deneylerde kendi kıyasındaki diğer katman sayılarından daha düşük eğme kuvvetine maruz kaldığı görülmüştür. 4 tabakalı numunelerin 2 tabakalı numunelere göre daha yüksek mukavemet değerleri elde ettiği görülmüştür. Tabaka sayısı değişimin etkisinde en yüksek mukavemet değerlerine sahip numuneler 6 tabakalı numuneler olmuştur.

Tabaka sayısı değişiminden sonra tezimin diğer kriteri eğme yüküne maruz kalan lamaların değişkenlik gösteren lif yönleri olmuştur. Deneysel sonuçlar gösteriyor ki lif yönü (90-90) olan numuneler kendi kıyasındaki diğer lif yönlerine göre minimum mukavemet değerleri elde etmiştir. Bu durumun nedeni uygulanan kuvvete lif yönlerinin dik gelmesi ve lifler arasındaki bağlantının kuvvete karşı direnç gösterememesinden kaynaklanmaktadır. Lif yönü (45-(-45)) olan numuneler ise (90-90) numunelere daha yüksek mukavemet değerlerine sahip çıkmıştır. Lama içerisinde çapraz şekilde dizilim gösteren numuneler uygulanan eğme kuvvetine karşı 2 eksenli bir direnç gösterdiğinden (90-90) numunelere göre daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir. Lif yönü (0-90) olan numuneler mukavemet değerleri en iyi lif yönleri arasında yer almaktadır. Bunun nedeni uygulanan kuvvete karşın '0' yönünde yani kuvvete karşı direnç gösterecek lama x eksenine paralel yönleri kapsamaktadır. Lif yönü (0-0) olan numuneler yapılan deney sonucunda en yüksek mukavemet değerlerine sahip lif yönü olarak değerlendirilmiştir. Bunun nedeni (0-90) lif yönünde açıklaması yapılan durumun aynısıdır. Bünyesinde barındırdığı iki '0' yönlü lif dizilimi sayesinde kuvvete karşı en yüksek direnci göstererek yüksek mukavemet değerlerine ulaşmıştır.

Nümerik analizler deneysel çalışmaların sonlu elemanlar metodu ile bilgisayar destekli olarak çözümlenmesidir. Bu sonuçlar doğrultusunda elde edilen kuvvet değerleri

deneysel değerler ile % 93 lük bir yakınsama göstermiştir. Gerilmeler kritik AB ve BC hattı üzerinde analiz edilmiştir. ANSYS kullanılarak yapılan çözümler sonunda eğme deneyi simülasyonları kontrol edilmiş ve deneysel sonuçlarla aynı olduğu belirlenmiştir.



KAYNAKÇA

- Akdoğan, A. 2008. Seramik matriksli kompozit malzemeler ve üretimi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Ders Notu. İstanbul-Türkiye
- Arıcasoy, O. 2006. Kompozit Sektör Raporu, İstanbul Ticaret Odası,
- Dincer, C. 2013. Yüzey çatlaklı tek yönde takviyeli cam epoksi kompozit malzemelerde kırılma davranışının incelenmesi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya-Türkiye.
- Gökkaya, İ. 2015. Tek bindirmeli örgülü kompozit malzemelerin darbe davranışının incelenmesi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Denizli-Türkiye.
- Razmi, A. 2011. Kompozit parçaların çeşitli yapıştırırmalı bağlantı tasarımlarının Karşılaştırılması, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir-Türkiye.
- Soykasap, Ö., Karakaya, Ş. 2008. Yapıştırıcı ile birleştirilmiş Tek Bindirmeli Dokumalı Kompozit Yapıların Eğilme Hasarı, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2:43-52.
- Özfidan, D., 2018. URL: <http://www.kimyasalgelismeler.com/sectorler/polimer-ve-plastik-teknolojisi/japon-yapistiricilar.html> *Kimyasal gelişmeler*, Erişim tarihi:30.07.2018
- Başbuğ, F. 2012. Mekanik alın birleştirilmiş kompozit plakaların üç nokta eğilme testleri ile mekanik davranışlarının incelenmesi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Denizli-Türkiye
- Gündüz, Y. 2013. Yama ile tamir edilmiş çatlak içeren pim bağlantılı kompozitlerde kırılma davranışının sayısal analizi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Fırat-Türkiye
- Demir, H. 2013. Kompozit yapıların sonlu elemanlarda alt modellenmesi, , Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Afyonkarahisar-Türkiye
- Tek, G. 2011. Tek ve çift-tesirli yapıştırma bağlantılarında gerilme analizi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara-Türkiye
- Turan, K., Kaman, M. 2010. Tek tesirli yapıştırma bağlantılarında ilerlemeli hasar analizi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16:315-323.
- Dinç, H. 2007. Tek bindirmeli yapıştırma bağlantılarının tasarım ve analizi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Afyonkarahisar-Türkiye
- Li, H.C.H., Wangb, J., Baker, A. 2012. Rapid Composite Bonded Repair for Helicopter Tail Drive Shafts. *Composites: Part B*, 43 : 1579-1585

- Yağcı, E. 2007. Tabakalı kompozit ince plakların plak düzlemine dik yükleme etkisi altındaki eğilme analizi, Adana Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana-Türkiye
- Gül, M. 2011. Dikdörtgen kompozit plakların sonlu elemanlar yöntemiyle statik analizi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara-Türkiye
- Türkmen, İ. 2012. Cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerde elyaf tabaka sayısına bağlı mekanik özelliklerin ve darbe dayanımının incelenmesi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Manisa-Türkiye
- Alpay, Y. 2014. Failure behavior of laminated composites under anticlastic bending, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul-Türkiye
- Doğan, T. 2015. Failure analysis in an adhesively bonded single-lap composite joint under various loads, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir-Türkiye
- Çelik, A. 2015. Yama ve yapıştırıcı kullanılarak tamir edilmiş çentikli kompozit levhaların hasar davranışlarının araştırılması, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Diyarbakır-Türkiye
- Parlamış, A. 2016. Hasara uğramış pim bağlantılı kompozitlerin yama ile tamir performansının araştırılması, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ-Türkiye
- Erartsın, O. 2016. Damage characterization in composite laminates with holes a thesis submitted to, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara-Türkiye
- Çelik, O. 2016. Failure analysis of tapered composite structures under tensile loading, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara-Türkiye
- Ulcay, Y. 2002. Polimer esaslı lif takviyeli kompozit malzemelerin arabirim mukavemeti üzerine farklı kür metotlarının etkisinin incelenmesi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi*, Cilt 7, Sayı 1, 2002 93-116
- Aran, A. 1990. Elyaf takviyeli karma malzemeler, İstanbul Teknik Üniversitesi, Ders Notu, İstanbul-Türkiye
- Onat, A. 2015. Kompozit Malzemeler Ders Notu, Sakarya Üniversitesi, Ders Notu, Sakarya-Türkiye

- Ekinci, V. 2007. Alüminatakvilyeli alüminyum matriksli kompozit malzeme üretimi ve mekanik özelliklerinin araştırılması, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara-Türkiye
- Köksal, H. 2013. Yapıştırıcılı ve çok pimli kompozit plakaların analizi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray-Türkiye
- Ünal, O. 2011. Kompozit malzemeler, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Ders Notu, AfyonKarahisar-Türkiye
- Yüce, İ. 2007. Dairesel kompozit tabakalarda düşük hızlı darbe hasarının incelenmesi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya-Türkiye
- Anonim, 2018a. URL(erişim tarihi 21.08.2018) : <http://debis.deu.edu.tr/userweb//mehmet.aktas/Kompozit%20Malzemeler/Ders%20%203/3.pdf>
- Anonim, 2018b, URL(erişim tarihi 14.08.2018) : http://kisi.deu.edu.tr/cesim.atas/kompozit/4_%20Uretim%20Yontemleri.pdf
- Özenç, M. 2007. Yapıştırma bağlantılarının darbe yükleri altındaki davranışlarının incelenmesi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Denizli-Türkiye
- Şekercioğlu, T., Özenç, M. 2012. Metallerin yapıştırılmasında yüzey hazırlama yöntemlerinin incelenmesi, TMMOB MMO Mühendis ve Makine Dergisi, cilt 53,sayı 657,
- Özel, K. 2008. Alüminyum-bakır boruların yapıştırma yöntemi ile birleştirilmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul-Türkiye
- Anonim, 2018c. URL (erişim tarihi 01.08.2018) : http://cdn.hitit.edu.tr/mf/files/39932_1703231357926.pdf
- Mehmet, S. 1998. Polimer dünyasına giriş, A.Ü.F.F. Döner Sermaye İşletme Yayınları No:550, Ders Kitabı, Ankara,153s.
- Güç, H. 2012. Kompozit Plakların Kabuk ve Sürekli Kabuk Sonlu Elemanlar Metodu ile Hasar Analizi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, AfyonKarahisar-Türkiye
- Baylan, O. 2015 URL (erişim tarihi 05.08.2018): <http://www.metaluzmani.com/yapistirma-teknolojisi/>
- Alkan,H. 2014. URL (erişim tarihi 01.07.2018): <http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/sonlu-elemanlar-metodu-nedir-nerelerde-kullanilir/11661#ad-image-0>
- Anonim, 2018d. URL (erişim tarihi 02.07.2018): <http://www.figes.com.tr>

Anonim, 2018e. URL (erişim tarihi 08.06.2018): <https://www.tesa.com/tr-tr/wikitapia/yapiskan-bant-nasil-bir-model-atlet-olacak.html>



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı, soyadı : Mustafa ASLANTÜRK
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi : 27.09.1990
Doğum yeri : Kahramanmaraş
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 (542)464 66 71
e-posta : mustafaslntk@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Erciyes Üni. / Makine Mühendisliği Bölümü	2013
Lise	Çukurova Elektrik Anadolu Lisesi	2008

İş Denevimi

Yıl	Yer	Görev
4	Göknur Elektrik ve Elektronik Makine ve Otomasyon	Proje Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Basketbol, Futbol, Yüzme, Camping