

**T.C.  
DİCLE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YAMA VE YAPIŞTIRICI KULLANILARAK TAMİR EDİLMİŞ ÇENTİKLİ  
KOMPOZİT LEVHALARIN HASAR DAVRANIŞLARININ ARAŞTIRILMASI**

**ABDULLAH ÇELİK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**DİYARBAKIR**

**Şubat 2015**



T.C. DICLE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

DİYARBAKIR

Abdullah ÇELİK tarafından yapılan "Yama ve Yapıştırıcı Kullanılarak Tamir Edilmiş Çentikli Kompozit Levhalarnın Hasar Davranışlarının Araştırılması" konulu bu çalışma, jüriimiz tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÖRSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Yeliz PEKBEY

Üye : Doç. Dr. Kadir TURAN

Üye : Doç. Dr. Tamer ÖZBEN

Tez Savunma Sınavı Tarihi: 27/02/2015

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylım.

.....

Doç.Dr. Mehmet YILDIRIM

Enstitü Müdürü



## TEŞEKKÜR

Samimi bir Şekilde akademik bilgilerini paylaŐan, her ne zaman olursa olsun ihtiyaç duyduğumda arama özgürlüğü sunan, bana akademiyi sevdiren ve çalıŐmamda emeği geçen danıŐman hocam Doç. Dr. Kadir TURAN'a ve Yüksek Lisans derslerimde bana yardımlarından dolayı hocam Doç. Dr. Tamer ÖZBEN'e teşekkür ederim. Ayrıca bu teze 14-MF-096 nolu proje ile maddi destek sağladığı için DÜBAP' a ve tüm çalıŐanlarına teşekkür ederim. Her zaman bana destek olan ve üzerimde emekleri bulunan Anneme, Babama ve Aileme sonsuz saygılar sunar teşekkür ederim.

Abdullah ÇELİK

Makine Mühendisi

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
<b>TEŞEKKÜR</b>	<b>I</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b>	<b>II</b>
<b>ÖZET</b>	<b>IV</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>V</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b>	<b>VI</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b>	<b>XII</b>
<b>KISALTMA VE SİMGELER</b>	<b>XIII</b>
<b>1. GİRİŞ</b>	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ÖZETLERİ</b>	<b>3</b>
<b>3. MATERYAL VE METOD</b>	<b>15</b>
3.1. Tanım	15
3.2. Kompozit Levhalarda Gerilme Şekil Değişirme Bağlıntıları	16
3.3. Kompozitlerin Bağlanması	19
3.3.1. Çözülebilir Bağlıntılar	19
3.3.2. Çözülemez Bağlıntılar	20
3.4. Yapışmanın İncelenmesi	21
3.4.1. Yapışma	21
3.4.1.1. Adhezyon	21
3.4.1.2. Kohezyon	22
3.4.1.3. Islanabilirlik	22
3.4.2. Yapıştırıcılar	24
<b>4. BULGULAR VE TARTIŞMA</b>	<b>27</b>
4.1. Problemin Modeli	27
4.2. Numunelerin Hazırlanması	29
4.3. Deneğin Yapılışı	34
4.4. Deneysel Çalışma Sonuçları	35
4.4.1. Çentiksiz Levhaların Deneysel Çalışma Sonuçları	35
4.4.2. Çentikli Tamir Edilmemiş Levhaların Deneysel Çalışma Sonuçları	38
4.4.3. Tek Yüzünden Tamir Edilmiş Levhaların Deneysel Çalışma Sonuçları	43
4.4.4. Çift Yüzünden Tamir Edilmiş Levhaların Deneysel Çalışma Sonuçları	47
4.4.5. Yama Uzunluğu Değişiminin Deneysel Çalışma Sonuçları	51
4.4.6. Yapıştırıcı Kalınlığı Değişiminin Deneysel Çalışma Sonuçları	59

<b>5.</b>	<b>SONUÇ VE ÖNERİLER</b>	<b>69</b>
5.1.	Deney Sonuçlarının Tablo ve Grafiklerle İfadesi	69
5.1.1.	Çentiksiz Numunelerin Hasar Davranışları	69
5.1.2.	Tamir Edilmemiş Levhalarda Hasar Yüklerinin Değişimi	71
5.1.3.	Hasar Yükünün Fiber Takviye Açısına Göre Değişimi	73
5.1.4.	Yama Uzunluğu Değişiminin Hasar Yükü Üzerine Etkisi	82
5.1.5.	Yapıştırıcı Kalınlığı Değişiminin Hasar Yükü Üzerine Etkisi	91
5.2.	DeneySEL Çalışma Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve Öneriler	105
5.3.	Sonuç ve Değerlendirme	120
<b>6.</b>	<b>KAYNAKLAR</b>	<b>123</b>
	<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	<b>128</b>

## ÖZET

### YAMA VE YAPIŞTIRICI KULLANILARAK TAMİR EDİLMİŞ ÇENTİKLİ KOMPOZİT LEVHALARIN HASAR DAVRANIŞLARININ ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Abdullah ÇELİK

DİCLE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

2015

Bu çalışmada, dış kısmından yama ve yapıştırıcı kullanılarak tamir edilmiş çentikli kompozit levhaların hasar davranışları deneysel olarak araştırılmıştır. Sekiz tabakalı epoksi reçine matrisli örgülü cam elyaf takviyeli kompozit levhalar ve aynı levhalardan elde edilen yamalar kullanılmıştır. Yapıştırıcı olarak ticari bir ürün olan Loctite 9466™ marka epoksi esaslı çift bileşenli yapıştırıcı kullanılmıştır. Tek ve çift yüzünden yama yapıştırılarak tamir edilen kompozit levhalarda fiber takviye açısı değişimi ve geometrik parametrelerin değişiminin hasar yükü üzerine etkileri araştırılmıştır. Fiber takviye açısı değişiminin etkilerini incelemek için 0°, 15°, 30° ve 45° fiber takviye açısına sahip kompozit levhalar kullanılmıştır. Geometrik parametre olarak çentik tipi değişimi, yama uzunluğu değişimi ve yapıştırıcı kalınlığı değişimi incelenmiştir. Yama olarak  $[0^0]_8$  kompozit levhalar kullanılmıştır. Yama boyut etkisini görebilmek için 30 mm, 45 mm ve 60 mm ölçülerindeki yamalar seçilmiştir. Yapıştırıcı kalınlığı etkisi 0.2 mm, 0.4 mm, 0.6 mm, 0.8 mm ve 1.0 mm kalınlıkları için incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar tablo ve grafikler halinde sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Tabakalı kompozit levhalar, çentik etkisi, yama ve yapıştırıcı ile tamir.



## ABSTRACT

### INVESTIGATION FAILURE BEHAVIOURS OF NOTCHED COMPOSITE PLATES REPAIRED WITH USING ADHESIVE AND PATCH

M.Sc. THESIS

Abdullah ÇELİK

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES  
UNIVERSITY OF DICLE

2015

In this study, damage behaviours of notched composite plates repaired by using adhesive and patch on external side were searched experimentally. Eight layered epoksi resin matrix woven glass fiber reinforced composite plates and patches obtained from same plates were used. Double main based material loctite 9466<sup>TM</sup> which is a commercial product was used. The effect of variation of fibre reinforced angle and geometric parameters on damage load at repairing composite plates with patch and adhesive on single and double surface were searched. Composite plates had 0°, 15°, 30° ve 45° as fibre reinforced angle were used. Notch type variation, patch length variation and adhesive thickness variation were analysed as geometric parameters.  $[0^0]_8$  composite plates were used as patch. 30mm, 45 mm and 60 mm dimensions were selected for seeing the effect of patch size. The adhesive thickness effect was analysed for 0.2 mm, 0.4 mm, 0.6 mm, 0.8 mm and 1.0 mm thicknesses. Obtained results were presented with tables and graphics.

**Key Words:** Laminar composite plates, notch effect, repairing with patch and adhesive.

## ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil No</u>		<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1.	Boeing 787 uçağındaki ana malzemeler	16
Şekil 3.2.	Levha geometrisi	17
Şekil 3.3.	Yapıştırma ve pim bağlantılarında gerilme dağılımı	20
Şekil 3.4.	Adhezyon ve kohezyon kuvvetleri	21
Şekil 3.5.	Islanabilirlik	23
Şekil 3.6.	Islanabilirlik testi a) Yapıştırma yüzey hazırlığı yetersiz b) Yapıştırma yüzey hazırlığı yeterli	24
Şekil 3.7.	Yapıştırma bağlantılarının kesme hesabı	25
Şekil 4.1.	Deney numunelerinde kullanılan levhaların boyutu	27
Şekil 4.2.	Tip1 çentikli kompozit levhanın geometrik parametrelerinin gösterimi	28
Şekil 4.3.	Tip2 çentikli kompozit levhanın geometrik parametrelerinin gösterimi	28
Şekil 4.4.	Tip3 çentikli kompozit levhanın geometrik parametrelerinin gösterimi	28
Şekil 4.5.	Tip4 çentikli kompozit levhanın geometrik parametrelerinin gösterimi	29
Şekil 4.6.	Ölçüleri çizilmiş levha	29
Şekil 4.7.	Levhalara çentik açılma işlemi	30
Şekil 4.8.	Çentik açılan levhaların zımpara işlemi	30
Şekil 4.9.	Zımparalanan levhaların aseton ve bezle silinmesi işlemi	31
Şekil 4.10.	Numunelerin özelliklerini veren barkodların yapıştırılması	31
Şekil 4.11.	Yama uygulaması için kalıba yerleştirilen levhaya yapıştırıcı sürülme işlemi	32
Şekil 4.12.	Yamanın yapıştırıcı sürüldükten sonra kalıba oturtulması	32
Şekil 4.13.	Tek ve çift yüzünden 30 mm yama uygulanmış numune	33
Şekil 4.14.	Tek ve çift yüzünden 45 mm yama uygulanmış numune	33
Şekil 4.15.	Tek ve çift yüzünden 60 mm yama uygulanmış numune	34
Şekil 4.16.	Çekme test cihazı ve deney düzeneği	35
Şekil 4.17.	$[0^{\circ}]_8$ çentiksiz levha için elde edilen yük-yer değiştirme değerleri grafiği	36
Şekil 4.18.	$[15^{\circ}]_8$ çentiksiz levha için elde edilen yük-yer değiştirme değerleri grafiği	36
Şekil 4.19.	$[30^{\circ}]_8$ çentiksiz levha için elde edilen yük-yer değiştirme değerleri grafiği	37

<b><u>Sekil No</u></b>		<b><u>Sayfa</u></b>
<b>Şekil 4.20.</b>	[45°] <sub>8</sub> çentiksiz levha için elde edilen yük-yer değıştirme değeri grafiği	37
<b>Şekil 4.21.</b>	[0°] <sub>8</sub> , [15°] <sub>8</sub> , [30°] <sub>8</sub> , [45°] <sub>8</sub> fiber takviye açılı, Tip1 tamir edilmemiş kompozit levha için yük-uzama değeri grafikleri	38
<b>Şekil 4.22.</b>	[0°] <sub>8</sub> , [15°] <sub>8</sub> , [30°] <sub>8</sub> , [45°] <sub>8</sub> fiber takviye açılı, Tip2 tamir edilmemiş kompozit levha için yük-uzama değeri grafikleri	40
<b>Şekil 4.23.</b>	[0°] <sub>8</sub> , [15°] <sub>8</sub> , [30°] <sub>8</sub> , [45°] <sub>8</sub> fiber takviye açılı, Tip3 tamir edilmemiş kompozit levha için yük-uzama değeri grafikleri	41
<b>Şekil 4.24.</b>	[0°] <sub>8</sub> , [15°] <sub>8</sub> , [30°] <sub>8</sub> , [45°] <sub>8</sub> fiber takviye açılı, Tip4 tamir edilmemiş kompozit levha için yük-uzama değeri grafikleri	42
<b>Şekil 4.25.</b>	[0°] <sub>8</sub> , [15°] <sub>8</sub> , [30°] <sub>8</sub> , [45°] <sub>8</sub> fiber takviye açılı, Tip1 tek yüzünden tamir edilmiş kompozit levha için yük-uzama değeri grafikleri (Lap=30 mm, Tha = 0.4 mm)	44
<b>Şekil 4.26.</b>	[0°] <sub>8</sub> , [15°] <sub>8</sub> , [30°] <sub>8</sub> , [45°] <sub>8</sub> fiber takviye açılı, Tip2 tek yüzünden tamir edilmiş kompozit levha için yük-uzama değeri grafikleri (Lap=30 mm, Tha = 0.4 mm)	45
<b>Şekil 4.27.</b>	[0°] <sub>8</sub> , [15°] <sub>8</sub> , [30°] <sub>8</sub> , [45°] <sub>8</sub> fiber takviye açılı, Tip3 tek yüzünden tamir edilmiş kompozit levha için yük-uzama değeri grafikleri (Lap=30 mm, Tha = 0.4 mm)	46
<b>Şekil 4.28.</b>	[0°] <sub>8</sub> , [15°] <sub>8</sub> , [30°] <sub>8</sub> , [45°] <sub>8</sub> fiber takviye açılı, Tip4 tek yüzünden tamir edilmiş kompozit levha için yük-uzama değeri grafikleri (Lap=30 mm, Tha = 0.4 mm)	47
<b>Şekil 4.29.</b>	[0°] <sub>8</sub> , [15°] <sub>8</sub> , [30°] <sub>8</sub> , [45°] <sub>8</sub> fiber takviye açılı, Tip1 çift yüzünden tamir edilmiş kompozit levha için yük-uzama değeri grafikleri (Lap=30 mm, Tha = 0.4 mm)	48
<b>Şekil 4.30.</b>	[0°] <sub>8</sub> , [15°] <sub>8</sub> , [30°] <sub>8</sub> , [45°] <sub>8</sub> fiber takviye açılı, Tip2 çift yüzünden tamir edilmiş kompozit levha için yük-uzama değeri grafikleri (Lap=30 mm, Tha = 0.4 mm)	49
<b>Şekil 4.31.</b>	[0°] <sub>8</sub> , [15°] <sub>8</sub> , [30°] <sub>8</sub> , [45°] <sub>8</sub> fiber takviye açılı, Tip3 çift yüzünden tamir edilmiş kompozit levha için yük-uzama değeri grafikleri (Lap=30 mm, Tha = 0.4 mm)	50
<b>Şekil 4.32.</b>	[0°] <sub>8</sub> , [15°] <sub>8</sub> , [30°] <sub>8</sub> , [45°] <sub>8</sub> fiber takviye açılı, Tip4 çift yüzünden tamir edilmiş kompozit levha için yük-uzama değeri grafikleri (Lap=30 mm, Tha = 0.4 mm)	51

<b><u>Sekil No</u></b>		<b><u>Sayfa</u></b>
<b>Şekil 4.33</b>	[0°] <sub>8</sub> fiber takviye açılı, Tip1, Tha = 0.4 mm tek yüzünden tamir edilmiş kompozit levha için yük-uzama değerleri grafikleri	52
<b>Şekil 4.34</b>	[0°] <sub>8</sub> fiber takviye açılı, Tip1, Tha = 0.4 mm çift yüzünden tamir edilmiş kompozit levha için yük-uzama değerleri grafikleri	53
<b>Şekil 4.35</b>	[0°] <sub>8</sub> fiber takviye açılı, Tip2, Tha = 0.4 mm tek yüzünden tamir edilmiş kompozit levha için yük-uzama değerleri grafikleri	54
<b>Şekil 4.36</b>	[0°] <sub>8</sub> fiber takviye açılı, Tip2, Tha = 0.4 mm Çift yüzünden tamir edilmiş kompozit levha için yük-uzama değerleri grafikleri	55
<b>Şekil 4.37</b>	[0°] <sub>8</sub> fiber takviye açılı, Tip3, Tha = 0.4 mm tek yüzünden tamir edilmiş kompozit levha için yük-uzama değerleri grafikleri	56
<b>Şekil 4.38</b>	[0°] <sub>8</sub> fiber takviye açılı, Tip3, Tha = 0.4 mm çift yüzünden tamir edilmiş kompozit levha için yük-uzama değerleri grafikleri	57
<b>Şekil 4.39</b>	[0°] <sub>8</sub> fiber takviye açılı, Tip4, Tha = 0.4 mm tek yüzünden tamir edilmiş kompozit levha için yük-uzama değerleri grafikleri	58
<b>Şekil 4.40</b>	[0°] <sub>8</sub> fiber takviye açılı, Tip4, Tha = 0.4 mm çift yüzünden tamir edilmiş kompozit levha için yük-uzama değerleri grafikleri	59
<b>Şekil 4.41</b>	[0°] <sub>8</sub> fiber takviye açılı, Tip1, Lap= 30 mm tek yüzünden tamir edilmiş kompozit levha için yük-uzama değerleri grafikleri	60
<b>Şekil 4.42</b>	[0°] <sub>8</sub> fiber takviye açılı, Tip1, Lap=30 mm çift yüzünden tamir edilmiş kompozit levha için yük-uzama değerleri grafikleri	61
<b>Şekil 4.43</b>	[0°] <sub>8</sub> fiber takviye açılı, Tip2, Lap=30 mm tek yüzünden tamir edilmiş kompozit levha için yük-uzama değerleri grafikleri	62
<b>Şekil 4.44</b>	[0°] <sub>8</sub> fiber takviye açılı, Tip2, Lap=30 mm çift yüzünden tamir edilmiş kompozit levha için yük-uzama değerleri grafikleri	63
<b>Şekil 4.45</b>	[0°] <sub>8</sub> fiber takviye açılı, Tip3, Lap=30 mm tek yüzünden tamir edilmiş kompozit levha için yük-uzama değerleri grafikleri	64
<b>Şekil 4.46</b>	[0°] <sub>8</sub> fiber takviye açılı, Tip3, Lap=30 mm çift yüzünden tamir edilmiş kompozit levha için yük-uzama değerleri grafikleri	65
<b>Şekil 4.47</b>	[0°] <sub>8</sub> fiber takviye açılı, Tip4, Lap=30 mm tek yüzünden tamir edilmiş kompozit levha için yük-uzama değerleri grafikleri	66
<b>Şekil 4.48</b>	[0°] <sub>8</sub> fiber takviye açılı, Tip4, Lap=30 mm çift yüzünden tamir edilmiş kompozit levha için yük-uzama değerleri grafikleri	67

<b><u>Şekil No</u></b>		<b><u>Sayfa</u></b>
<b>Şekil 5.1.</b>	[0°] <sub>8</sub> çentiksiz levha	69
<b>Şekil 5.2.</b>	[0°] <sub>8</sub> , [15°] <sub>8</sub> , [30°] <sub>8</sub> , [45°] <sub>8</sub> çentiksiz levhalar için elde edilen hasar yükleri değişimi grafiği	70
<b>Şekil 5.3.</b>	[0°] <sub>8</sub> , [15°] <sub>8</sub> , [30°] <sub>8</sub> , [45°] <sub>8</sub> çentiksiz ve yamasız Tip1,2,3,4, levhalar için elde edilen en büyük yük değerlerinin karşılaştırılması grafiği	71
<b>Şekil 5.4.</b>	[0°] <sub>8</sub> Tip1,2,3,4 tek yüzünden ve çift yüzünden tamir edilmiş levha için elde edilen hasar yükü değerleri grafiği (Tha=0.4 mm, Lap = 30 mm)	73
<b>Şekil 5.5.</b>	[15°] <sub>8</sub> Tip1,2,3,4 tek yüzünden ve çift yüzünden tamir edilmiş levha için elde edilen hasar yükü değerleri grafiği (Tha=0.4 mm, Lap = 30 mm)	75
<b>Şekil 5.6.</b>	[30°] <sub>8</sub> Tip1,2,3,4 tek yüzünden ve çift yüzünden tamir edilmiş levha için elde edilen hasar yükü değerleri grafiği (Tha=0.4, Lap = 30 mm)	77
<b>Şekil 5.7.</b>	[45°] <sub>8</sub> Tip1,2,3,4 tek yüzünden ve çift yüzünden tamir edilmiş levha için elde edilen hasar yükü değerleri grafiği (Tha=0.4, Lap = 30 mm)	79
<b>Şekil 5.8.</b>	[0°] <sub>8</sub> , [15°] <sub>8</sub> , [30°] <sub>8</sub> , [45°] <sub>8</sub> tek yüz yama uygulanmış Tip1,2,3,4, levhaları için elde edilen en büyük yük değerlerinin karşılaştırılması grafiği	81
<b>Şekil 5.9.</b>	[0°] <sub>8</sub> , [15°] <sub>8</sub> , [30°] <sub>8</sub> , [45°] <sub>8</sub> çift yüz yama uygulanmış Tip1,2,3,4, levhaları için elde edilen en büyük yük değerlerinin karşılaştırılması grafiği	82
<b>Şekil 5.10.</b>	[0°] <sub>8</sub> Tip1,2,3,4 tek yüzünden ve çift yüzünden tamir edilmiş levha için elde edilen hasar yükü değerleri grafiği (Tha=0.4, Lap = 30 mm)	83
<b>Şekil 5.11.</b>	[0°] <sub>8</sub> Tip1,2,3,4 tek yüzünden ve çift yüzünden tamir edilmiş levha için elde edilen hasar yükü değerleri grafiği (Tha=0.4, Lap = 45 mm)	85
<b>Şekil 5.12.</b>	[0°] <sub>8</sub> Tip1,2,3,4 tek yüzünden ve çift yüzünden tamir edilmiş levha için elde edilen hasar yükü değerleri grafiği (Tha=0.4, Lap = 60 mm)	87
<b>Şekil 5.13.</b>	[0°] <sub>8</sub> Tip1,2,3,4 tek yüzünden tamir edilmiş levha için Lap=30, Lap=45 ve Lap=60 mm yama boyutlarının hasar yükü üzerine etkisi grafiği (Tha=0.4mm)	89
<b>Şekil 5.14.</b>	[0°] <sub>8</sub> Tip1,2,3,4 çift yüzünden tamir edilmiş levha için Lap=30, Lap=45 ve Lap=60 mm yama boyutlarının hasar yükü üzerine etkisi grafiği (Tha=0.4mm)	90

<u>Sekil No</u>		<u>Sayfa</u>
<b>Şekil 5.15.</b>	[0°] <sub>8</sub> Tip1,2,3,4 tek yüzünden ve çift yüzünden tamir edilmiş levha için yama uzunluğunun hasar yükü üzerine etkisi grafiği (Tha=0.4mm)	91
<b>Şekil 5.16.</b>	[0°] <sub>8</sub> Tip1,2,3,4 tek yüzünden ve çift yüzünden tamir edilmiş levha için yapıştırıcı kalınlığının hasar yükü üzerine etkisi grafiği (Tha= 0.2 mm, Lap=30 mm)	92
<b>Şekil 5.17.</b>	[0°] <sub>8</sub> Tip1,2,3,4 tek yüzünden ve çift yüzünden tamir edilmiş levha için yapıştırıcı kalınlığının hasar yükü üzerine etkisi grafiği (Tha= 0.4 mm, Lap=30 mm)	94
<b>Şekil 5.18.</b>	[0°] <sub>8</sub> Tip1,2,3,4 tek yüzünden ve çift yüzünden tamir edilmiş levha için yapıştırıcı kalınlığının hasar yükü üzerine etkisi grafiği (Tha= 0.6 mm, Lap=30 mm)	96
<b>Şekil 5.19.</b>	[0°] <sub>8</sub> Tip1,2,3,4 tek yüzünden ve çift yüzünden tamir edilmiş levha için yapıştırıcı kalınlığının hasar yükü üzerine etkisi grafiği (Tha= 0.8 mm, Lap=30 mm)	98
<b>Şekil 5.20.</b>	[0°] <sub>8</sub> Tip1,2,3,4 tek yüzünden ve çift yüzünden tamir edilmiş levha için yapıştırıcı kalınlığının hasar yükü üzerine etkisi grafiği (Tha= 1.0 mm, Lap=30 mm)	100
<b>Şekil 5.21.</b>	[0°] <sub>8</sub> Tip1,2,3,4 tek yüzünden tamir edilmiş levhalar için yapıştırıcı kalınlığı değişiminin hasar yükü üzerine etkisi grafiği ( Lap=30 mm)	102
<b>Şekil 5.22.</b>	[0°] <sub>8</sub> Tip1,2,3,4 çift yüzünden tamir edilmiş levhalar için yapıştırıcı kalınlığı değişiminin hasar yükü üzerine etkisi grafiği ( Lap=30 mm)	103
<b>Şekil 5.23.</b>	[0°] <sub>8</sub> Tip1,2,3,4 tek yüzünden ve çift yüzünden tamir edilmiş levha için yapıştırıcı kalınlığının hasar yükü üzerine etkisi grafiği ( Lap=30 mm)	104
<b>Şekil 5.24.</b>	[45°] <sub>8</sub> çentiksiz levhaların <b>a)</b> Hasara uğradığı andaki <b>b)</b> Tam kırılma sonrası görüntüleri	105
<b>Şekil 5.25.</b>	Tip3 ve Tip2 yamasız levhaların hasara uğradığı andaki şekil değişimi	106
<b>Şekil 5.26.</b>	<b>a)</b> Tip1 ve <b>b)</b> Tip4 yamasız levhaların hasara uğradığı andaki şekil değişimi	107
<b>Şekil 5.27.</b>	a) [45°] <sub>8</sub> Tip2 çift yüz Lap=30 mm yamalı levhaların b) [15°] <sub>8</sub> Tip3 çift yüz Lap=30 mm hasara uğradıkları andaki şekil değişimleri	108
<b>Şekil 5.28.</b>	<b>a)</b> [30°] <sub>8</sub> Tip1 yamasız, <b>b)</b> [45°] <sub>8</sub> Tip3 tek yüz Lap=30 mm yamalı levhaların hasarla birlikte şekil değişimlerinin levha üzerindeki dağılımları	109

<b><u>Şekil No</u></b>		<b><u>Sayfa</u></b>
<b>Şekil 5.29.</b>	$[0^0]_8$ çift yüz Lap=60 mm yamalı <b>a)</b> Tip4 <b>b)</b> Tip3 levhaların hasara uğradığı andaki şekil değişimleri	110
<b>Şekil 5.30.</b>	$[0^0]_8$ Tip1 çift yüz Lap=30 mm yamalı numunenin hasar sonrası levha ve yamanın durumu	111
<b>Şekil 5.31.</b>	a) $[0^0]_8$ Tip1 ve b) $[0^0]_8$ Tip4 çift yüz Lap=30 mm yamalı levhaların hasara uğradıkları andaki şekil değişimleri	112
<b>Şekil 5.32.</b>	$[0^0]_8$ tek yüz Lap=30 mm yamalı <b>a)</b> Tip1 <b>b)</b> Tip4 levhaların hasara uğradıkları andaki şekil değişimleri	113
<b>Şekil 5.33.</b>	$[0^0]_8$ Tip3 tek yüz Lap=60 mm yamalı numunelerin <b>a)</b> Hasar başlangıcı görüntüsü <b>b)</b> Hasarın ilerlemiş görüntüsü.	114
<b>Şekil 5.34.</b>	Yük bindiği anda $[0^0]_8$ tek yüz <b>a)</b> Lap=60 mm yamalı numunelerde eğilme oluşumu, <b>b)</b> Lap=30 mm yamalı numunelerde eğilme oluşumu	115
<b>Şekil 5.35.</b>	Tam kırılma öncesi $[0^0]_{10}$ çift yüz Lap=30 mm yamalı numunelerde soyulma	116
<b>Şekil 5.36.</b>	$[0^0]_8$ tek yüz Lap=45 mm yamalı numunelerin <b>a)</b> Tam kırılma öncesi görüntüsü. <b>b)</b> Kırılmadan sonra görüntüsü	117
<b>Şekil 5.37.</b>	<b>a)</b> Yük bindikten sonra $[0^0]_8$ tek yüz L=30 mm <b>b)</b> Kırılmadan sonra $[0^0]_8$ tek yüz Lap=30 mm yamalı numunelerin görünüşü	118
<b>Şekil 5.38.</b>	<b>a)/b)</b> $[0^0]_8$ çift yüz $T_{ha}=0.2$ mm yapıştırıcı hasarı	119

## TABLO LİSTESİ

<u>Tablo No</u>		<u>Sayfa</u>
<b>Tablo 4.1.</b>	Deneysel çalışmada kullanılan geometrik parametreler	34
<b>Tablo 5.1.</b>	Fiber takviye açısına bağlı olarak levhalarda meydana gelen hasar yüklerinin azalması ( $[0^{\circ}]_8$ levhaya göre)	70
<b>Tablo 5.2.</b>	Çentikli kompozit levhalarda hasar yüklerinde meydana gelen azalma oranları (Çentiksiz levhaya göre % olarak)	72
<b>Tablo 5.3.</b>	$[0^{\circ}]_8$ Tip1,2,3,4 tek yüzünden ve çift yüzünden tamir edilmiş levha için elde edilen hasar yükleri artış oranları tablosu ( $Tha=0.4$ , Lap = 30 mm)	74
<b>Tablo 5.4.</b>	$[15^{\circ}]_8$ Tip1,2,3,4 tek yüzünden ve çift yüzünden tamir edilmiş levha için elde edilen hasar yükleri artış oranları tablosu ( $Tha=0.4$ , Lap = 30 mm)	76
<b>Tablo 5.5.</b>	$[30^{\circ}]_8$ Tip1,2,3,4 tek yüzünden ve çift yüzünden tamir edilmiş levha için elde edilen hasar yükleri artış oranları tablosu ( $Tha=0.4$ , Lap = 30 mm)	78
<b>Tablo 5.6.</b>	$[45^{\circ}]_8$ Tip1,2,3,4 tek yüzünden ve çift yüzünden tamir edilmiş levha için elde edilen hasar yükleri artış oranları tablosu ( $Tha=0.4$ , Lap = 30 mm)	80
<b>Tablo 5.7.</b>	$[0^{\circ}]_8$ Tip1,2,3,4 tek yüzünden ve çift yüzünden tamir edilmiş levha için elde edilen hasar yükleri artış oranları tablosu ( $Tha=0.4$ , Lap = 30 mm)	84
<b>Tablo 5.8.</b>	$[0^{\circ}]_8$ Tip1,2,3,4 tek yüzünden ve çift yüzünden tamir edilmiş levha için elde edilen hasar yükleri artış oranları tablosu ( $Tha=0.4$ , Lap = 45 mm)	86
<b>Tablo 5.9.</b>	$[0^{\circ}]_8$ Tip1,2,3,4 tek yüzünden ve çift yüzünden tamir edilmiş levha için elde edilen hasar yükleri artış oranları tablosu ( $Tha=0.4$ , Lap = 60 mm)	88
<b>Tablo 5.10.</b>	$[0^{\circ}]_8$ Tip1,2,3,4 tek yüzünden ve çift yüzünden tamir edilmiş levha için elde edilen hasar yükleri artış oranları tablosu ( $Tha=0.2$ , Lap = 30 mm)	93
<b>Tablo 5.11.</b>	$[0^{\circ}]_8$ Tip1,2,3,4 tek yüzünden ve çift yüzünden tamir edilmiş levha için elde edilen hasar yükleri artış oranları tablosu ( $Tha=0.4$ , Lap = 30 mm)	95
<b>Tablo 5.12.</b>	$[0^{\circ}]_8$ Tip1,2,3,4 tek yüzünden ve çift yüzünden tamir edilmiş levha için elde edilen hasar yükleri artış oranları tablosu ( $Tha=0.6$ , Lap = 30 mm)	97
<b>Tablo 5.13.</b>	$[0^{\circ}]_8$ Tip1,2,3,4 tek yüzünden ve çift yüzünden tamir edilmiş levha için elde edilen hasar yükleri artış oranları tablosu ( $Tha=0.8$ , Lap = 30 mm)	99
<b>Tablo 5.14.</b>	$[0^{\circ}]_8$ Tip1,2,3,4 tek yüzünden ve çift yüzünden tamir edilmiş levha için elde edilen hasar yükleri artış oranları tablosu ( $Tha=1.0$ , Lap = 30 mm)	101



## KISALTMA VE SİMGELER

$\psi_{LV}$	: Sıvı-gaz temas yüzey enerjisi	-
$\psi_{LS}$	: Sıvı-katı temas yüzey enerjisi	-
$\psi_{SV}$	: Katı-gaz temas yüzey enerjisi	-
$\theta$	: Temas açısı	[ $^{\circ}$ ]
$\sigma$	: Normal gerilme	[MPa]
$\tau$	: Kayma gerilmesi	[MPa]
S	: Elastik gevşeklik tensörü	-
F	: Yük	[N]
$\nu_{12}$	: Poisson oranı	-
$G_{12}$	: Kayma modülü	[MPa]
C	: Elastik rijitlik tensörü	[MPa]
T	: Tranformasyon matrisi	-
A	: Yapıştırma yüzey alanı	[mm <sup>2</sup> ]
b	: Bağlantı genişliği	[mm]
$L_{\bar{u}}$	: Bağlantı uzunluğu	[mm]
Lap	: Bindirme uzunluğu	[mm]
Tha	: Yapıştırıcı Kalınlığı	[mm]
ÇY	: Çift yüz yama	-
TY	: Tek yüz yama	-



## 1. GİRİŞ

Günümüzde kompozit malzemelerin kullanımı gelişen teknoloji ve değişik fonksiyonlardaki malzeme ihtiyacına paralel olarak artış göstermektedir. Kompozitlerin bir yapıyı oluşturması veya hasar sonrası tamiri aynı şekilde kompozit malzeme artışına paralel olarak önem kazanmıştır.

Birden fazla parçayı birleştirme işlemi konstrüktif yapıların bir gereğidir. Yapılardaki meydana gelen hasarların birçoğu da birleştirme işleminin yapıldığı kısımlardan kaynaklıdır. Bundan dolayı yapılardaki bağlantıların güvenliğinden emin olmak için, bağlantılardaki gerilme dağılımını iyi analiz etmek gerekmektedir. Birleştirme bölgelerindeki zayıf noktaların tespitiyle ilgili çalışmalar geçmişten günümüze artarak devam etmektedir. Araştırmacılar bağlantı mukavemetini arttırabilmek için farklı bağlantı türleri ve geometrileri üzerine araştırmalar yapmaktadırlar.

Birleştirme işlemlerinde kullanılan yöntemler en genel haliyle çözülebilen ve çözülemeyen bağlantılar olarak ifade edilebilir. Çözülemeyen bağlantılar pim, civata ve perçin gibi birleştirme elemanları kullanılarak yapılmakta ve genellikle mekanik bağlantı olarak da adlandırılmaktadırlar. Ağırlıkla metallerin ve kısmen de kompozitlerin birleştirilmesinde kullanılan mekanik birleştirme yönteminde bağlantı elemanını yerleştirmek için bağlanacak parçalara delikler açılmaktadır. Açılan bu delikler geometrik düzensizliklere sebep olduklarından bağlanan parçalarda gerilme yığılmaları meydana gelmektedir. Mekanik bağlantılar kolay çözülebilmek, bakım ve tamir kolaylığı, yapı içerisindeki basitlikleri, çevre ve sıcaklıktan etkilenmemeleri gibi çok önemli özelliklerle ön plana çıkmaktadırlar. Çözülemeyen bağlantılar ise kaynak, lehim ve yapıştırma gibi bağlantılardır. Çözülemeyen bağlantı türünün bir uygulaması olan yapışma bağlantıları kompozit gibi reçine esaslı malzemelerin birleştirilmesi için uygun bir bağlantı türüdür. Yapıştırma bağlantıları gerilme yığılmalarına sebep vermemektedir. Aynı zamanda geniş bir malzeme seçeneği, uygulama esnasında delik veya çentiğe ihtiyaç duymaması, her malzemeye uygulanabilmesi, sürekli mukavemette yorulmanın az olması, sızdırmazlık sağlaması, boşluk doldurabilmesi gibi avantajları da vardır. Bunun yanında kritik bağlantılardaki gerilme analizlerinin zor olması, yüzey temizliği gerektirmesi, bağlantı ömrünün sıcaklık ve nem gibi faktörlerden etkilenmesi ve muayene şartlarının zor olması gibi dezavantajları da mevcuttur.



## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Soutis ve Hu (1997) yama ile tamir edilmiş kompozit levhaların basma yükü altında mekanik davranışlarını incelemiştir. Kritik bağlantı parametrelerini belirlemek için çift tesirli bağlantı üzerinde lineer olmayan gerilme analizi uygulamışlardır. Yama uzunluğunu arttırmanın yapı ağırlığını arttırdığı ve gerilme yoğunlaşmalarına yol açtığını tespit etmişlerdir. Yamanın uç kısımlarında yama kalınlığının düşürülmesi ve yerel yapıştırıcı kalınlığı artışıyla hem soyulma hem de kesme gerilmelerinde gerilme yoğunlaşmasının düşürülebileceğini ifade etmişlerdir. Üç boyutlu sonlu eleman analizi, en ideal bağlantı geometrisinde gerilmeleri hesaplamak için kullanılmıştır. Sonlu eleman analizinde son hasar yükünü tahmin için yapıştırıcı kesme gerilmesi hasar yükü olarak kullanılmıştır. Yapmış oldukları deneysel ve sayısal çalışmalar sonucunda, tamir edilmiş hasarlı kompozit levhaların mukavemetinin sağlam kompozit levhaların mukavemetine % 80 oranında yaklaştığını gözlemlemişlerdir.

Tomita ve ark. (1997) yapmış oldukları çalışmada T300 ve T800H karbon-epoksi kompozitleri kullanmışlar ve çentik burulma hasar davranışları üzerine fiber mukavemet etkisini deneysel yöntemlerle incelemiştir. Üç-nokta yavaş eğilme ve hasar tokluğu testleri uygulamışlardır.  $0^0$  ve  $10^0$  arası fiber takviye açılı T300 ve T800H kompozitlerini kıyasladıklarında; T800H kompozitlerin daha yüksek hasar enerjisine sahip olduğunu görmüşlerdir. Bununla beraber kompozitlerin yavaş burulma ve charpy hasar enerjileri  $22,5^0$  ve üzeri derecelerde düştüğünü gözlemlenmiştir. Genel olarak T800H kompozitleri T300 kompozitlerine kıyasla hasar enerjisinde çok yüksek anizotropi özelliği sergilediği belirtilmiştir.

Tomita ve Tempaku (1997) epoksi reçineli tek yönlü karbon fiberlerle takviye edilmiş kompozit levhalarda fiber hacim oranının çekme hasar davranışı üzerine etkisini araştırmışlardır. Polycrylanitrile karbon fiberleri olan T300 ve T800H kullanılmıştır. Kullanılan numuneler 18 katmanlı levhalardır. Çentikli ve çentiksiz levhalarda fiberlere paralel yönde yük uygulanmıştır. T800H çentiksiz kompozitlerin en yüksek çekme hasar gerilmesi özelliği gösterdiğini tespit etmişler fakat anlamlı bir şekilde T300 çentikli numunelere kıyasla mukavemet oranının düştüğünü gözlemlemişlerdir. hasarların genelde yük yönüne paralel olduğunu söylemişlerdir. T300 kompozit levhaların çentiksiz numunelerinde fiber- matris ara yüzey hasarlanması, hasar ilerlemesinde gevrek hasar gözlemlenmiştir. T800H numunelerinde hasarın genellikle

yüklemeye yönüne paralel ve fiber-matris ara yüzey hasarı şeklinde gerçekleştiği söylenmiştir. Çentikli numuneler için hasarın, kompozit tipinden bağımsız olarak fiber-matris ara yüzeyinde oluştuğu vurgulanmıştır.

Charalambides ve ark. (1998) dış kısmından yama ve yapıştırıcı kullanılarak tamir edilmiş kompozit levhaların hasar davranışlarının dış etmenlere bağlı analizini deneysel ve sayısal yöntemlerle gerçekleştirmişlerdir. Birinci bölümde yapıştırıcıyla tamir edilmiş cfrp levhalarının statik çekme performanslarını hasar yükü ve yolu açısından incelemişlerdir. Tamir bağlantılarının davranışlarını kuru ortam ve nemli ortamda zamana bağlı olarak araştırmışlardır. Dış ortam etkilerini araştırmak için kompozitler 50<sup>0</sup> sıcaklığındaki suyun içerisinde 4 ay kadar bekletilmiştir. Sayısal çalışmalarında ise sonlu eleman analiz yöntemiyle yapıştırıcı ve karbon-fiber kompozitlerinin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. ABAQUSE programında Von-Mises hasar kriterini kullanmışlardır. Hem yapıştırıcı hem de kompozit levhalar için lineer elastik ve lineer elastik-plastik olmak üzere iki farklı model kullanmışlardır. Kompozit için lineer elastik modelde homojen ortotropik malzemeye yakın özellikler sağlanmış lineer elastik-plastik modelde ise fiber takviye açısına bağlı olarak ortotropik/anizotropik özellikli tabakaların kombinasyonu sağlanmıştır. Lineer elastoplastik modelin lineer elastik modelden hasar tahmini için daha doğru sonuç verdiğini görmüşlerdir. Yapmış oldukları çalışmayla deneysel ve sayısal hasar tiplerinin hasar yüklerini tespit etmekte benzer sonuçlar verdiklerini ortaya koymuşlardır.

Charalambides ve ark. (1998) epoksi film (redux319) yapıştırıcı kullanılarak yapıştırılmış karbon fiber takviyeli epoksi reçineli levhaların (T300/914) tamir bağlantılarını statik ve yorulma yükleri altında çalışmışlardır. Tamir bağlantıları 50 C<sup>0</sup>'de 16 ay süresince damıtılmış suda bekletilmiş ve sıcak/nemli çevrenin statik ve yorulma mukavemetleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Artık gerilme dağılımı testleri statik çekme yükleri altındaki numunelerde gerçekleştirilmiştir. Bütün testler oda sıcaklığında yapılmıştır. Yorulma testleri çekme yükleri altında incelenmiştir. Bu çalışmada uygulanan parametrelerin tamir edilmiş kompozit levhaların statik çekme mukavemetleri üzerine büyük bir etkisinin olmadığı tespit edilmiş fakat hasar tiplerinde değişimler gözlenmiştir. Camsı geçiş sıcaklığına yakın sıcaklıktaki testlerde tamir performansında değişimler kaydedilmiştir.

Her ve ark. (1999) tek ve çift tesirli yapışma bağlantılarının hasar davranışlarını araştırmışlardır. Tek ve çift tesirli yapıştırıcı bağlantısını modellemek için basitleştirilmiş tek boyutlu bir yaklaşım geliştirilmiştir. Basit bir sayısal çözüm elde edilmiş ve iki boyutlu sonlu eleman sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Sonuçların uyumlu olduğu görülmüştür. Kullanılan yaklaşımın basit ama doğru sonuçlar veren bir yaklaşım olduğu, bundan dolayı bağlantı türünün seçimi için çok önemli olduğu vurgulanmıştır. Levha kalınlığı, yapıştırıcı kalınlığı ve tipleri gibi değişken parametreleri kullanılmıştır. Yapıştırıcı kalınlığı artışıyla yapışan bölgede kesme gerilmelerinin düştüğünü tespit etmişlerdir. Levhaların farklı yapıda olması durumunda yapışan bölgenin yakınında, levha serbest ucunda maksimum kesme gerilmesi meydana geldiği ifade edilmiştir. Farklı levha kalınlıkları için maksimum kesme gerilmesinin levhanın yakınında yapıştırıcının serbest kısmında olduğu söylenmiştir.

Achour ve ark. (2003) yanal yarım daire çentikli kompozitlerin boron epoksi yama ile tamirini gerilme yığılmalarını azaltmaya yönelik çalışmışlardır. Yapıştırıcı özelliklerinin çentik uç kısımlarında gerilme yığılmaları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yapıştırıcı özelliklerinin yama tamirinin performansını arttırmada büyük bir etken olduğu belirtilmiştir. Tamir edilmiş çentikli levhalarda yapıştırıcı kalınlığı ve yapıştırıcı kayma modülünün etkileri çalışılmıştır. Sonlu eleman analiz yöntemi kullanılmıştır. Yüksek kaliteli yapıştırıcıların düşük kayma modülüne sahip olduğu, yapıştırıcı kayma modülünün yükselmesiyle gerilme yoğunluk faktörünün düştüğü yani yapıştırıcı kayma modülünün yükselmesinin, mukameti azaltıp bunun sonucunda yapışma hasarına sebep olduğu belirtilmiştir. Çentik uçlarında gerilme yoğunluğu düşüşü %30, azami gerilme yoğunluğu faktörü düşüşü %80 civarında gerçekleşmiştir. Yapıştırıcı seçimi gerilmeyi yamaya taşıyacak ve yapıştırıcı seviyesindeki gerilmeyi arttırmak için adhezyon hasarından kaçınacak şekilde olması gerektiği vurgulanmıştır. Yapıştırıcının fazla kalın olması yamaya gerilme transferini azaltmış ve bu yüzden yamanın verimini azaltmıştır. İnce olması ise yamaya yük transferi yapmış fakat yapıştırıcı hasarı riskini arttırmıştır. Yama kalınlığının artması çatlak uçlarındaki gerilme yoğunluk faktörünü düşürmüştür. Farklı yama kalınlıkları, farklı yama boyutlarında uygulanmış ve farklı etkiler görülmüştür. Bundan dolayı farklı yama boyutları için farklı yama kalınlıklarının kullanımı önerilmiştir.

Keller ve ark. (2004) cam fiber takviyeli polimer sandviç kirişlerinde yapıştırma bağlantılarının yapısal davranışlarını incelemişlerdir. Çok karmaşık yapılarına rağmen basit hesaplamalarla sandviç elemanlarda çözümlenmeye gidilebileceği gösterilmiştir. Sandviç elemanların yüksek maliyetli olduğu fakat fiziksel görünüş gibi faydalarından dolayı binanın değerini arttıran bir etkiye sahip olduğu söylenmiş ve kesme gerilmesinin oldukça düşük, soyulma gerilmesinin kenarlarda yüksek olduğu belirtilmiştir. Eğilme göz önüne alındığında düşük kesme yüklemeli, düşük maliyetli cam fiber kompozit ağları ve kirişleri oluşturulabileceği vurgulanmıştır.

Campilho ve ark. (2005) yama ile tek ve çift yüzünden tamir edilen kompozit malzemelerin çekme yükü altındaki gerilme dağılımlarını, artık gerilmelerini ABAQUSE programını kullanarak sonlu elemanlar yöntemiyle incelemişlerdir. Direk olarak hasar mekaniği üzerine temellendirilmiş kohezif karışık-mod hasar modelini sonlu eleman yöntemi olarak seçmişlerdir. Numuneler karbon fiber kompozitlerdir. Yama kalınlığının, istifleme sırasının ve numune geometrilerinin mekanik davranışı çok fazla etkileyen parametreler oldukları belirtilmiştir. Yapışan/yapıştırıcı ve yapıştırıcı/yama parametreleri hasar modları için değerlendirilmiştir. Maksimum artık gerilmenin en uygun geometri seçimiyle sağlanacağı vurgulanmıştır.

Hufenbach ve ark. (2005) fiber takviyeli ve örgü takviyeli çok tabakalı kompozitleri sayısal ve deneysel olarak çalışmışlardır. Eliptik ve yuvarlak çentiklerin kompozit levhalara etkileri incelenmiştir. Kompleks değerli uzama fonksiyonları ve uyumlu haritalama üzerine oturtulmuş metodlar kullanılmıştır. Bu yöntemle 'bütün gerilme, şekil değiştirme ve uzama alanlarının hesabı, genel anizotropik çok katmanlı tabaka içerisinde yapılabilir' denilmiştir. Kullandıkları yöntemin çentik kenarındaki uzama, burulma ve gerilmeleri doğrudan hesaplamanın yanında tüm levhada dağılımlarını da hesaplamaya imkân verdiği belirtilmiştir. Hesaplama modellerini doğrulamak için çok sayıda deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Numunelerin iç ve dış kenarları üzerine dinamik ve kinematik sınır koşulları uygulayarak sayısal modeller sunulmuştur. Sayısal ve deneysel sonuçların uyumlu olduğu söylenmiştir.

Taib ve ark. (2006) cam fiber takviyeli vinilester kompozitlerin, epoksi yapıştırıcı kullanılarak birleştirilmesiyle oluşturulan tabakaların davranışlarını çekme gerilmesi altında incelemişlerdir. Bağlantı konfigürasyonlarını etkileyen parametreler; yapıştırıcı kalınlığı, hasar tipleri, nem, uç radiusu geometrisi ve yapışanların katılığı



şeklinde belirlenmiştir. Geçme, bir kesit, tek tesirli ve çift tesirli bağlantı türleri kullanılmıştır.

Khojin ve ark. (2006) 6.125 mm boyutunda çentik içeren Al7075-T6 levhalarının tamir uygulanmamış tiplerini ve değişik geometrilere sahip dört tabakalı boron/epoksi kompozit yamayla tamir edilmiş tiplerini statik ve yorulma yükleri altında çalışmışlardır. Çentik bölgesindeki gerilme dağılımını sonlu elemanlar yöntemiyle incelemişlerdir. Rose's modelinin farklı yama boyutlarında yoğunluk faktörünü hesaplamada yeterli olmadığını söylemişler ve yeni bir tanımlamayı çatlak ucundaki gerilmeye atamışlardır. Buna ek olarak deneysel çalışmalara tamir etkinliğiyle alakalı yeni bir tanımlama yapmışlar ve tamir edilmiş yapının statik gerilme ve yorulma davranışları üzerine yama geometrisini deneysel olarak çalışmışlardır. Statik gerilme ve yorulma testlerinin birlikte incelenmesi sayesinde tamir edilmiş yapıların özellikleriyle alakalı yama geometrisinin etkilerine daha rahat ulaşılabileceğini söylemişlerdir. Yamanın uygun boyuttan daha geniş olmasının düzlem dışı eğilmelere neden olacağını, yama ve numunenin birbirinden ayrılmasını hızlandırarak çatlağı daha da ilerleteceğini savunmuşlardır. Yama uygun boyuttan daha küçük olursa yama ve levha arasındaki kesme yüklerini destekleyemeyeceği ve erken hasarlara sebebiyet vereceğide belirtilmiştir.

Toudeshky (2006) tek tarafından tamir edilmiş alüminyum panellerde çatlak ön şeklinin çatlak ilerleyişi üzerine etkilerini incelemiştir. Deneysel ve sayısal sonuçlarla çatlak büyümesinin eşdeğer olmadığı ve çatlak ön şeklinin gerilme yoğunluk faktörü ve ilerleme oranı üzerine büyük bir etkisinin olduğu sonucuna varmışlardır. (2024-T3) alüminyum tabakalar ve cam/epoksi kompozit yamalar kullanılmıştır. Bunlara ek olarak tabaka ve yama kalınlığının tamir edilmiş panellerin çatlak büyüme ömrüne etkileri incelenmiştir. Çatlak büyüme ömrünü tahmininde kullanılan iki boyutlu analiz sonuçlarının deney sonuçlarına uygun olduğu söylenmiştir. Elde edilen çatlak büyüme oranı ve çatlak ön şekli değişik yama kalınlıkları için tartışılmıştır. Üç boyutlu sonlu eleman analiz sonuçları tek tarafından yamalı panellerin çatlak büyüme hesabı için basit bir metot olarak kullanılmıştır.

Bouiadjra ve ark. (2007) çekme gerilmesine maruz kalan kompozit levhaların çentik ve çatlak uç kısımlarında gerilme yoğunluk faktörü hesabını sonlu elemanlar yöntemiyle incelemişlerdir. Yoğunluk faktörü üzerine yapıstırıcı ve fiber takviye açısı

etkileri üzerinde durulmuştur. Fiber takviye açısı doğrultusunda yük uygulanması durumunda çentik mukavemeti ve çentik ilerleme direncinin düştüğü belirtilmiştir. Yapıştırıcı özelliklerinin çentik ucundaki gerilme yoğunluğu için çok fazla etkili olmadığı ve çentik uzunluğu arttıkça çentik ucundaki gerilme yığılma faktörünün asimtotik davranış sergilediği belirtilmiştir. Fiber takviye açısı düştükçe çatlak ilerlemesine karşı olan direncin düşeceği, kompozitler için yapıştırıcı özellikleri seçilirken malzeme, yapıştırıcı ve yüzey hasarları birlikte orantılanarak değerlendirilmesi gerektiği söylenmiştir.

Bouiadjra ve ark. (2007) çatlak yapıların çift tarafından tamirini sonlu eleman yöntemiyle çalışmışlar ve tek tarafından tamirle kıyaslamışlardır. Araştırmalarında çatlak ucundaki yoğunluk faktörünü esas almışlardır. Tabaka, yama ve yapıştırıcı özelliklerinin çift yamaya etkileri üzerinde çalışmışlardır. Çift yamanın avantajını arttırabilmek ve yapıştırıcı hasarından uzak tutabilmek için uygun özellikte yapıştırıcı ve yama seçilmesi gerektiğini söylemişlerdir. Alüminyum levha ve boron epoksi yama kullanmışlardır. Yapıştırıcı kayma modülünün yapıştırıcı kalınlığına bağlı olarak faydalı etkiye sahip olacağı ve levha özelliklerinin (kalınlık ve kesme modülü) artışı çift yama kullanım avantajlarını düşüreceği söylenmiştir. Yapıştırıcı kalınlığı düşüşünün çift taraflı yamalarda avantaj olacağı düşük yapıştırıcı kalınlığının iyi gerilme transferi demek olduğu ve yapıştırıcı hasarı riskini arttırdığı vurgulanmıştır.

Khashaba ve ark. (2007) çentikli ve çentiksiz cam fiber epoksi kompozitlerinin eğilme davranışlarını statik ve yorulma yükleri altında deneysel yöntemlerle incelemişlerdir. Numunelerin fiber takviye açıları  $[0/\pm 30/\pm 60/90]_s$  şeklinde seçilmiştir. Numune merkezlerinde farklı ölçülerde delikler açılmıştır. Delikli kompozit levhalarda delik çaplarının artmasıyla nihai eğilme mukavemetinin düştüğü, çentik çapı düşüşünün yorulma süresini arttırdığı ve daha uzun yorulma ömrünün deliksiz numunelerde olduğu belirtilmiştir. Tek yönlü levhalardaki hasarın ani hasarlara öncülük ettiği ve çentik boyutunun  $[0/\pm 30/\pm 60/90]_s$  kompozitlerinde yorulma ömürlerini etkilemediği ortaya konulmuştur.

Tsouvalis ve ark. (2008) karbon/epoksi yamayla tamir edilmiş ortasında delik bulunan çelik levhaların verimliliğini statik çekme yükü altında araştırmışlardır. Yamalar tek tarafından elle yatırma konvensiyonel yöntemiyle yapıştırılmıştır. Yama

işlemini yapmadan önce yüzey hazırlama metodları uygulanmış ve pürüzlülük ölçümleri yapılmıştır. Yamaların düşük katılık özelliklerine rağmen deney numunelerin lineer uzadığı, plastisiteye düzgün bir geçiş olduğu ve hasar yükü oranının %30 dan %50 ye yükseldiği sonucuna varmışlardır. Genel olarak düşük bir maliyetinin olması, gemilere uygulanabilmesi ve elle yatırma tekniğinin çok fazla çalışana ihtiyaç duymadan yapılabilmesi gibi özelliklerinin çalışmalarını önemli kıldığını savunmuşlardır.

Rao ve ark. (2008) polimer fiber takviyeli plastik tabakalarda üç boyutlu sonlu eleman yöntemini kullanarak tek tesirli yapıştırma bağlantılarının termo elastik analizini ortaya koymuşlardır. Normal ve kesme gerilmeleri yapıştırıcıda ve kompozitin yapışan iç yüzeylerinde hesaplanmıştır. Sonlu eleman analizleri için ANSYS programında Solid 45 element tipi kullanılmıştır. Fiberlerle güçlendirilmiş kompozit tabakalarda tek tesirli bağlantı analizi için üç boyutlu gerilme analizinin uygun olduğu belirtilmiştir.

Rao ve ark. (2008) fiber takviyeli kompozit malzemelerin tek tesirli yapışma bağlantılarını üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemiyle incelemişlerdir. Sonlu eleman modelinde literatürdeki gibi boylamsal yük uygulamışlardır ve ortotropik levhalara transver yük uygulamışlardır. Sonlu eleman modeli Solid45 element tipi ile ANSYS programında gerçekleştirilmiştir. Yapışan malzeme olarak T300/934 grafit/epoksi fiber takviyeli kompozitler ve yapıştırıcı olarak epoksi kullanılmıştır. Genişlik yönündeki gerilmenin hesaba katılması gerektiği vurgulanmış ve bu sebeple üç boyutlu analize ihtiyaç olduğu söylenmiştir. İki ucundan desteklenmiş numunelerde gerilme ve transferin diğer durumlardan daha fazla olduğu, her bağıl durumda maksimum gerilmenin kesme gerilmesinden daha fazla gözlendiği, iç tabaka ve bağlantıların sapma ve gerilmelerini etkilediği belirtilmiştir.

Soutis ve Lee (2008) kompozit yapılarda boyut etkisini tahmin edebilmek için farklı ölçülerdeki kompozitler üzerinde çalışmışlardır. Mevcut modellerin yeterli olmadığı, sunulan büyük boyutlu çalışmaların çok pahalı testlere ihtiyaç duyduğu belirtilmiş ve önceki çalışmaların kesin bir sonuç vermediği vurgulanmıştır. Çentik boyu, tabaka kalınlığı değişkenleri kullanılmıştır. Çentikli ve çentiksiz karbon fiber/epoksi kompozit sistemlerine uygulanan çekme ve basma mukavemetleri deneysel yöntemlerle araştırılmış ve boyut etkisinin mukavemete etkisi sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmiştir.

Ouinas ve ark. (2009) kompozit yamayla tamir edilmiş ince alüminyum levhaların çatlak ilerleme davranışlarını araştırmışlardır. Kenarında yarım daire çentik bulunan levhaların gerilme yoğunluğunu düşürmek için tamir işlemi uygulanmış ve performanslarını incelemek için sonlu eleman yöntemi kullanılmıştır. Çatlak ucundaki gerilme yoğunluk faktörü değişimi üzerine yapıştırıcı ve yama boyutu etkileri irdelenmiştir. Çentik sayısının artması ve çentik çapının büyümesi gerilme yoğunluk faktörünü arttırmıştır. Çatlaklar grafit/epoksi kompozit yamaları kullanılarak güçlendirilmiştir. Tüm yapı standard sekiz düğümlü kafes yapısıyla çözülmüştür. Tek yüzünden yama uygulanmış levhalarda yamasız levhalara kıyasla gerilme yoğunluk faktörü düşüşü %42 ve çift yüzünden yama uygulanmış levhalarda %54 olarak bulunmuştur. Yapıştırıcı özelliklerinin yama tamiri performansını çok fazla etkilediği vurgulanmıştır. Çentiğin çatlaktan daha karmaşık gerilme dağılımı sergilediği ve gerilme dağılımının hasarın ilerlemesinde çok önemli bir faktör olduğu vurgulanmıştır. Uygun yama çapı ve yama kalınlığı seçimiyle yarım daire yama performansının arttırılabileceği söylenmiştir. Tek taraflı güçlendirmelerde büyük yama kalınlığının dezavantajını tarafsız eksenin yerini değiştirmesiyle ve çatlak kenarı boyunca eğilme gerilmesine olanak vermesiyle açıklamışlardır.

Drummond ve ark. (2009) parçacık ve fiberlerle doğrudan veya dolaylı olarak dolgu yapılmış çentikli kompozitlerin yorulma davranışlarını hasara uğrayana kadarki döngü sayısına bağlı kalarak çalışmışlardır. Kompozitleri 320 grit SİC kağıdıyla kaplamışlardır. Bu numuneleri artırmış suda, havada, yapay tükrükde ve etanol içerisinde 6 ay boyunca bekletmişlerdir. Test esnasında en düşük 5 MPa, en büyük 49 MPa yük ve en büyük döngü sayısını 100000 olacak şekilde uygulamışlardır. Hasara ulaşıldığında döngü sayılarını kaydetmişlerdir. 50/50 su ve etanol karışımında bekletilen numunelerin yorulmaya daha az direnç gösterdiği ve büyük parçacıklı numunelerin, küçük parçacıklı numunelerden daha fazla döngü yorulma direncine dayanabileceklerini belirtmişlerdir.

Rao ve ark. (2009) karma (frp-çelik) kompozit tabakaları ele almış ve tek tesirli bağlantıların yapıştırıcı statik analizini sonlu eleman temelli üç boyutlu elastisite teorisiyle çalışmışlardır. Yapıştırılan levha olarak grafit-epoksi ve yapıştırıcı olarak epoksi kullanılmıştır. Fiberlerin oluşturduğu levha açıları değiştirilerek tabakalar için

parametre oluşturulmuştur. En büyük soyulma gerilmesi yüksek fiber açılarında elde edilmiş ve hasarı önlemek için düşük açılar önerilmiştir.

Kannan ve ark. (2011) merkezi delikli karbon/karbon levhaların çekme mukavemetlerini sonlu elemanlar yöntemini kullanarak çalışmışlardır. Sayısal bağlantılardan elde edilen gerilme yoğunluk faktörü sonlu eleman yöntemi sonuçlarıyla mukayese edilmiştir. Çentik mukavemeti tahmini için modifikasyonlar Whitney ve Nuismer olarak bilinen hasar kriterleri içerisinde yapılmıştır. Sonlu eleman analizi sekiz düğümlü dört kenarlı alan şeklinde ANSYS programında yapılmıştır. Sayısal yaklaşımlar ve sonlu eleman metodu sonuçları oldukça uyumlu bulunmuştur.

Her ve Chao (2011) yama ile tamir edilmiş hasarlı kompozit levhaları çalışmışlardır. Levhanın yapışma bölgesindeki gerilme dağılımını çalışabilmek için özel bir yapıştırıcı geliştirmişlerdir. Yapıştırıcıyı desteklemek için levha ve yamaya düzenli elementler eklenmiştir. Hasarlı bölge delikle temsil edilmiştir. Tamir yeterliliği tamir öncesi ve sonrasındaki gerilme yoğunluğu faktörüyle değerlendirilmiştir. Yapıştırıcı ve yamanın malzeme özellikleri, boyutu ve kalınlığının gerilme dağılımı üzerindeki etkileri çalışılmıştır. Sayısal sonuçlara göre daha kalın yama daha fazla yük taşımış ve delik çevresinde daha az gerilme yığılması olduğunu gözlemlemişlerdir. Sonlu eleman analizi için ANSYS programından faydalanılmıştır.

Panigrahi ve Zhang (2011) üç boyutlu lineer olmayan sonlu eleman modelini kullanarak tek tesirli kompozit tabakalarda adhezyon, kohezyon ve delaminasyon hasarı ilerlemesini incelemişlerdir.  $[0^0]_8$  Grafit/epoksi levhalar ve epoksi yapıştırıcı kullanılmıştır. Sub-laminate diye adlandırılan hasar modeli üç ayrı hasar tipi için titreşim ve hasarın önündeki yer değişiminden sakınarak uygulanmıştır. Yapıştırıcının içinde meydana gelen hasarın yapıştırıcı ile yüzey arasındaki hasardan daha hızlı yayıldığını söylemişlerdir. Sonlu eleman modelini; üç boyutlu Solid45 ve Solid46 element tipleri ANSYS programında uygulamışlardır.

Her ve ark. (2011) hasarlı kompozit levhaların yapıştırıcı ve yama ile tamirini incelemişlerdir. Yapıştırıcı bölgesindeki gerilme dağılımını görebilmek için özel bir yapıştırıcı elemanı geliştirilmiştir. Bu yapıştırıcının tabaka ve yama birleşme yüzeylerindeki düzenli elementleri birleştirebilen özellikte olduğu belirtilmiştir. İki boyutlu düzlemsel problemlerde yapıştırma bağlantı problemlerini azalttığı ve buna ek olarak yapıştırıcıya çok küçük ağ atama zorunluluğunu ortadan kaldırdığı

vurgulanmıştır. Yapıştırıcı elementi kesme gerilmesinin yapıştırıcı boyunca sabit olduğu kabul edilmiştir. Hasar gören bölge dairesel delikle temsil edilmiştir. Yama ve yapıştırıcının kalınlık, boyut ve malzeme özellikleri parametrelerinin gerilme dağılımı üzerindeki etkisi sunulmuştur. Sayısal yaklaşımların sonucunda daha katı ve daha kalın yamanın daha fazla yük taşıyabileceği ve hasar deliğinde boydan boya gerilme yoğunluğunu ve akmayı azaltacağı sonucuna ulaşılmıştır. Yüksek kesme modülü ve yapıştırıcı tabakasının ince kalınlıklarında uygulanan daha az bir yükte hasarlı bölgede yamanın gerilme yoğunluğuna itileceği vurgulanmıştır. Daha kalın ve sert yamalarla tabakaya daha fazla yük transferi olacağı ve tamir verimliliğinin artacağını söylemişlerdir. Yapıştırıcı kalınlığı arttığında gerilme yoğunluğu faktörünün azalacağı, yapıştırıcının kayma modülü artarsa gerilme yoğunluk faktörünün yükseleceği ve yamanın yapıştırıcıdan daha etkili olacağı vurgulanmıştır.

Klusak ve ark. (2012) yapılarıdaki bazı bölgelerin çatlak başlangıcı ve son hasardan sorumlu olduğunu belirtmişler ve çatlak başlangıcını belirli geometri ve malzemeler için değişen yük durumları için incelemişlerdir. Çalışmalarını analitik ve sayısal yöntemlerle yapmışlardır. İki ortotropik materyalin birleştirilmesini tekil gerilme yoğunlaştırıcısı gibi kabul etmiş ve ortotropik çift materyal çentiği gibi modellemişlerdir. Tekil gerilme yoğunluklarıyla kritik yük durumları ve çatlak başlangıç yönünün belirlenmesinin yapıların güvenilir dizaynı için gerekli olacağı vurgulanmıştır. Teğetsel gerilme dağılımı için H1 ve H2 şeklinde gerilme yoğunluk faktörleri türetilmiştir. Bu yaklaşımla yeni materyallerin özelliklerinin ölçülmesine ihtiyaç duyulmayacağı ve kullanılan yöntemle servis ömrünün güvenilir bir şekilde tahmin edilebileceği söylenmiştir.

Vijayakumar ve ark. (2012) yapıştırıcı kalitesi değişkenini kullanarak karbon fiber kompozit tabakalarının birleştirilmesi üzerine çalışmalarını sunmuşlardır. Bu değişkenler yapıştırıcıya farklı miktarlarda poliyetilen alkol katılarak elde edilmiştir. Tek tesirli birleştirme yöntemi uygulanmıştır. Numune olarak 18 katmandan oluşan karbon fiber takviyeli epoksi reçineli levhalar kullanılmış ve sonlu eleman analizi ANSYS programında gerçekleştirilmiştir. Ultrasonik testler ve x-ray ışınları tekniği uygulanmıştır. X-ray sonuçları ve ultrasonik görüntülerin yapışma kalitesini açıkça gösterdiği tespit edilmiş ve iki işlemin de sonuçlarının birbirinden çok farklı olmadığı

ortaya konulmuştur. Ses yayılımlarının hasarı daha erken tespit etme olanağı sunduğu belirtilmiştir.

Gonzalez ve ark. (2012) kiriş testlerinden elde edilen sonuçlara göre beton mukavemeti ve yapıştırıcı kalınlığının kompozit yamayla desteklenmiş beton yapılarıdaki etkisini incelemişlerdir. Fiberlerle güçlendirilmiş polimer kompozitler ve yapıştırıcı olarak da epoksi kullanılmıştır. Gerilme-kayma ilişkisinin yapının yapışan yüzeyinin iç kenarında daha yoğunlukta olduğu söylenmiştir. Son yükleme ve yapışma gerilme-kayma ilişkisi beton mukavemetinden etkilenmiştir. Yapıştırıcı kalınlığı düşük mukavemetli yapılarda belirli bir etkiye sahip olmazken, yüksek mukavemetli malzemelerde daha büyük etkiye sahip olduğu ve 'the beam-type test' isimli yöntemin mükemmel sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Ouinias ve Achour (2012) eliptik delikli ve deliksiz kompozit levhaların burulma analizlerini sonlu elemanlar metodunu kullanarak araştırmışlardır. Boron/epoksi levhaları  $[(\theta / -\theta)]$  şeklinde asimetrik olarak üst üste dizilerek levhalar elde edilmiştir. Fiber takviye açısı, anizotropi derecesi, çentik konumu ve boyutu göz önünde tutularak tabakaların tek ekseninde basma karşısında burulmaya karşı direnci incelenmiştir. En düşük burulma yükü, en yüksek a/b eliptik oranında elde edilmiştir. Daha büyük geometrik hasarın daha az burulma yükü anlamına geldiği söylenmiştir. Sonlu eleman modellemesi ABAQUSE programında yapılmıştır.

Qin ve ark. (2013) 3D karbon/karbon kompozitlerinde çentik etkisinin tam-saha analizini yapmışlardır. Merkezi delikli, çok delikli ve çift kenar delikli altışar numune üzerinde çalışmışlardır. Testler MTS80 test makinasında yapılmış ve levhalardaki deformasyonlar bir CCD kamera yardımıyla kaydedilmiştir. Tam-alan ölçümleriyle yerel mekanik özellikler (gerilme yoğunluğu, kesme hasarı, çatlak davranışı) ve genel özellikler (çentik hassasiyeti ve çekme davranışı) araştırılmıştır. Net çapraz kesitte hasar gerilmesinin sabit olduğu ve heterojenlikten, çentiğin bulunduğu yerden, çentik derinliğinden bağımsız olduğu söylenmiştir. Gerilme yoğunluk faktörünün diğer homojen materyallere göre oldukça düşük olduğu ve bu malzemelerde çentik mukavemet oranının yaklaşık bire eşit olduğu belirtilmiştir. Çentikli numunelerinin son hasar yükü basitçe malzeme mukavemeti ve minimum çapraz kesit alanının çarpımıyla hesaplanabilmiştir.

Krishan ve Xu (2013) alüminyum ve polimer tabakaları yapıştırıcıyla birleştirmişler ve bağlantı noktalarındaki çatlak, çentik ve ara yüzeylerin etkileşimini araştırmışlardır. Alüminyum ve polimerin bir araya gelmesiyle oluşturulan çift malzemeli levhaları yapışma bölgelerinde ( $30^0, 90^0$  ve  $120^0$ ) V çentikli olacak şekilde birleştirmişlerdir. Çentik açısı ve yapışma mukavemetinin çatlak başlangıç yükü için belirgin bir etkide olduğu söylenmiştir. Zayıf yapıştırıcıyla birleştirilen polimer /metal levhaları için çentik açısının yükselmesiyle çatlak başlangıç yükü artmıştır. Yük uygulama noktası hasar başlangıç yükünü belirlemede etken olmuştur. Güçlü yapıştırıcı olarak Welden-10 ve zayıf yapıştırıcı olarak Loctite 384 seçilmiştir. Zayıf yapıştırıcının kullanıldığı bağlantılarda açı yükseldikçe çatlak başlangıç yükünün yükseldiği gözlemlenmiştir. Güçlü yapıştırıcı kullanılan bağlantıların  $90^0$ 'lik V çentikli tiplerinde en düşük çatlak başlangıç yükü görülmüştür. Farklı polimerlerin kullanımının çatlak başlangıç yükü üzerindeki etkisinin oldukça düşük olduğu belirtilmiştir.

Reza ve ark. (2014) çekme gerilmesi altında çift tesirli bağlantıların mekanik davranışlarını sayısal olarak incelemişlerdir. Viskoelastik yapıştırıcı seviyesinde epoksi yapıştırıcının kesme ve gerilme bağlantılarını sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışma sayısal bağlantılar kullanılarak gerçekleştirilmiş ve ANSYS programında sayısal olarak modellenmiştir. Diferansiyel eşitlikler Laplas dönüşümü ile türetilmiştir. 100 Newtonluk çekme yükü için yapıştırıcı seviyesindeki maksimum kesme gerilmesinin 12 günlük sürünme olayının sonunda %38, daha uzun süreler için %79 oranında düştüğü söylenmiştir. Bununla birlikte 100 Newtonluk çekme yüküne  $0^0$ 'dan yavaş yavaş çıkarak ulaşıldığında tepe kesme gerilmesinin arttığı belirtilmiştir. Her iki yük uygulaması içinde yapıştırıcı kalınlığı 0.01'den 0.1 mm'ye arttırıldığında yapıştırıcının tepe kesme gerilmesi ve şekil değişiminin azaldığı ve aynı değerler her iki yükleme tipi için gerçekleştiği söylenmiştir.



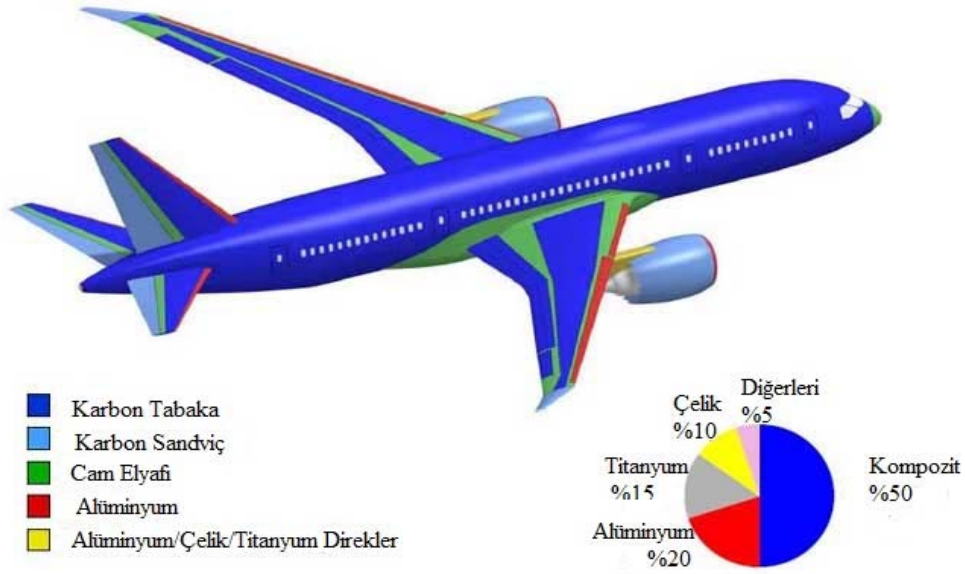
### 3. MATERYAL ve METOD

#### 3.1. Tanım

Günümüzde artan malzeme ihtiyacı ve azalan kaynaklardan ötürü malzeme talebini karşılamak amacıyla, gelişen teknolojiyle uyumlu yeni malzemelerin keşfine ihtiyaç duyulmuştur. Dolayısıyla hem ekonomik hem daha mukavemetli ve hem de çok hafif malzemelerin üzerinde çalışmalar giderek artmıştır. Farklı malzemelerin istenilen özelliklere uyacak şekilde bir araya getirilmesiyle elde edilen kompozit malzemeler, günümüz ihtiyaçlarını tam olarak karşılamaktadır. Çünkü kompozitler, sınırsız taleplere sınırsız üretim seçenekleriyle cevap vermektedir. Kompozitler örneklerini tabiattan almıştır ve bunlara en güzel örnek çam ağaçlarının gövdesindeki iç içe geçmiş yapıdır. Kış halkaları sert ve kırılğan yaz halkaları ise yumuşak ve esnektir.

Kompozit malzemeler; güçlü, sert fiberlerin daha zayıf ve daha az katı matris malzemeler içerisinde sıkıca sarılmasıyla elde edilir. Bu birleşim sonucunda güçlü, sert ve sıklıkla düşük yoğunlukta yapılar oluşur. Bu iki malzeme grubundan fiber malzeme, kompozit malzemenin mukavemet ve yük taşıma özelliğini sağlamaktadır. Matrisin fiberleri bir arada tutmak, yükü fiberlere eşit miktarda dağıtmak, plastik deformasyona geçişte oluşabilecek çatlak ilerlemelerini önlemek ve kompozit malzemenin kopmasını geciktirmek gibi rolleri vardır (Mallick, 1993).

Ticari materyaller genellikle epoksi, polyester reçine gibi termoset polimerler içerisinde cam veya karbon fiberler kullanılarak oluşturulur. Bazen, ilk üretimden sonra tekrardan dönüştürülebilme özelliğine sahip olmasından ötürü termoplastik polimerler de tercih edilmektedir. Matris malzemesi içerisine metal veya seramik malzemeler katarak da değişik tipte kompozit üretilebilir. Değişik tipte kompozit üretirken karşımıza çıkacak en büyük problem üretim maliyetidir. Bunun yanında yırtılma, sünme, kırılma tokluğu, termal karalılık gibi çözülmesi gereken karmaşık sorunlarda karşımıza çıkmaktadır. Şekil 3.1'de uçak üzerinde kullanılan değişik tipteki kompozit ve diğer materyaller gösterilmiştir.

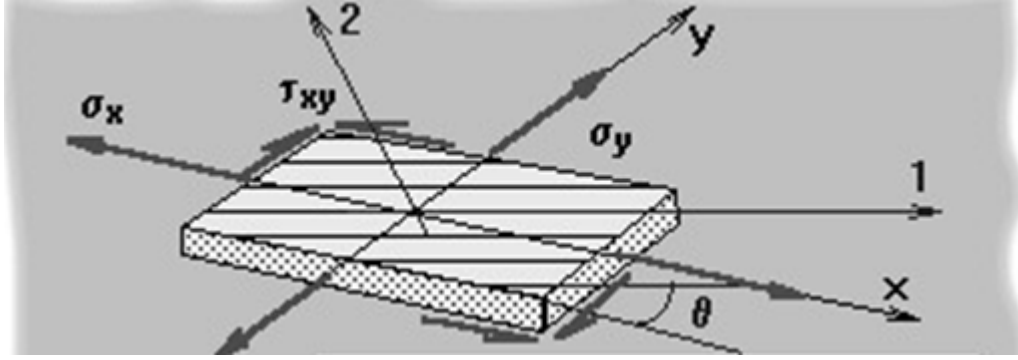


Şekil 3.1. Boeing 787 uçağındaki ana malzemeler (Freissinet, 2011)

### 3.2. Kompozit Levhalarda Gerilme Şekil Değişirme Bağlılıkları (Cleyne, 1996)

Yüksek sertlik ve mukavemet kompozit içerisinde yüksek bir oranda fiber gerektirmektedir. Bu ise uzun fiberlerin ince bir tabaka içerisinde sıralanmasıyla sağlanabilmektedir. Buna rağmen bu materyaller transfer yönünde anizotropiktir ve genellikle zayıf yapıdadır. Genellikle yüksek mukavemet ve sertlik tabaka içerisinde fiberlerin değişik yönlerde dizilimiyle elde edilmektedir. Çok sayıda tabakanın içerdikleri fiber açılarının ayarlanması koşuluyla üst üste istiflenip çözüme gidilmiştir. Bu istiflenme levha olarak adlandırılmaktadır. Çapraz katlı yapılar tek tabakaya göre daha izotropiktir.

Çok katlı levhaların sertlik ve gerilme hesabında sistematik bir yaklaşıma gerek duyulmaktadır. İlk olarak, gerilme eksenine uygun açılarda fiberlerin sanal eksenleri kurulmak zorundadır. İkinci olarak verilen yığının sertliğini bulabilmek için daha fazla sayıda hesaplamaya ihtiyaç vardır. Uygulanan gerilme fiberlerin paralel ve dikey bileşenlerine verilir. Sertlik eksenlere aktarıldığı zaman bu yönlerdeki şekil değişirme hesaplanabilmektedir. Son olarak ilgili yükleme yönlerindeki değerlere göre şekil değişirme aktarılmaktadır.



Şekil 3.2. Levha geometrisi (Cleyne, 1996)

Bu üç işlem matematiksel olarak tensör eşitlikleriyle açıklanabilmektedir. Çünkü yalnızca katın düzlemi içinde gerilme ve şekil değiştirme üzerinde durulmaktadır (iki normal ve bir kayma).

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{bmatrix} = [T] \begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} \quad [3.1]$$

Transformasyon matrisi;

$$[T] = \begin{bmatrix} c^2 & s^2 & 2cs \\ s^2 & c^2 & -2cs \\ -cs & cs & c^2 - s^2 \end{bmatrix} \quad [3.2]$$

ve  $c = \cos\phi$ ,  $s = \sin\phi$ .  $s_1$  değeri aşağıdaki eşitlikten elde edilebilmektedir:

$$\sigma_1 = \sigma_x \cos^2 \phi + \sigma_y \sin^2 \phi + 2\tau_{xy} \cos \phi \sin \phi \quad [3.3]$$

Gerilme ve son şekil değiştirmeler arasındaki ilişki elastik gevşeklik tensörleri (S) içeren bir eşitlikle açıklanan elastik sabitlerle açıkça belirlenebilmektedir.

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{bmatrix} = [S] \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & 0 \\ S_{12} & S_{22} & 0 \\ 0 & 0 & S_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{bmatrix} \quad [3.4]$$

$$S_{12} = -\frac{V_{12}}{E_1} = -\frac{V_{21}}{E_2} \quad [3.5]$$

$$S_{12} = -\frac{V_{12}}{E_1} = -\frac{V_{21}}{E_2} \quad [3.6]$$

$$S_{22} = \frac{1}{E_2} \quad [3.7]$$

$$S_{66} = \frac{1}{G_{12}} \quad [3.8]$$

3.4'üncü eşitlik, 3.1 eşitliğinde kurulan gerilmeleri kullanmakta, aynı zamanda şekil 3.2 1 ve 2 yönlerindeki gerinimlerin kurulmasına müsade etmektedir. Bu gerinim dönüşümlerinin son aşamasındaki uygulamalarda küçük bir karışıklık meydana gelmekte ve bu yüzden yükleme yönlerinde (x ve y) kabule gidilmektedir. Çünkü mühendislik ve tensörel kesme gerilmeleri tam olarak benzememektedir. Gerilmeler için kullanılan biraz farklı bir transformasyon matrisi uygulanmıştır.

$$\begin{vmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{vmatrix} = |T'| \begin{vmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{vmatrix} \quad [3.9]$$

Ters yönde dönüşüm için matrisin tersi kullanılmıştır.

$$\begin{vmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{vmatrix} = |T'|^{-1} \begin{vmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{vmatrix} \quad [3.10]$$

$$|T'|^{-1} = \begin{vmatrix} c^2 & s^2 & -cs \\ s^2 & c^2 & cs \\ 2cs & -2cs & c^2 - s^2 \end{vmatrix} \quad [3.11]$$

Uygulanan gerilmeler ve son şekil değiştirme ile en son ifade şu şekilde yazılabilmektedir:

$$\begin{vmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{vmatrix} = |T'|^{-1} |S| |T| \begin{vmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{vmatrix} = |\bar{S}| \begin{vmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{vmatrix} \quad [3.12]$$

Transform komplians tensörleri  $|T|^{-1}$ ,  $|S|$  ve  $|T|$  matrislerinin birbirleriyle bağlantısı ve çarpımı sonucu aşağıdaki gibi elde edilmiştir:

$$\bar{S}_{22} = S_{11} s^4 + S_{22} c^4 + (2S_{12} + S_{66}) c^2 s^2 \quad [3.13]$$

$$\bar{S}_{12} = S_{12} (c^4 + s^4) + (S_{11} + S_{22} - S_{66}) c^2 s^2 \quad [3.14]$$

$$\bar{S}_{22} = S_{11} s^4 + S_{22} c^4 + (2S_{12} + S_{66}) c^2 s^2 \quad [3.15]$$

$$\bar{S}_{16} = (2S_{11} + 2S_{22} - 2S_{66}) c^3 s - (2S_{22} - 2S_{12} - S_{66}) c s^3 \quad [3.16]$$

$$\bar{S}_{26} = (2S_{11} - 2S_{12} - 2S_{66}) c s^3 - (2S_{22} - 2S_{12} - S_{66}) c^3 s \quad [3.17]$$

$$\bar{S}_{66} = (4S_{11} + 4S_{22} - 8S_{12} - 2S_{66}) c^2 s^2 + S_{66} (c^4 + s^4) \quad [3.18]$$

### 3.3. Kompozitlerin Bağlanması

#### 3.3.1. Çözülebilir Bağlantılar (Mekanik Bağlantılar)

Cıvata, somun ve vidaların yapıya uygulanan yükü taşıyabilmesi ve aktarabilmesi için ön gerilme momentinde sıkılıp malzemenin bir parçasıymış gibi davranması gerekir. Bu şekilde sıkılan bağlantı elemanları çok fazla baskı kuvveti uygularlar ve uygulandığı malzemeler aşırı baskı kuvveti sonucu deforme olabilir. Bunun yanında büyük bir yapı içerisinde cıvata ve somunlar en büyük gerilme yoğunluğunun olduğu yerlerdir. Cıvatalı kompozit yapılarda delikler düşük gerilme performansına sahip olurlar ve bu yapıların uzun süreli kullanımında ise yorulma oranı artar. Su solvent gibi sıvıların girişine mücade ettiklerinden korozyona sebep olurlar.

#### Çözülebilir Bağlantıların Avantajları

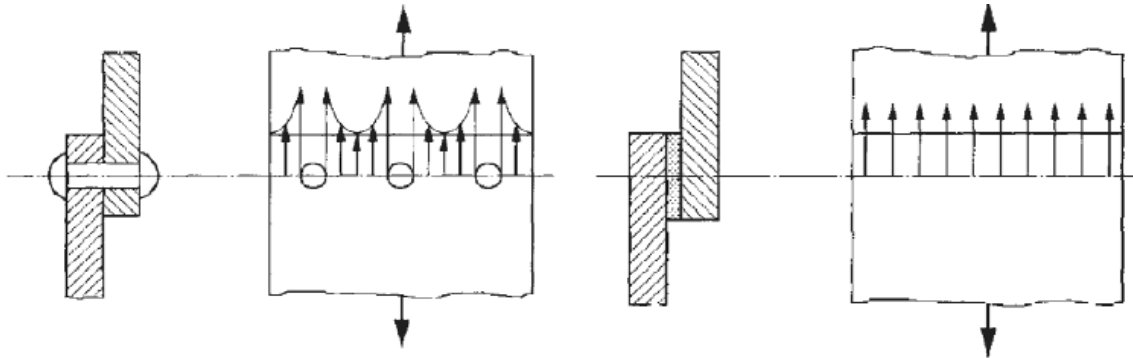
- Mekanik bağlantılarının kalite kontrol esnasında bakım ve tamirleri kolaydır.
- Mekanik bağlantıları yapı içerisinde basittirler, bu yüzden imalatı hızlıdır.
- Korozyon haricinde çevre ve sıcaklıktan etkilenmezler.
- Bu parçalar yapıştırıcı bağlantılar gibi temiz bir ortam istemezler.
- Fazladan parça kullanmadan iyi bir bağlantı elde edilebilir ve böylece kompozit yapının ağırlığını azaltma imkanı sağlar (Turan, 2009).

### 3.3.2. Çözilemeyen Bağlantılar

Çözilemeyen bağlantıların kaynak, perçin, yapıştırma ve lehim gibi türleri mevcuttur. Bu çalışmamızda yapıştırma bağlantıları araştırılacaktır. Yapıştırma bağlantısı uygulamaları uzun yıllardan beri sanayide kullanımından dolayı çok gelişmiştir. Kendine özgü yapısal özelliklerinden ötürü özellikle havacılık endüstrisinde kompozitlerin yaygın olarak kullanılması yapıştırma bağlantılarını bir adım daha öne çıkarmıştır. Yapıştırma işleminin sanayide yaygınlaşmasının diğer etkenlerini; birbirinden farklı olan malzemelerin birleştirilmesi, düzgün gerilme dağılımlarının olması, diğer bağlantılarda olduğu gibi zamanla gevşeme olmaması, yapısal özelliklerinin değişime uğramaması ve istenilen mukavemet değerlerinin elde edilebilmesi şeklinde sıralayabiliriz. En öne çıkan özellik olan düzgün gerilme dağılımı Şekil 3.3’de çözülebilen ve çözilemeyen bağlantılar için verilmiştir (Turan, 2009).

#### Çözilemeyen Bağlantıların Avantajları

- Küçük bir alanda gerilme yoğunlaşmasını azaltır.
- Yorulma direnci çok iyidir.
- Şok emicidir.
- Galvanik korozyonu azaltır.
- Bağlantı oluşturmak için uygulanan yüzeyin çok uzağına gitmeye gerek yoktur.
- Farklı malzemelerin yapıştırılmasına imkan verir.
- Bağlantı çevresinde aynı zamanda conta vazifesi sağlar.
- Kaynağa kıyasla düşük ısıyla işlem yaptığından dolayı metalürjik değişimlere ve çarpılmaya müsaade etmez.
- Isıya hassas malzemeler oda sıcaklığında birleştirebilir (Turan, 2009).



Şekil 3.3. Yapıştırma ve pim bağlantılarında gerilme dağılımı (Temiz, 2003)

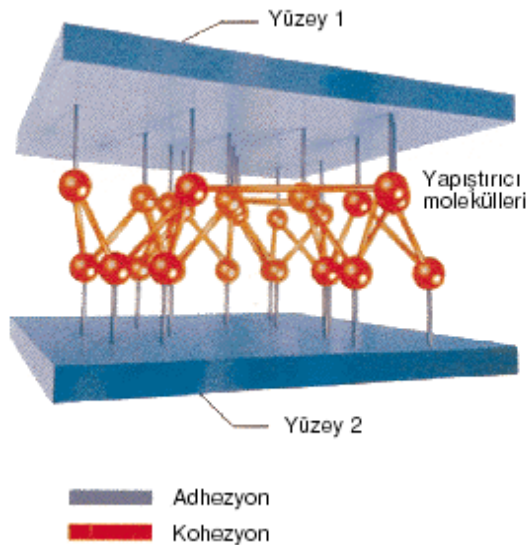
### 3.4. Yapışmanın İncelenmesi

#### 3.4.1 Yapışma

Yapışma olayı, yapıştırıcı ile yapıştırılan malzeme arasında meydana gelen adhezyon ve yapıştırıcının kendi içinde meydana gelen kohezyon kuvvetleri neticesinde oluşan fiziksel ve kimyasal bir olaydır. Yapışmanın doğasını daha iyi anlayabilmek için adhezyon ve kohezyon kuvvetlerini iyi anlamak gerekir.

##### 3.4.1.1 Adhezyon

İki maddenin temas yüzeyindeki yapışma kuvveti olarak tarif edilen adhezyon, “Van der Waals kuvvetleri” ile çekim ve yüzeye tutunma fiziksel kuvvetlerini sağlar. Yapışma olayında yüzeyin yapışma özelliklerinin yanında, yüzeyin ıslatılması da yapışma kuvvetini belirleyici faktördür. Yapıştırıcı mekanik olarak işlenmiş yüzeylere tam temas sağladığı zaman bu moleküller arası kuvvetler daha da güçlenir. Yapıştırıcının yüzey pürüzlerine tam olarak nüfus etmesi ve bütün yüzeyi tam olarak ıslatması iyi bir yapışma olayı için gereklidir. Yüzeyin ıslanabilirlik kapasitesi, yapıştırıcı sürülen yüzeyin gerilimine ve yapıştırıcının viskozitesine bağlıdır. Yapıştırılan yüzeylerin temiz olması da yapışma işlemi destekleyici unsurlardandır. Yapıştırma bölgesinde meydana gelen kuvvetlerin gösterimi Şekil 3.4’deki gibidir (Wake, 1986).



Şekil 3.4. Adhezyon ve kohezyon kuvvetleri (Loctite Handbook, 1988)

#### 3.4.1.2. Kohezyon

Yapıştırıcıyı oluşturan materyallerin fiziksel (Van der Waals kuvvetleri) ve kimyasal (bağ kuvvetleri) etkisiyle bir arada tutulma olayıdır.

Van der Waals Bağı: Molekülün farklı yüklerine tesadüf eden pozitif ve negatif yüklerin varlığından küçük mıknaıtis etkisi ortaya çıkabilir. Mıknaıtislardaki gibi, çeşitli dipoller elektromanyetik dipollerle birbirlerine kenetlenmektedir. Bu kenetlenme esnasında oluşan bağlar Van der Waals bağlarıdır. Yapısı itibariyle zayıf bağlardır.

Kovalent Bağı: Atomların kendi eksenleri etrafında zıt yönde dönmelerinden oluşan mıknaıtis etkisinden ibarettir. Bu oluşan elektromanyetik alanlar bir mıknaıtisin artı ve eksi kutupları gibidir. Atomlar arasında elektron köprüleri kurularak oluşurlar. (Wake, 1986)

Yapıştırma işlemlerinde adhezyon ve kohezyon kuvvetleri eşit olmak zorundadır. Kohezyon kuvvetleri malzemenin yapısından kaynaklı özelliklerden ibarettir. Adhezyon kuvveti ise aşağıdaki gibi uygulamalarla arttırılabilir.

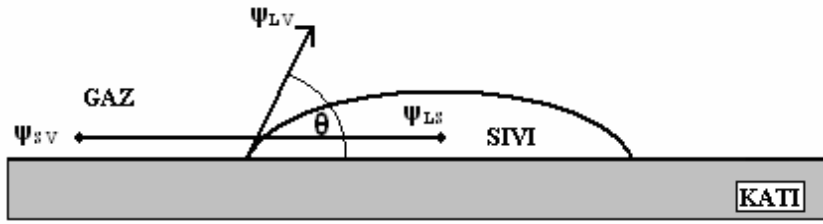
- \* Yüzeyin yabancı materyallerden arındırılması,
- \* Kaplama ile yeni bir yüzey oluşturulması,
- \* Aşındırma gibi işlemlerle yüzey pürüzlüğünün arttırılması.

Uygun bir yüzey hazırlığı adhezyon kuvvetini ve yapışma performansını arttırmaktadır. Yüzey pürüzlüğü ve temizliği sağlanarak oluşturulan yapışma işlemi uzun süre dayanıklılığını devam ettirecektir.

#### 3.4.1.3 Islanabilirlik (Beylegil, 2010)

Yapışmaya yardım eden mekanizmaların başında ıslanabilirlik gelir. Islanabilirlik, sıvının katı yüzeye yayılabilirliğini tanımlamak için kullanılan bir terimdir. Atmosferde düzlem katı yüzey içinde kalan damlalardan oluşan bir sistem içindeki kuvvetlerin dengesini göz önüne alarak bir sıvı damlası yardımıyla verilen bir katının ıslanabilirliği ölçülebilir. Sistemin özgür enerjisinin net olarak azalması ile damla yüzeye tamamen yayılır ve yüzeyi ıslatır. Şekil 3.5 şematik olarak bu durumu göstermektedir.





Şekil 3.5. İslanabilirlik (Beylergil, 2010)

Katı yüzey üzerindeki damla, katı ve sıvı arasında temas açısı yapar. Şekil 3.5’de,  $\psi_{LS}$ ,  $\psi_{LV}$  ve  $\psi_{SV}$ , sırasıyla katı-sıvı, sıvı-gaz, katı-gaz temaslarının yüzey enerjisini temsil etmektedir. Tamamen ıslanabilirlik için aşağıdaki denklemler yazılabilir.

$$\psi_{LS} + \psi_{LV} < \psi_{SV} \quad [3.19]$$

Denklem 3.19’daki; S, L ve V sırasıyla, katı (solid), sıvı (liquid) ve gazı (vapor) temsil ederken,  $\psi$  yüzey enerjisini temsil eder. Yüzey üzerindeki kuvvetler dengeleninceye kadar sıvı, katı yüzeye yayılır. Bunun anlamı kısmi bir ıslanmadır. Yukarıdaki şekilden de görülebildiği gibi  $\theta$  açısına, temas açısı denir. Kuvvetlerin dengesinden,

$$\psi_{LS} + (\psi_{LV} \cos\theta) = \psi_{SV} \quad [3.20]$$

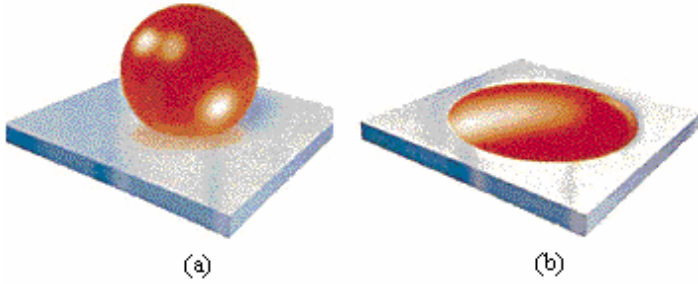
veya

$$\theta = \cos^{-1}[(\psi_{SV} - \psi_{LS}) / \psi_{LV}] \quad [3.21]$$

yazılabilir.  $\theta = 180$  için küresel damla yada ıslanma olmadığı anlamına gelir. Ters olarak  $\theta = 0$  için mükemmel ıslanma oluşur.  $0 < \theta < 180$  için ise kısmi ıslanma oluşur. Temas açısı  $\theta$ , yüzeyin yapısına bağlıdır. Yüzeyin pürüzlülüğü  $\theta$  temas açısını azaltır. Emilmiş gazlar  $\theta$  temas açısını artırır.

Yüksek temas açısı yetersiz bir ıslanabilirliği temsil ederken, düşük temas açısı yüksek ıslanabilirliği temsil eder (Şekil 3.5).

Yapışma olayı için yüzey hazırlıklarını “su kopma testi” ile görebiliriz. Yüzeğe damıtılan saf su eğer şeklini koruyorsa ve dağılmıyorsa yetersiz yüzey temizliğinin göstergesidir. Burada dikkat edilmesi gereken husus farklı yüzeyler için farklı test sıvıları kullanılması gerekliliğidir. Çünkü suyun sertliği yüzey gerilimini etkiler. Bu nedenle kritik testlerde, belirli yüzey gerilmelerine sahip sıvılar kullanılmalıdır. Şekil 3.6’de ıslanabilirlik testinde yüzey hazırlığının yeterli ve yeterli olmama durumu görülmektedir.

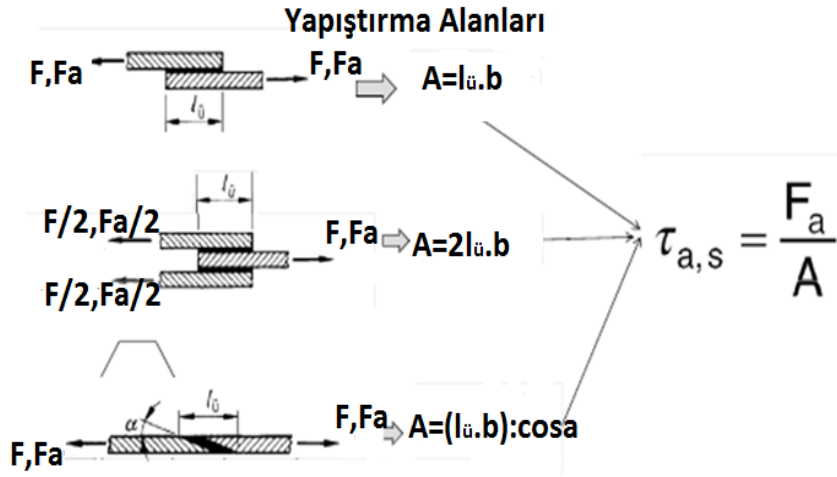


**Şekil 3.6.** Islanabilirlik testi. a) Yapıştırma yüzey hazırlığı yetersiz  
b) Yapıştırma yüzey hazırlığı yeterli (Beylergil, 2010)

#### 3.4.2. Yapıştırıcılar

Bilindiği üzere bütün maddeler atomlar ve atomların birbirini tutan elektriksel kuvvetleriyle oluşmuştur. Madde içerisinde bu kuvvetler atomlar ve moleküller arasında dağılmıştır. Malzeme yüzeyinde atomlar ve moleküller, karşı gelen eşdeğerlerine sahip olmayabilir, bu yüzden toz ve su parçacıkları gibi maddeleri tutma özelliğine sahiptir. Bu durum yapıştırma işlemi için uygun bir ortam hazırlar.

Kesme kuvvetleri kayma gerilmelerine sebep olur. Yapıştırma bağlantıları kayma gerilmelerine maruz kalacak şekilde uygulanmalıdır. Ayrılma, soyulma ve çekme etkisi yapıştırma bağlantılarını zayıflatan uygulamalardır. Şekil 3.7’de farklı yapıştırma bağlantılarına göre kesme hesabı görülmektedir.



Şekil 3.7. Yapıştırma bağlantılarının kesme hesabı (Temiz, 2003)



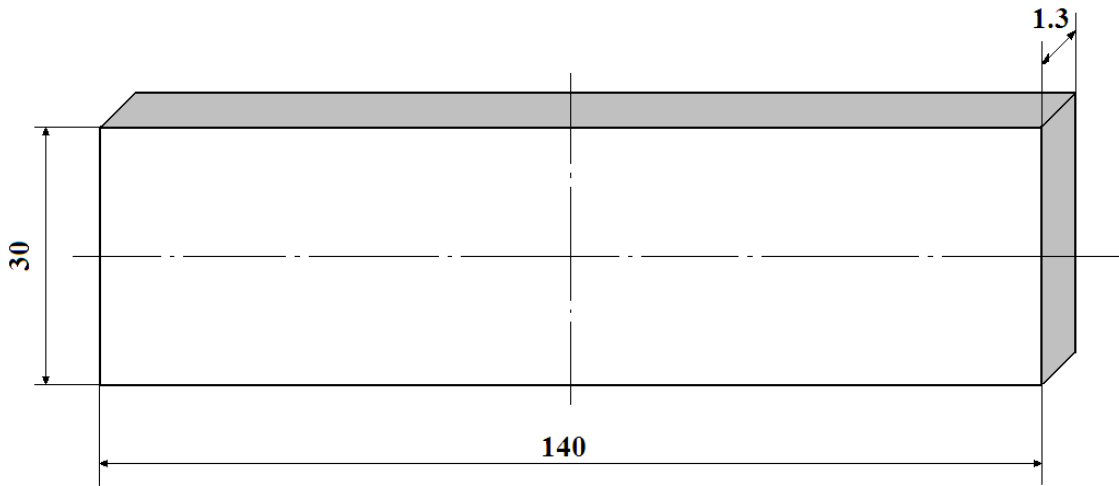
#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde yama ve yapıştırıcı kullanılarak tamir edilmiş kompozit levhaların statik çekme testlerinde elde edilen sonuçları sunulacaktır. Öncelikle deneysel çalışmada kullanılan çentik türleri ve tamir parametreleri açıklanacaktır.

##### 4.1. Problemin Modeli

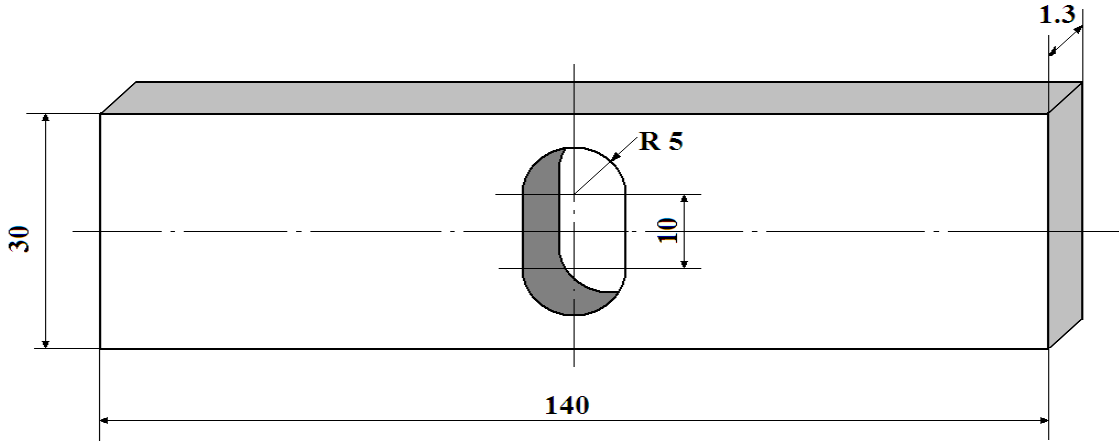
Deneysel çalışmada 150mmx30mmx3mm boyutlarında kompozit levhalar kullanılmıştır. Bu levhalar farklı fiber takviye açılarına göre kesilerek Şekil 4.1'deki gibi hazırlanmıştır. Tamirat içinse aynı kompozit malzemelerden elde edilen  $[0^0]_8$  kompozit levha parçaları kullanılmıştır.

Levhalara dört tip çentik açılmıştır. Bu tipler hasarlanmış bölgenin yama işleminden önce levha üzerinde çatlak ilerlemelerini önleme ve temizlik aşamasındaki yapılan düzeltme işlemlerinin değişik modellerini temsil etmektedir.

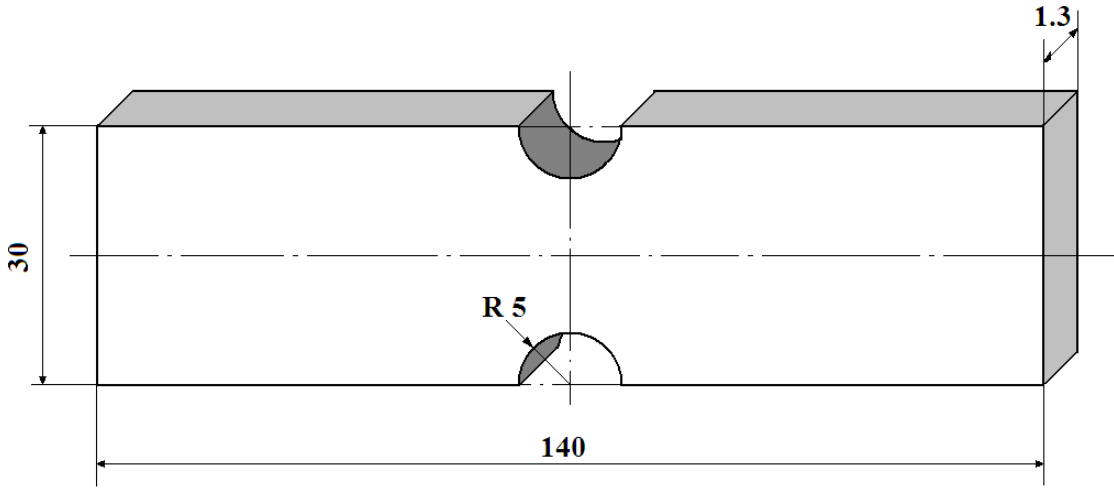


Şekil 4.1. Deney numunelerinde kullanılan levhaların boyutu

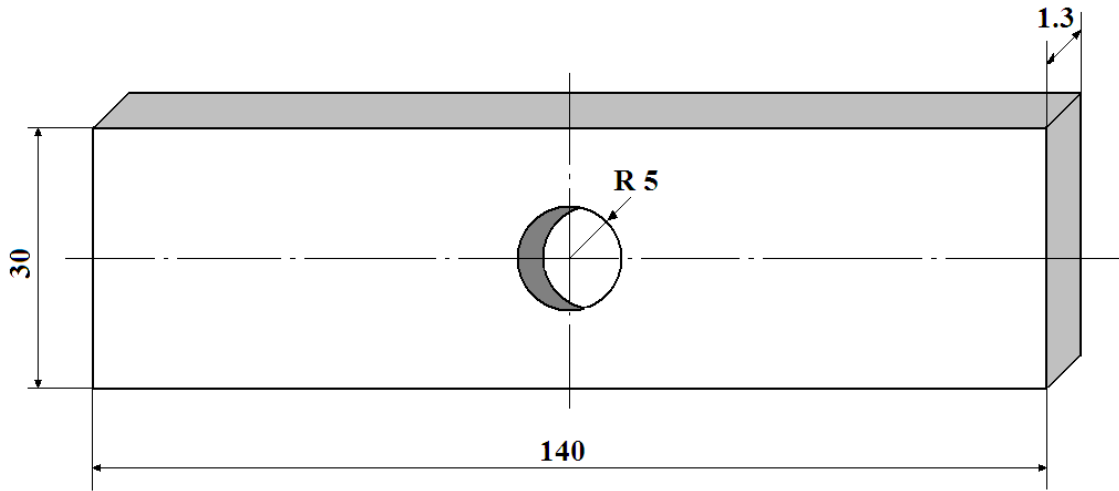
Çentik türlerine göre numuneler Tip1, Tip2, Tip3 ve Tip4 olarak isimlendirilmiştir. Her tip farklı bir çentik türünü göstermektedir. Çentik tiplerine göre hazırlanan modeller Şekil 4.2, 4.3, 4.4 ve 4.5'de gösterilmiştir.



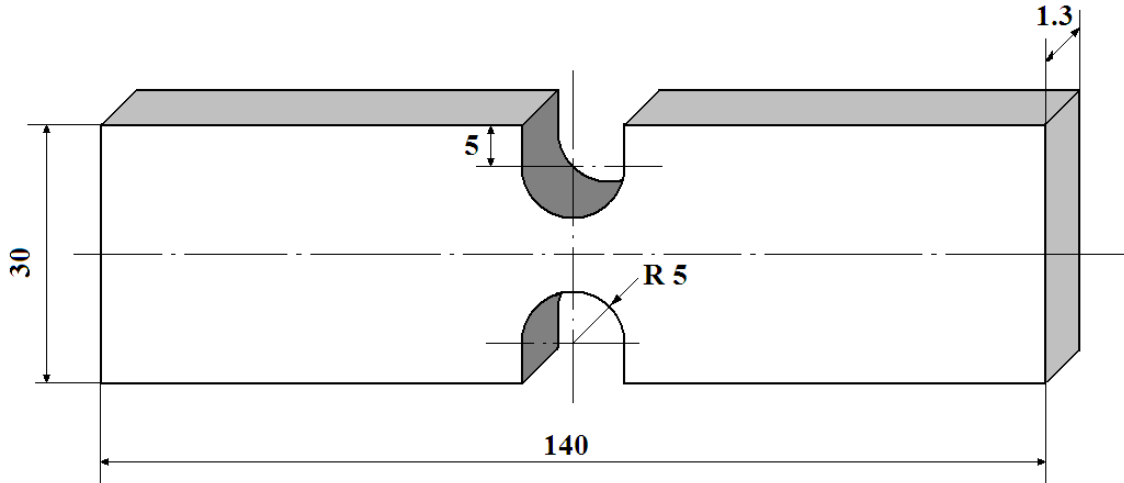
Şekil 4.2. Tip1 çentikli kompozit levhanın geometrik parametrelerinin gösterimi



Şekil 4.3. Tip2 çentikli kompozit levhanın geometrik parametrelerinin gösterimi



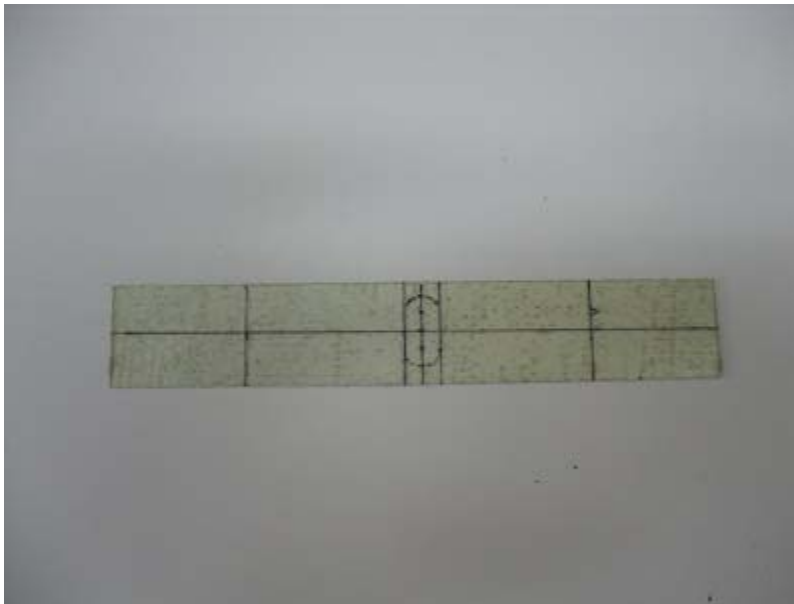
Şekil 4.4. Tip3 çentikli kompozit levhanın geometrik parametrelerinin gösterimi



Şekil 4.5. Tip4 çentikli kompozit levhanın geometrik parametrelerinin gösterimi

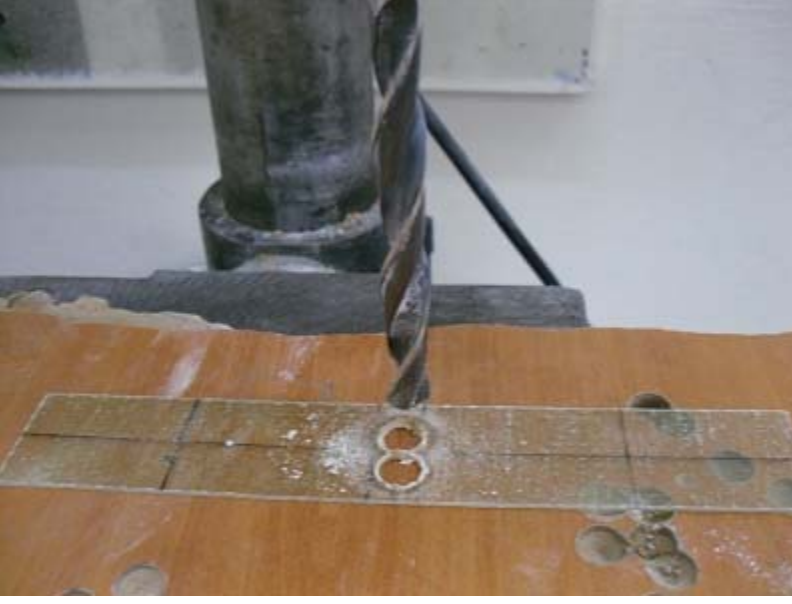
#### 4.2. Numunelerin Hazırlanması

Yüzey temizleme işlemi yapıştırma bağlantısının verimini etkileyen en önemli etkenlerden biridir. Yapıştırma işlemi yapılmadan önce yüzey hazırlama işlemi gerek yağ ve kirlere arındırmak gerekse yapıştırma yüzey alanını arttırmak için çok hassas bir şekilde yapılmalıdır. Eksik yapılan yüzey hazırlama işlemi beklenmedik problemlere sebep olabilmektedir. Yüzey hazırlama ve numunelerin istenilen ölçülerde kesilme işlemi sırasında aşağıdaki yol ve yöntemler takip edilmiştir. Numuneler istenilen ölçülerde markalanmıştır.



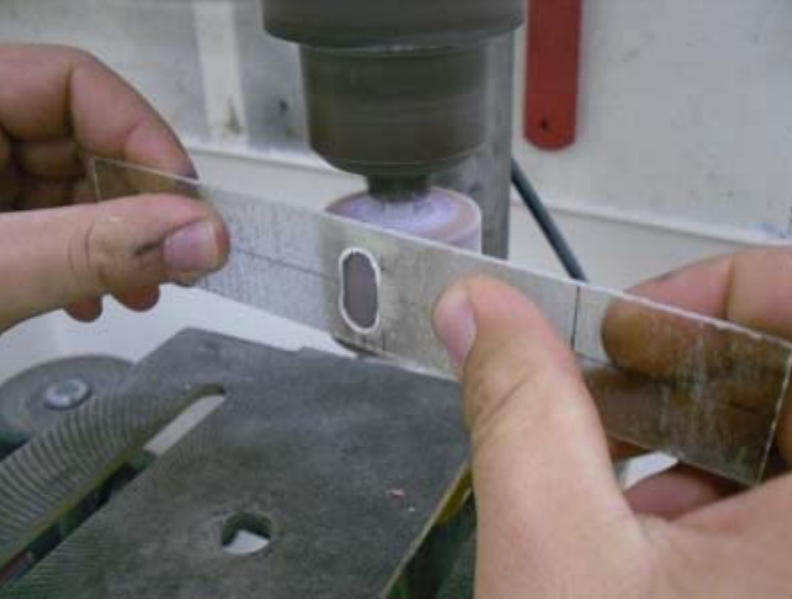
Şekil 4.6. Ölçüleri çizilmiş levha

Çok hassas testere ve matkap kullanımıyla çentikler açılmıştır.



Şekil 4.7. Levhalara çentik açılma işlemi

Yapışma alanı ince zımpara ile zımparalanmıştır.



Şekil 4.8. Çentik açılan levhaların zımpara işlemi

Zımpara uygulanan yüzeyler aseton kullanılarak temiz bir bezle temizlenmiştir.





Şekil 4.9. Zımparalanan levhaların aseton ve bezle silinmesi işlemi

Kuru bir bezle temizlenen numunelere karışıklığın önüne geçmek için numune hakkında tam bilgi veren etiketler yapıştırılmıştır.



Şekil 4.10. Numunelerin özelliklerini veren barkodların yapıştırılması

Deney numuneleri 4 ayrı çentik tipi uygulandıktan sonra yamasız halleriyle beraber, tek tarafından ve çift tarafından yama uygulanmak suretiyle elde edilmişlerdir. Yama uygulamasının istenilen standart ölçülerde elde edilebilmesi için özel kalıplar

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

hazırlanmıştır. Bu kalıplar yapıştırıcı kalınlığını ayarlayabilecek şekilde hareketli ve her istenilen yama boyutuna uygun ölçülerdedir. Yapıştırma işlemi yapılmadan önce kalıp yüzeylerine kalıp ayırıcı yağ sürülmüştür. Her yapıştırma işleminden sonra belli bir süre kurumaya bırakılan numuneler kalıptan çıkarıldıktan sonra kalınlıkları kumpasla kontrol edilmiştir. Yapıştırma bağlantılarının oluşturulması ve kalıplama işlemi Şekil 4.11 ve 4.12’de sunulmuştur.

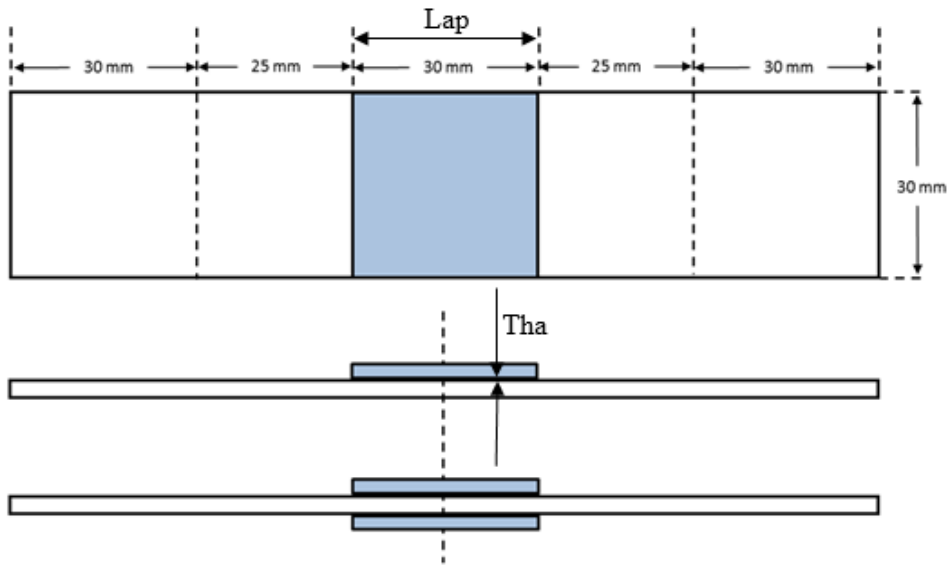


Şekil 4.11. Yama uygulaması için kalıba yerleştirilen levhaya yapıştırıcı sürülme işlemi

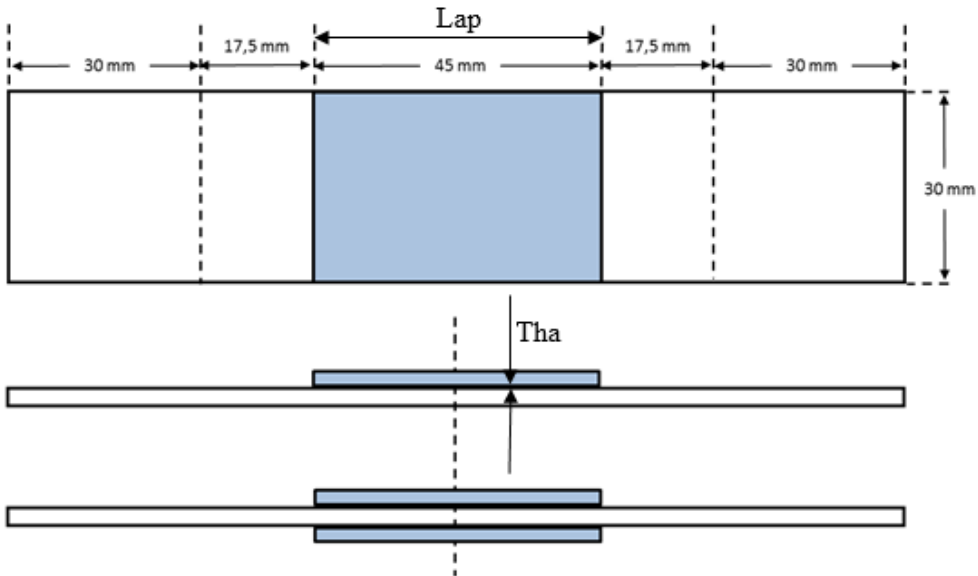


Şekil 4.12. Yamanın yapıştırıcı sürüldükten sonra kalıba oturtulması

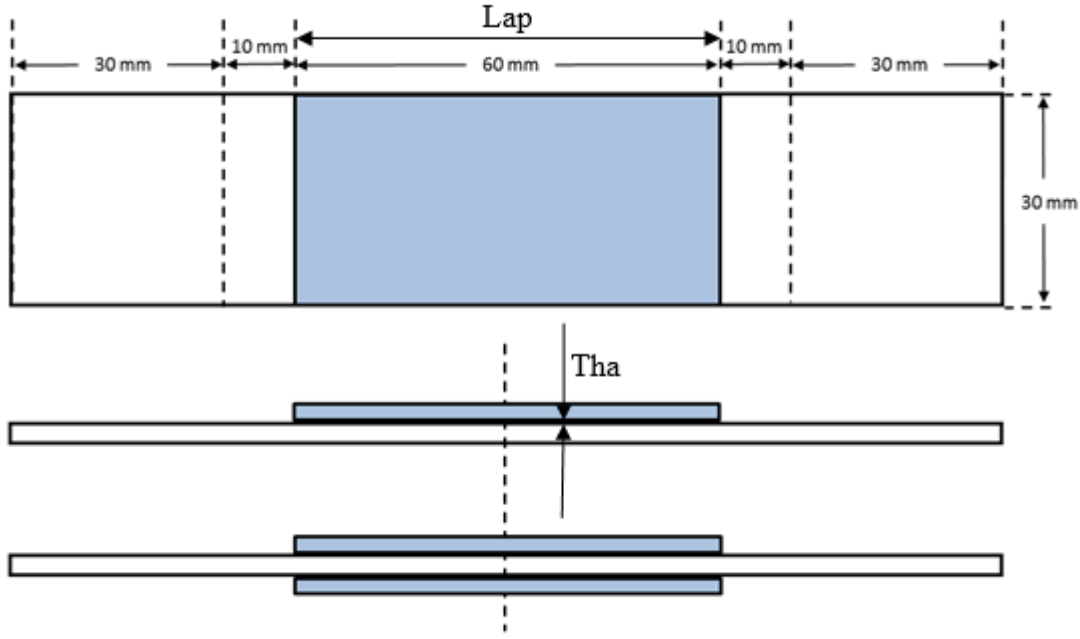
Lap bindirme mesafesini ve Tha yapıştırıcı kalınlığını temsil etmektedir. Lap=30 mm yama uygulaması  $[0^0]_8$ ,  $[15^0]_8$ ,  $[30^0]_8$  ve  $[45^0]_8$  fiber takviye açılı levhaların hepsinde uygulanmıştır. Lap=45 mm ve Lap=60 mm ölçülerindeki yamalar ise  $[0^0]_8$  fiber takviye açılı levhalarda uygulanmıştır. Aynı şekilde Tha=0.4 mm yapıştırıcı kalınlığı bütün fiber takviye açılı numunelerde uygulanırken; Tha=0.2, 0.6, 0.8 ve 1.0 mm yapıştırıcı kalınlığı parametreleri yalnızca  $[0^0]_8$  takviye açılı numunelerde uygulanmıştır.



Şekil 4.13. Tek ve çift yüzünden 30 mm yama uygulanmış numune



Şekil 4.14. Tek ve çift yüzünden 45 mm yama uygulanmış numune



Şekil 4.15. Tek ve çift yüzünden 60 mm yama uygulanmış numune

Yapıştırma işleminden sonra yapıştırıcıyı sağlayan firmanın tavsiyesi doğrultusunda bütün numuneler oda sıcaklığında 7 gün bekletilmiştir.

Tablo 4.1. Deneysel çalışmada kullanılan geometrik parametreler

Fiber Takviye Açısı	Tip	Yama Yüzeyi	Lap (mm)	Tha (mm)
$0^0$	1,2,3,4	Tek/Çift Yüz	30,45,60	0.2/0.4/0.6/0.8/1.0
$15^0$	1,2,3,4	Tek/Çift Yüz	30	0.4
$30^0$	1,2,3,4	Tek/Çift Yüz	30	0.4
$45^0$	1,2,3,4	Tek/Çift Yüz	30	0.4

### 4.3. Deneyin Yapılışı

Numunelerin hazırlanışı ve deneyler Dicle Üniversitesi Mekanik Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Her parametre türü için üçer numune hazırlanmıştır. Bütün numuneler uç kısımlarından çenelere sabitlenerek Şekil 4.16'daki 100 kN kapasiteli Instron Bs 8800 çekme test cihazıyla ASTM standartlarına göre oda sıcaklığında çekme testine tabi tutulmuştur (ASTM-D, 1982). Ortam neminin malzeme özelliklerine etkisinin olmadığı kabul edilmiştir. Çekme test hızı 1 mm/dk uygulanmıştır. Test

cihazının üstteki çenesi sabit ve alttaki çenesi hareketlidir. Numuneler bağlanırken eksenlemeye dikkat edilmiş ve çenelerin numuneye uyguladığı sıkıştırma basınçları eşit uygulanmıştır. Her bir numunenin çekme testi esnasında şekil değişimleri, soyulmaları ve hasara uğrama şekilleri gözlemlenmiş, yapılan gözlemler not edilmiştir. Numuneler test edilirken hasar yükleri ve uzamalar bilgisayara otomatik olarak kaydedilmiş ve bu verilere dayanarak grafik ve tablolar oluşturulmuştur.



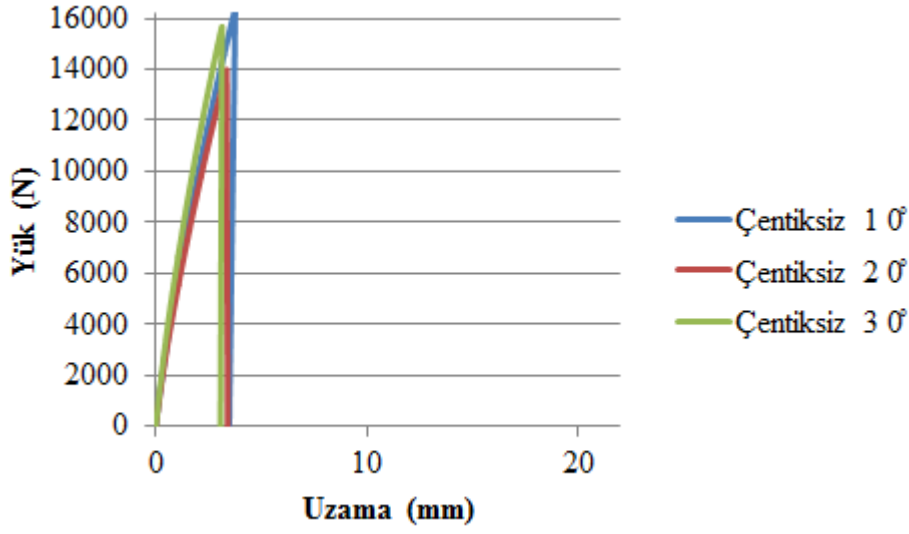
Şekil 4.16. Çekme test cihazı ve deney düzeneği

#### 4.4. Deneysel Çalışma Sonuçları

Bu bölümde fiber takviye açısı, yama boyutu, çentik tipleri, yapıştırıcı kalınlığı, tek ve çift yüzünden yama uygulamaları parametrelerinin hasar yüküne etkileri hasar yükü-uzama grafikleri üzerinde incelenecektir.

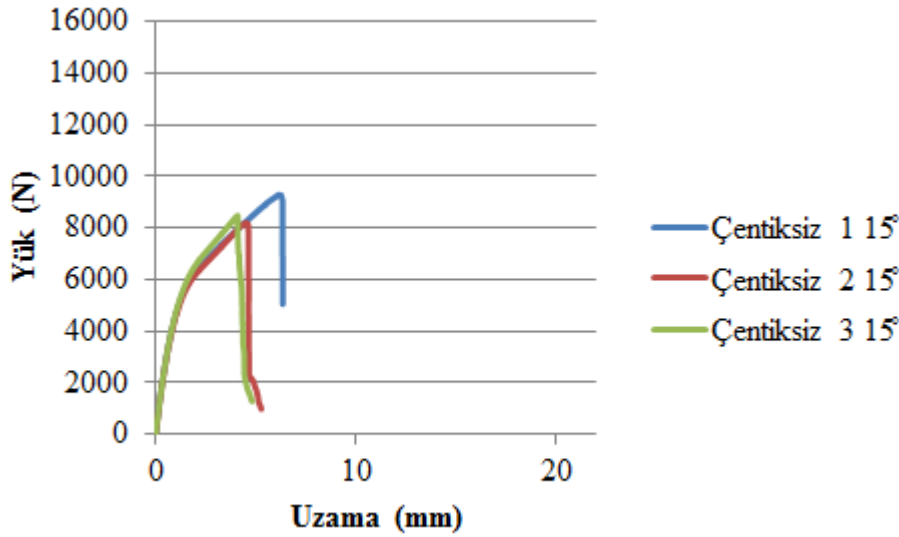
##### 4.4.1. Çentiksiz Levhaların Deneysel Çalışma Sonuçları

$[0^0]_8$  fiber takviye açılı numunelerde grafik eğrileri lineer olarak artmakta ve anlık kırılmayla levhalar hasara uğramaktadır.



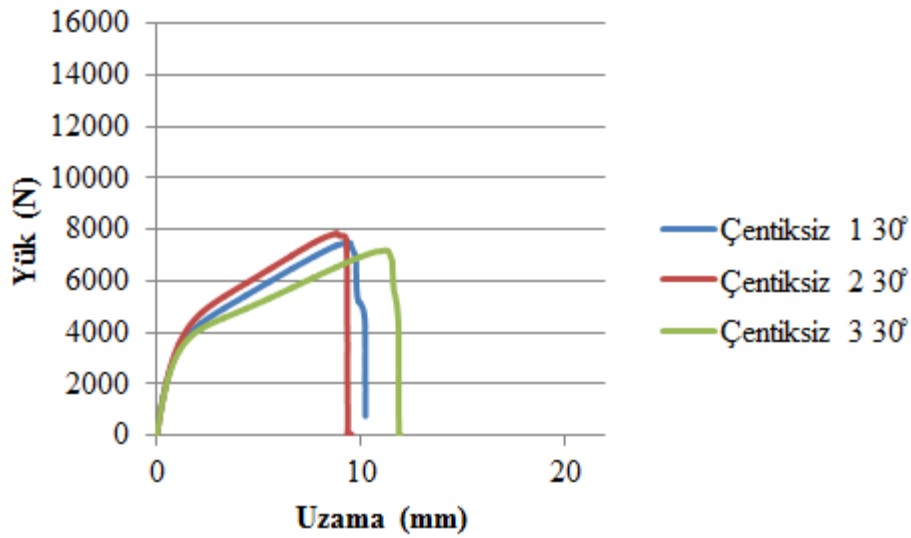
Şekil 4.17. [0°]<sub>8</sub> çentiksiz levha için elde edilen yük-uzama değerleri grafiği

Fiber takviye açısı arttıkça levhaların ilk hasarı daha erken gerçekleşmekte ve hemen ardından reçine sertleşip hasar ilerleme süresi artmaktadır. Bu durum yüke karşı uzamanın artmasını sağlamaktadır.



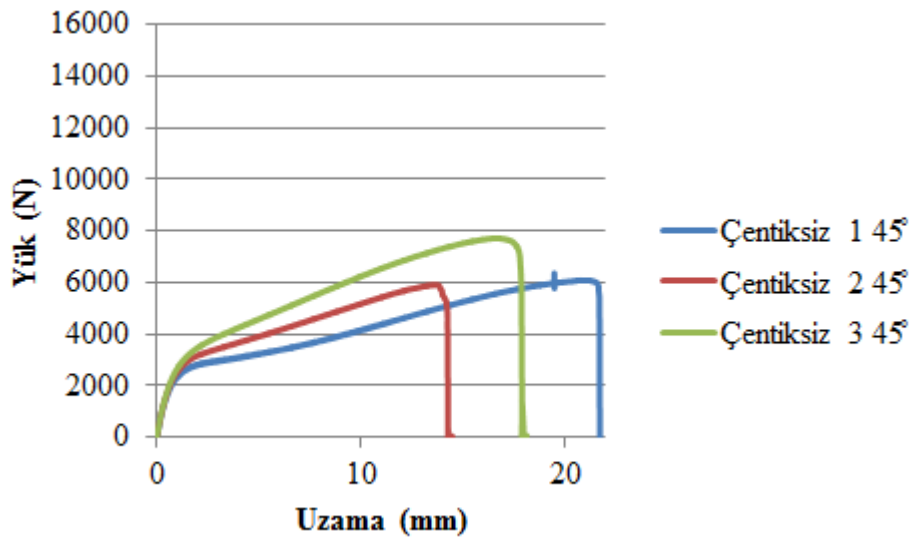
Şekil 4.18. [15°]<sub>8</sub> çentiksiz levha için elde edilen yük-uzama değerleri grafiği

[30°]<sub>8</sub> çentiksiz levhaların hasar ilerleyişi [45°]<sub>8</sub> çentiksiz levhalara benzerlik göstermekte fakat en büyük hasar yükü değeri daha yüksektir.



Şekil 4.19.  $[30]_8$  çentiksiz levha için elde edilen yük-uzama değerleri grafiği

$[45]_8$  çentiksiz levha fiberlerinde hasar olmaksızın reçine tamamen şekil değiştirip ayrılıyor ve hasar fiber takviye açısı yönünde gerçekleşiyor.



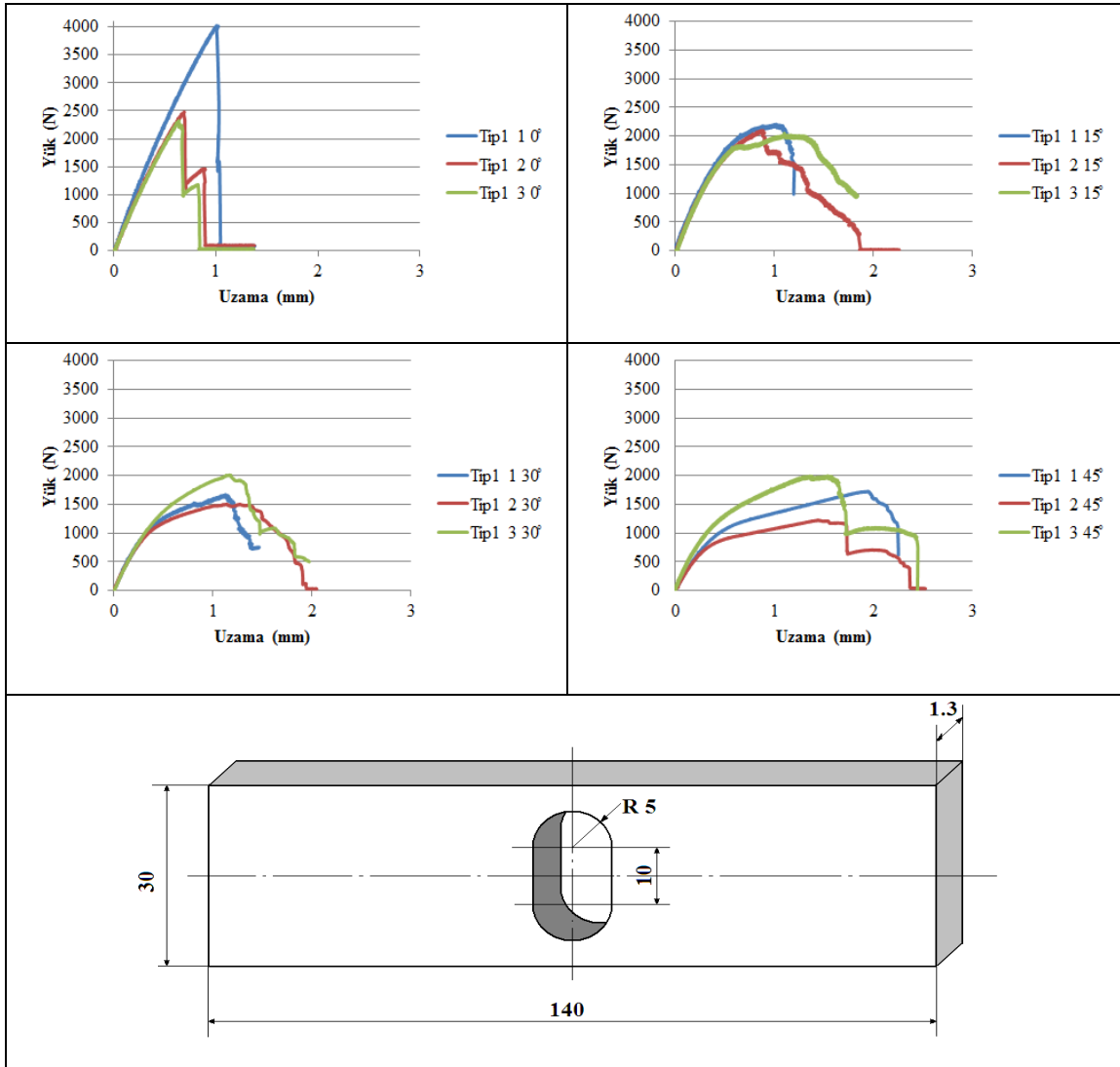
Şekil 4.20.  $[45]_8$  çentiksiz levha için elde edilen yük-uzama değerleri grafiği

Çentiksiz levhalara ait hasar yükü- uzama grafikleri incelendiğinde fiber takviye açısının artmasına bağlı olarak hasar yüklerinin azaldığı görülmektedir. Bununla birlikte fiber takviye açısının artmasına bağlı olarak uzamanın arttığı grafiklerden görülmektedir. Bu genel kompozit malzeme davranışına uygun bir durumdur.

#### 4.4.2. Çentikli Tamir Edilmemiş Levhaların Deneysel Çalışma Sonuçları

Fiber takviye açısını görebilmek için  $[0^\circ]_8$ ,  $[15^\circ]_8$ ,  $[30^\circ]_8$ ,  $[45^\circ]_8$  fiber takviye açılı levhalar farklı çentikler açıldıktan sonra çekme testine tabi tutulmuştur ve elde edilen verilerle oluşturulan yük-uzama grafikleri sunulmuştur.

Şekil 4.21’de Tip1 için farklı fiber takviye açısına sahip kompozit levhaların yük-uzama grafikleri görülmektedir.



Şekil 4.21.  $[0^\circ]_8$ ,  $[15^\circ]_8$ ,  $[30^\circ]_8$ ,  $[45^\circ]_8$  fiber takviye açılı, Tip1 tamir edilmemiş kompozit levha için yük-uzama değerleri grafikleri

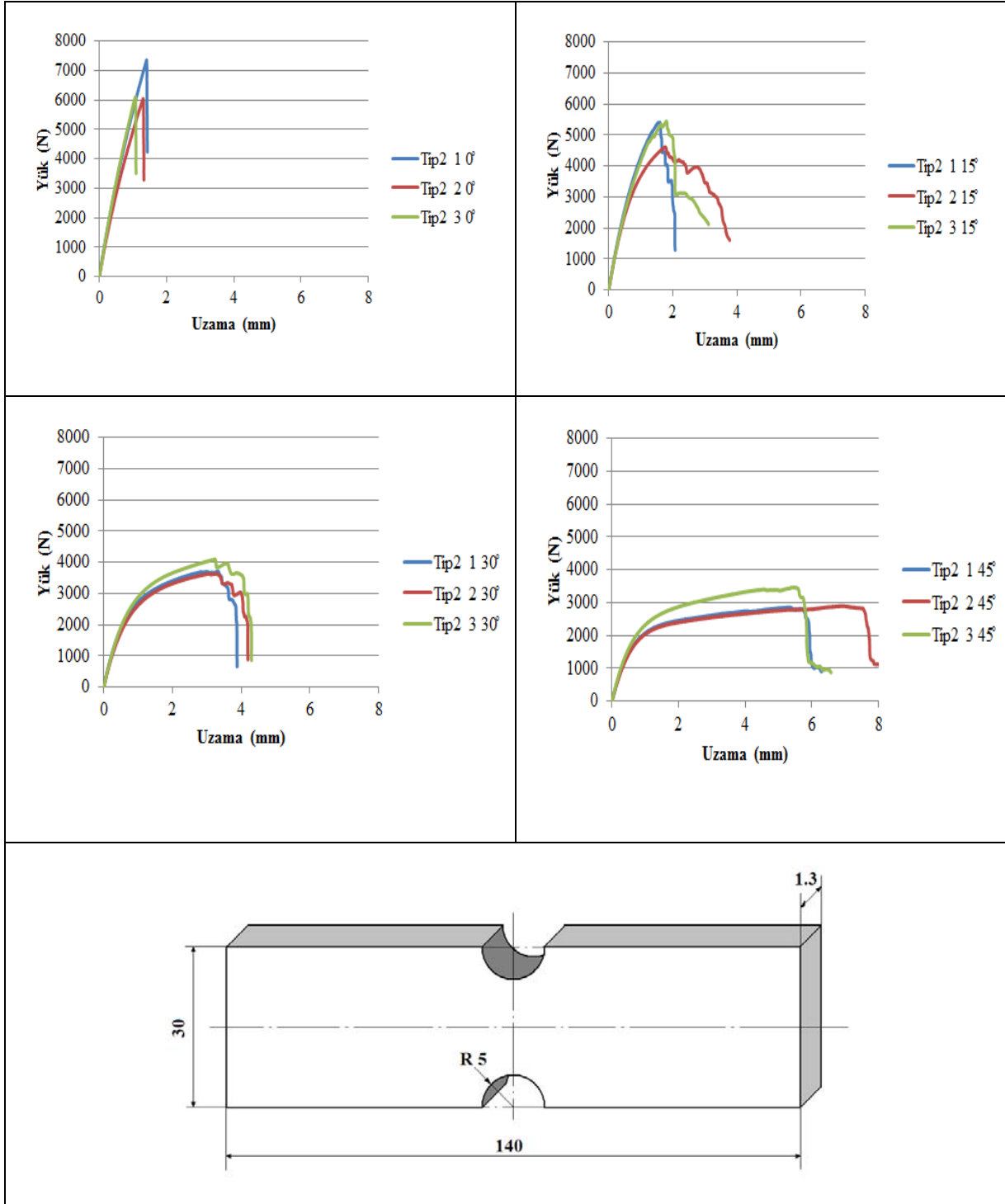
Her parametre için kullanılan üç deney numunesinin yük eğrileri kendi içlerinde fiber takviye açısı derecesi arttıkça birbirlerinden farklılık göstermektedir. Şekil 4.20 ile



4.21 karşılaştırıldığında kompozit levhaya açılan çentiklerin hasar yükü ve uzamalar üzerine olumsuz etkisi olduğu gözlemlenmektedir. Çentik türüne göre değişen bu azalma miktarları diğer çentik türleri içinde geçerli olduğu Şekil 4.22, 4.23 ve 4.24’de yer alan grafiklerde de görülecektir. Levhaya açılan çentikler uzamayı da ciddi oranda azaltmıştır. Uzama değerleri yaklaşık 10’da bir oranında azaldığı şekil 4.21’den görülebilir.

Şekil 4.22’de Tip2 çentik türü için yük- uzama grafikleri sunulmuştur.

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

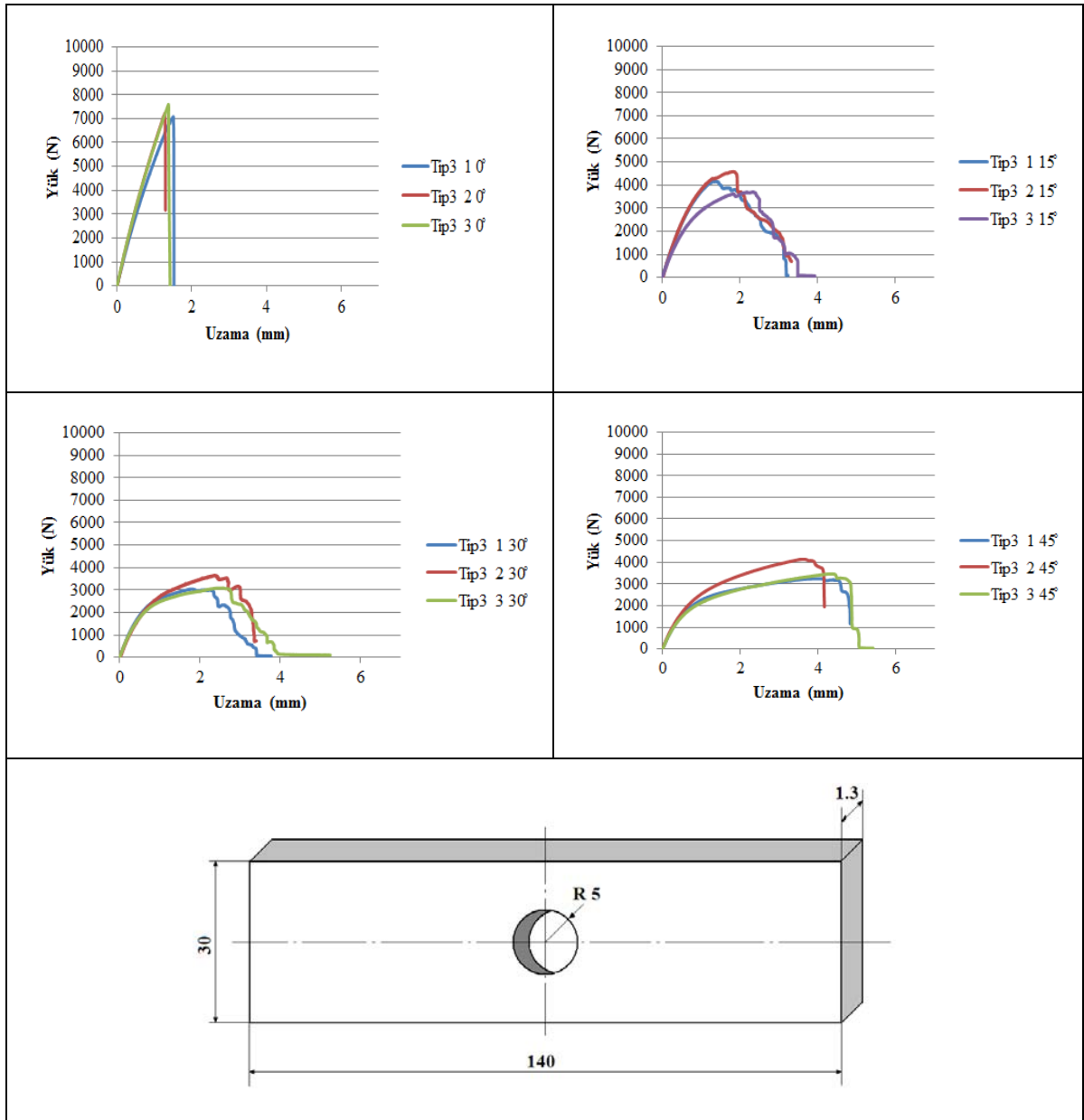


Şekil 4.22.  $[0^\circ]_8$ ,  $[15^\circ]_8$ ,  $[30^\circ]_8$ ,  $[45^\circ]_8$  fiber takviye açılı, Tip2 tamir edilmemiş kompozit levha için yük-uzama değerleri grafikleri

Açılı numunelerde yük bindikten sonra şekil değişimiyle beraber hasar yükü çok az yükselmiş ve uzama çok fazla artış göstermiştir. Belli bir noktadan sonra hasar yükü

hızlı bir şekilde düşmüş ve uzama çok az miktarda gerçekleşmiştir. Tip1'deki çentik levhanın içerisinde yer alan bir çentiktir ve Tip4 aynı çentik türünün kenarda yer alacak şekilde levhaya açılmış halidir. Şekil 4.21 ve 4.22'de yer alan grafikler incelendiğinde aynı fiber takviye açıları için yaklaşık aynı olan bir yük-uzama eğrisi görülmekle beraber hasar yükleri farklıdır. Bu durum sonuçlar bölümünde detaylı olarak incelenecektir.

Şekil 4.23'de Tip3 çentik türü için yük-uzama grafikleri görülmektedir.

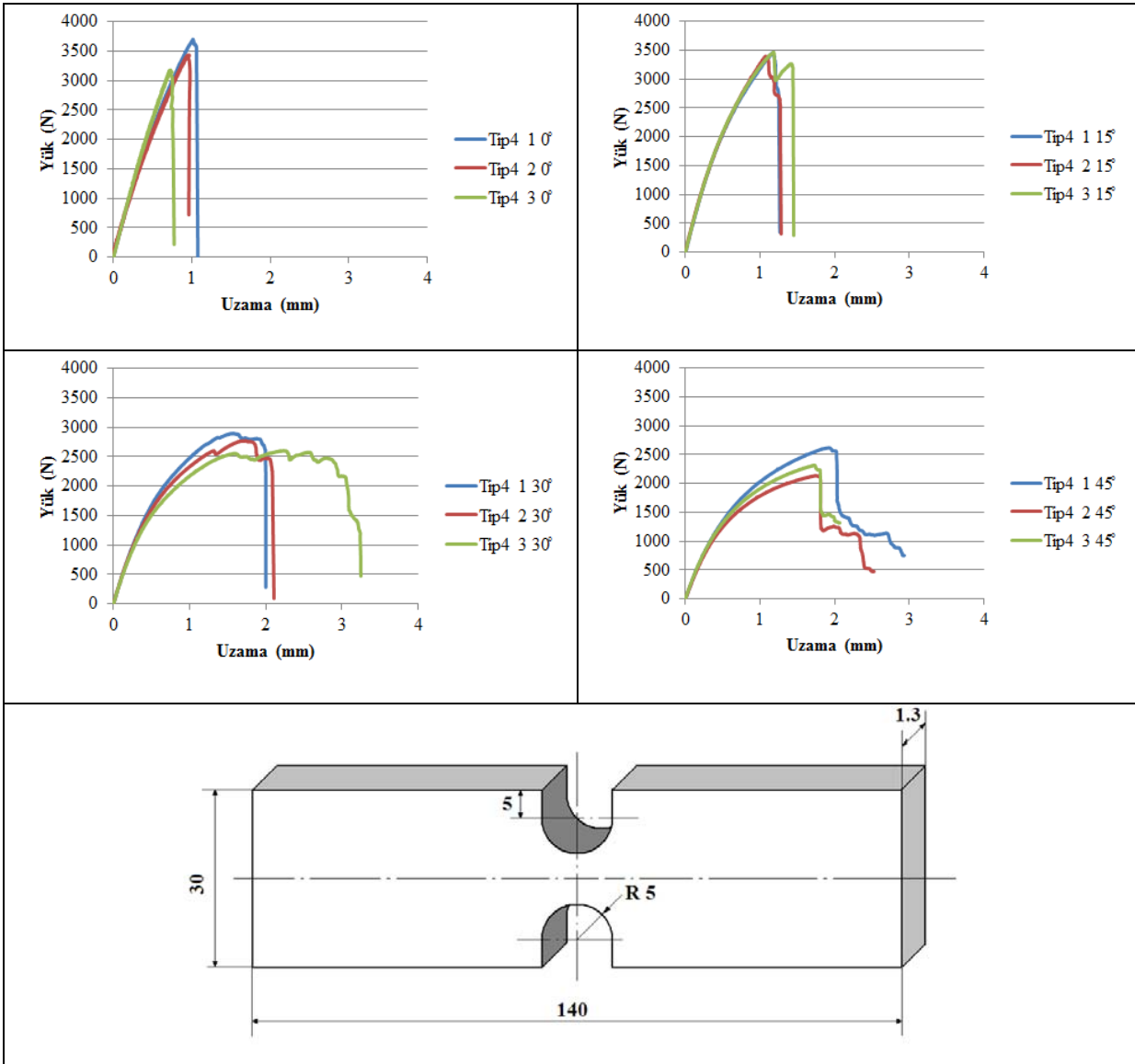


Şekil 4.23.  $[0^{\circ}]_8$ ,  $[15^{\circ}]_8$ ,  $[30^{\circ}]_8$ ,  $[45^{\circ}]_8$  fiber takviye açılı, Tip3 tamir edilmemiş kompozit levha için yük-uzama değerleri grafikleri.

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Fiber takviye açısı arttıkça yükün büyük bir bölümü matrise bindiğinden levhalar çekme yönünde uzamıştır. Şekil 4.22 ile 4.23 karşılaştırıldığında çentik türüne bağlı yük-uzama değerleri grafikleri incelendiği zaman en büyük değişikliğin  $15^\circ$  fiber takviye açısına bağlı levhada gerçekleştiği görülmektedir. Şekil 4.22'ye göre uzamaların arttığı gözlemlenebilir.

Şekil 4.24'de Tip4 çentik türü için yük-uzama değerleri grafikleri görülmektedir.



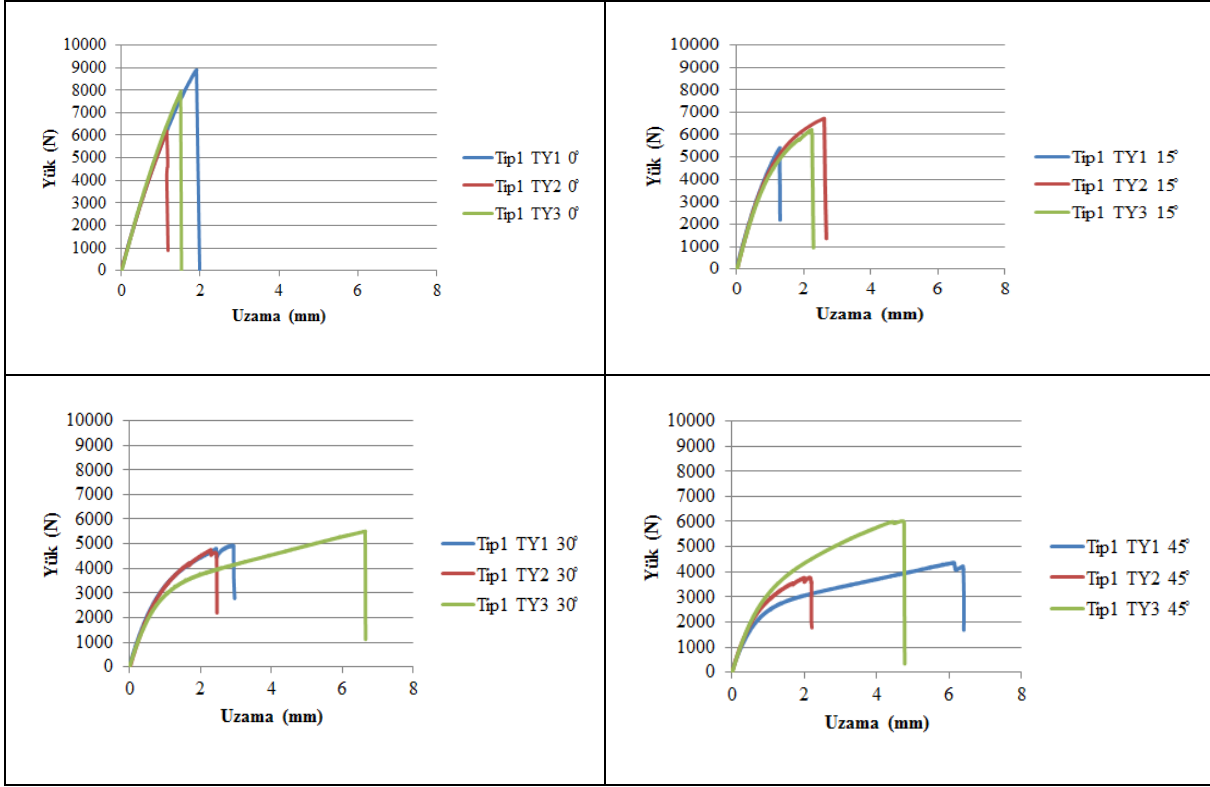
Şekil 4.24.  $[0^\circ]_8$ ,  $[15^\circ]_8$ ,  $[30^\circ]_8$ ,  $[45^\circ]_8$  fiber takviye açılı, Tip4 tamir edilmemiş kompozit levha için yük-uzama değerleri grafikleri.

Bütün numunelerde genel olarak fiber takviye açısının artmasıyla hasar yükü düşmüş bunun yanında uzama ve son hasar süreleri artmıştır. Tip2 ve Tip3 çentik türleri arasında Tip1 ve Tip4'dekine benzer bir durum vardır. Hasar yükleri değişmekle beraber benzer grafikler gözlenmektedir. Hasar yüklerinin karşılaştırılması sonuçlar ve tartışma bölümünde irdelenecektir.

#### **4.4.3. Tek Yüzünden Tamir Edilmiş Levhaların Deneysel Çalışma Sonuçları**

Tek yüzünden tamir edilmiş kompozit levhaların tamamında  $0^\circ$  kompozit levhadan elde edilen yamalar kullanılmıştır. Yama boyu olarak  $Lap = 30$  mm ve yapıştırıcı kalınlığı olarak da  $Tha = 0.4$  mm yapıştırıcı kalınlığı kullanılmıştır. Fiber takviye açısı ve çentik türü ise değiştirilen parametre olarak kullanılmıştır. Fiber takviye açısının tek yüz yama uygulamasına etkisini görebilmek için  $[0^\circ]_8$ ,  $[15^\circ]_8$ ,  $[30^\circ]_8$ ,  $[45^\circ]_8$  fiber takviye açılı levhaların dört farklı çentik tipine tek yüz yama işlemi uygulandıktan sonra çekme testine tabi tutulmuştur ve elde edilen verilerle oluşturulan yük-uzama değerleri grafikleri 4.25, 4.26, 4.27 ve 4.28'de sunulmuştur.

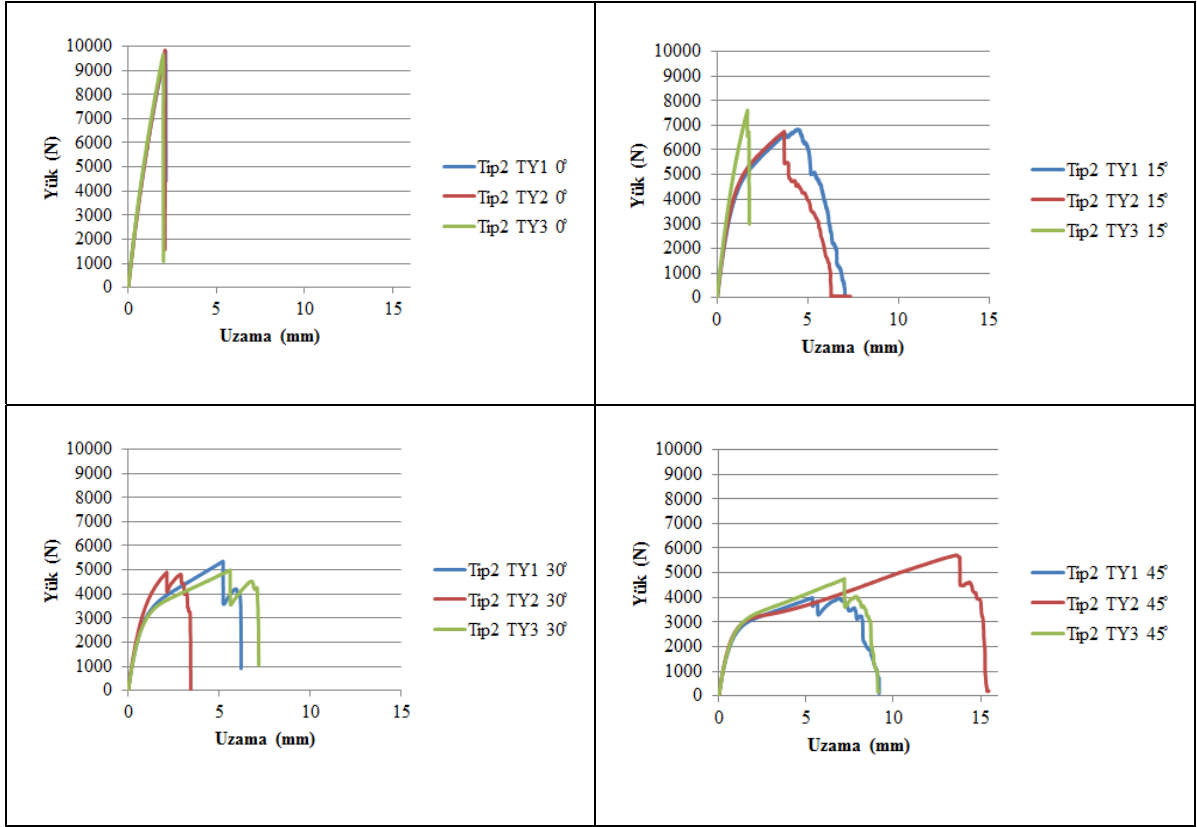
Şekil 4.25'de Tip1 çentik tipi için tek yüzünden tamir edilmiş kompozit levhaların fiber takviye açısı değişimine göre yük-uzama değerleri grafikleri sunulmuştur.



Şekil 4.25.  $[0^{\circ}]_8$  ,  $[15^{\circ}]_8$  ,  $[30^{\circ}]_8$  ,  $[45^{\circ}]_8$  fiber takviye açılı, Tip1 tek yüzünden tamir edilmiş kompozit levha için yük-uzama değerleri grafikleri.(Lap=30 mm,  $Th_a = 0.4$  mm)

Yama çentik bölgesindeki gerilme yığılmasını önleyip bulunduğu bölgede hasara müsaade etmediğinden dolayı gerilmeler tüm yüzeye yayılmış ve uzama miktarı artmıştır.  $[0^{\circ}]_8$  numunelerde yamayla beraber açılı numunelere göre daha az uzama gerçekleşmiştir.

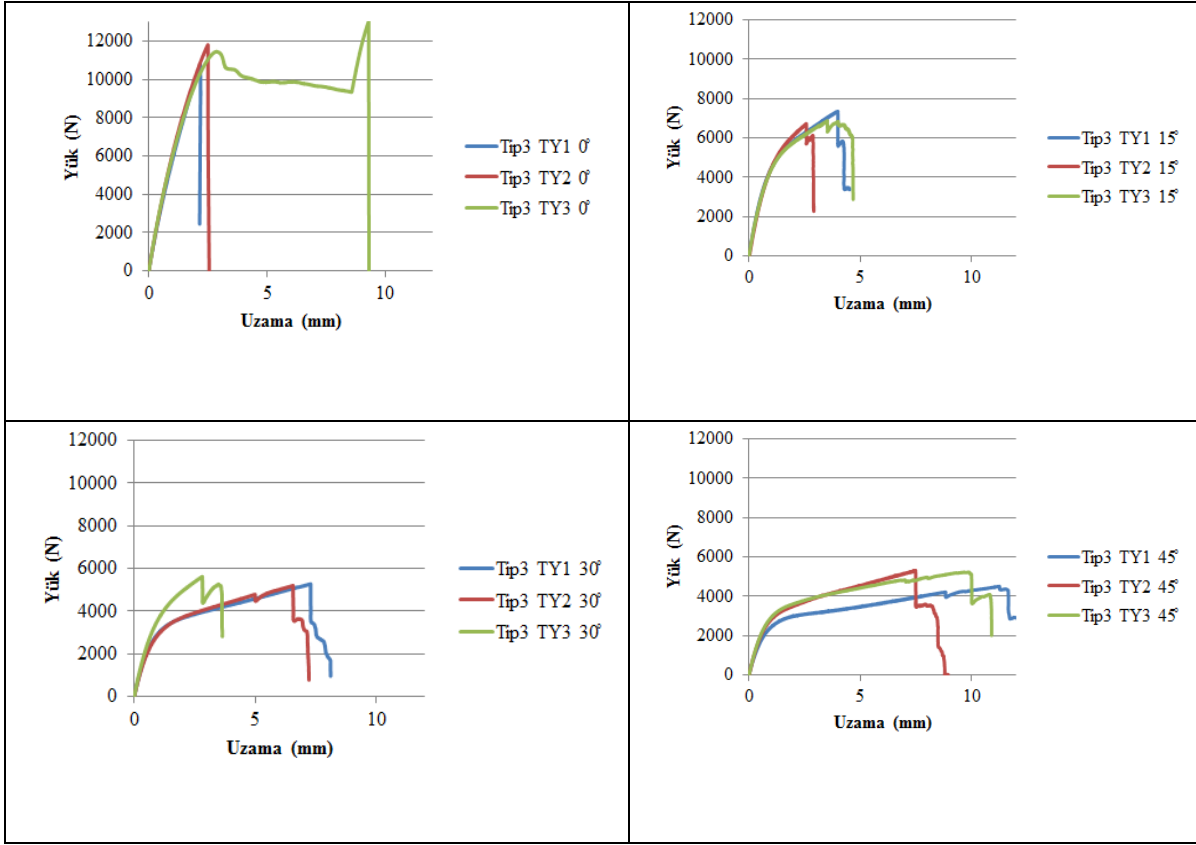
Şekil 4.26'da Tip2 çentik tipi için tek yüzünden tamir edilmiş kompozit levhaların fiber takviye açısı değişimine göre yük-uzama değerleri grafikleri sunulmuştur.



**Şekil 4.26.**  $[0^{\circ}]_8$ ,  $[15^{\circ}]_8$ ,  $[30^{\circ}]_8$ ,  $[45^{\circ}]_8$  fiber takviye açılı, Tip2 tek yüzünden tamir edilmiş kompozit levha için yük-uzama değerleri grafikleri (Lap=30 mm,  $T_h = 0.4$  mm)

Açılı levhalarda yama tamiratıyla beraber uzama miktarı artarken  $[0^{\circ}]_8$  levhalarda uzama miktarı düşmüştür.

Şekil 4.27’de Tip3 çentik tipi için tek yüzünden tamir edilmiş kompozit levhaların fiber takviye açısı değişimine göre yük-uzama değerleri grafikleri sunulmuştur.

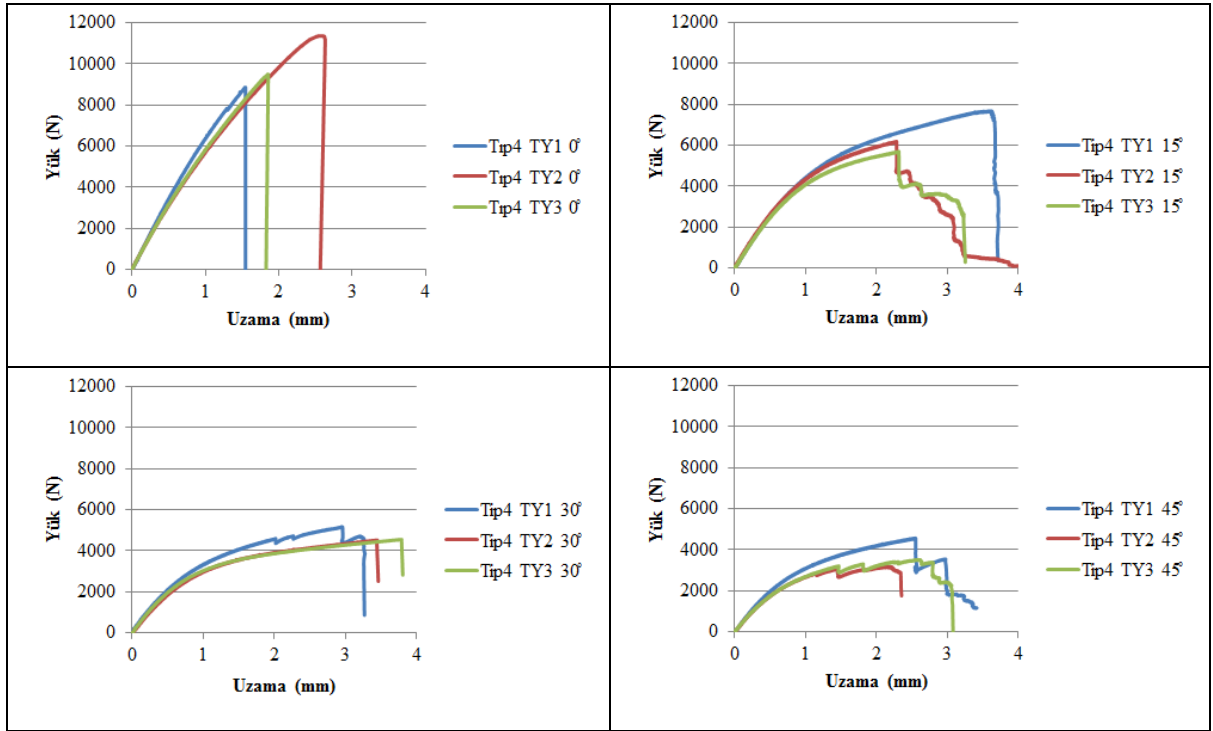


**Şekil 4.27.**  $[0^\circ]_8$  ,  $[15^\circ]_8$  ,  $[30^\circ]_8$  ,  $[45^\circ]_8$  fiber takviye açılı, Tip3 tek yüzünden tamir edilmiş kompozit levha için yük-uzama değerleri grafikleri.(Lap=30 mm,  $T_{ha} = 0.4$  mm)

Yamasız levhalara kıyasla tek yüz yama uygulamasıyla beraber hasar eğrileri daha yüksek yük değerlerine kadar lineer hareket ettikten sonra hasar başlamıştır. Tip3'lerde yama tamiratıyla beraber hasar yükü yükselmiş bunun yanında uzama miktarı düşmüştür. Tip TY3  $30^\circ$  deney numunesinde yamayı tutan çenelerin kavrayamayıp kaymasından kaynaklı fazladan bir uzama görülmektedir.

Şekil 4.28'de Tip1 çentik tipi için tek yüzünden tamir edilmiş kompozit levhaların fiber takviye açısı değişimine göre yük-uzama değerleri grafikleri sunulmuştur.





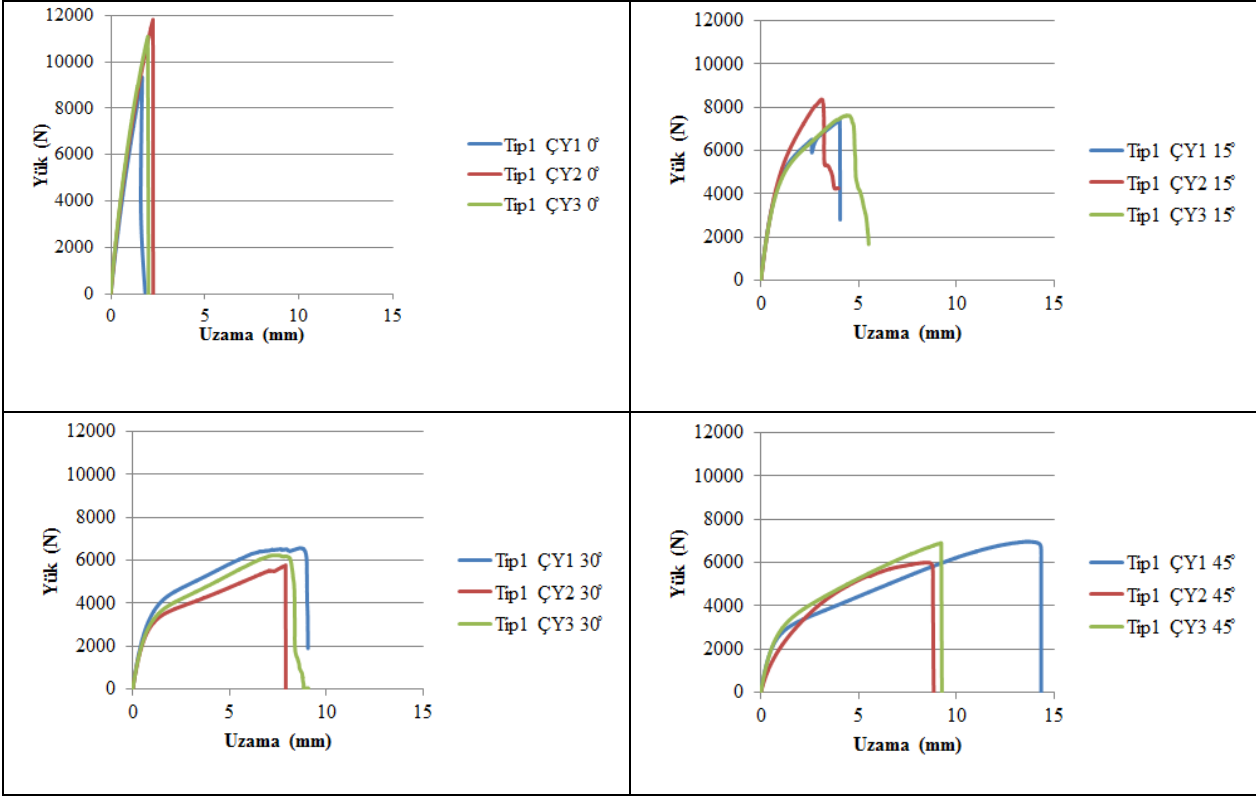
Şekil 4.28.  $[0^{\circ}]_8$ ,  $[15^{\circ}]_8$ ,  $[30^{\circ}]_8$ ,  $[45^{\circ}]_8$  fiber takviye açılı, Tip4 tek yüzünden tamir edilmiş kompozit levha için yük-uzama değerleri grafikleri (Lap=30 mm, Tha = 0.4 mm)

Yama tamiratıyla hasar oluşana kadarki geçen sürede çok az uzama ve buna karşın büyük oranda hasar yükü artışı gerçekleşmiştir.

#### 4.4.4. Çift Yüzünden Tamir Edilmiş Levhaların Deneysel Çalışma Sonuçları

Çift yüzünden tamir edilmiş kompozit levhaların hasar yükleri bu bölümde araştırılmıştır. Çalışma parametresi olarak yama uzunluğu değişimi, kompozit levhanın fiber takviye açısı değişimi ve yapıştırıcı kalınlığı değişimi incelenmiştir. Fiber takviye açısının çift yüz yama uygulamasına etkisini görebilmek için  $[0^{\circ}]_8$ ,  $[15^{\circ}]_8$ ,  $[30^{\circ}]_8$ ,  $[45^{\circ}]_8$  fiber takviye açılı levhaların dört farklı çentik tipine çift yüz yama işlemi uygulandıktan sonra çekme testine tabi tutulmuştur ve elde edilen verilerle oluşturulan yük-uzama değerleri grafikleri aşağıdaki gibi sunulmuştur.

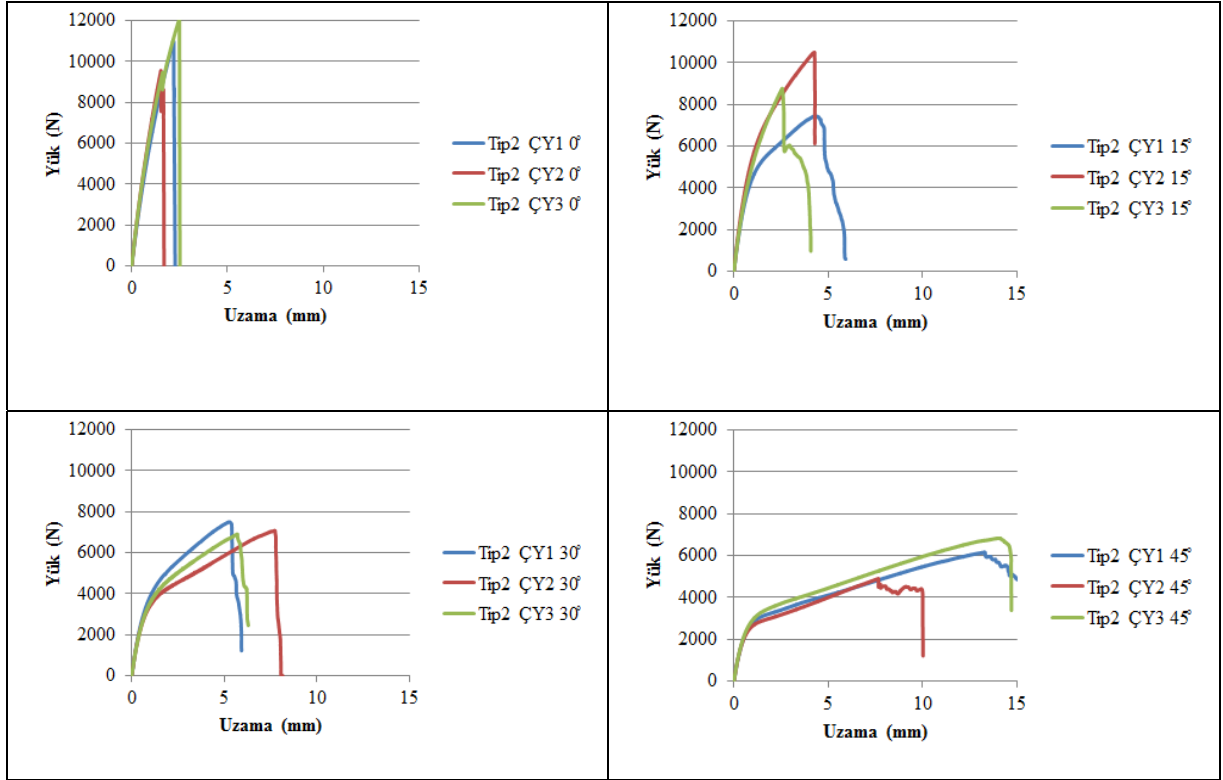
Şekil 4.29'da Tip1 çentik tipi için çift yüzünden tamir edilmiş kompozit levhaların fiber takviye açısı değişimine göre yük-uzama değerleri grafikleri sunulmuştur.



Şekil 4.29.  $[0^\circ]_8$ ,  $[15^\circ]_8$ ,  $[30^\circ]_8$ ,  $[45^\circ]_8$  fiber takviye açılı, Tip1 çift yüzünden tamir edilmiş kompozit levha için yük-uzama değerleri grafikleri (Lap=30 mm,  $Tha = 0.4$  mm)

$[0^\circ]_8$  levhalarında çift yüz yama uygulamasıyla birlikte açılı numunelerin aksine uzama miktarı düşmüştür. Çift yüz yama uygulamasıyla beraber hasar eğrileri daha yüksek yük değerlerine kadar lineer hareket ettikten sonra hasar başlamıştır.

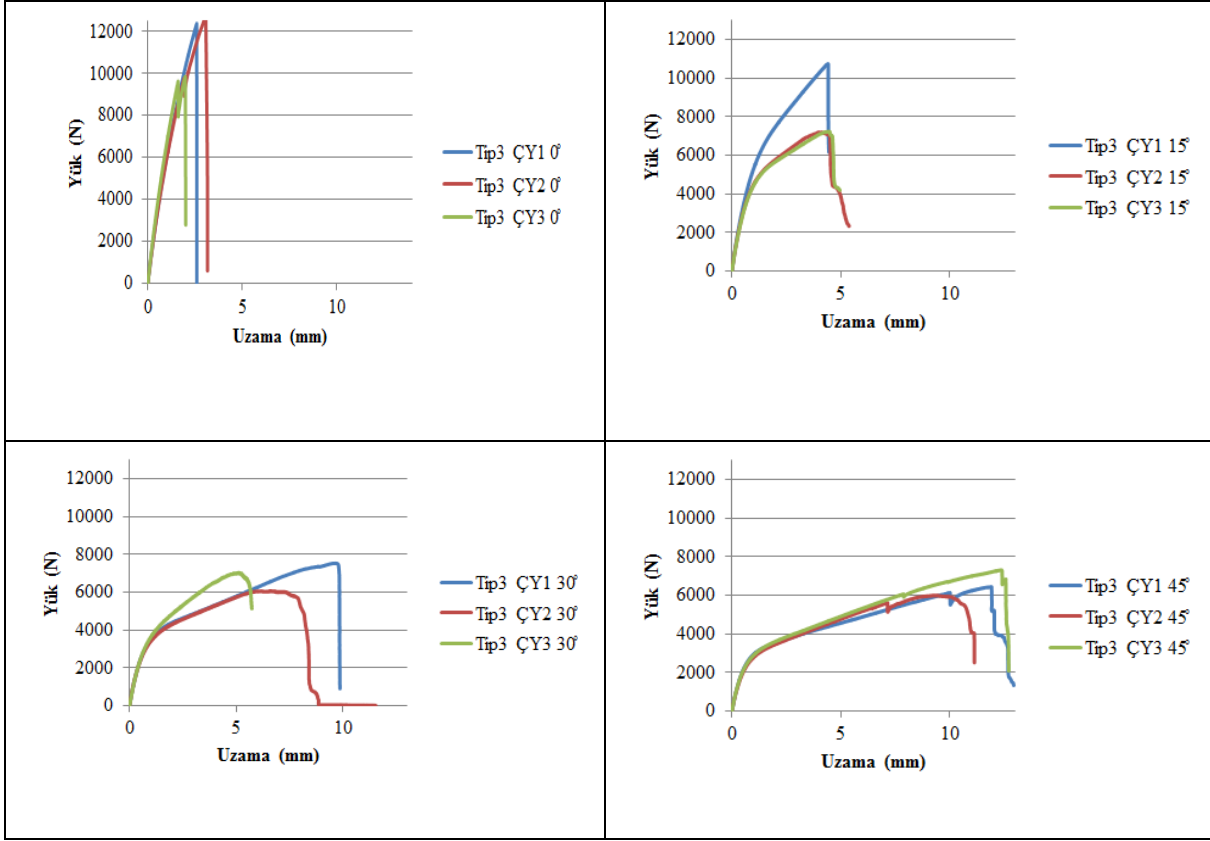
Şekil 4.30'da Tip2 çentik tipi için çift yüzünden tamir edilmiş kompozit levhaların fiber takviye açısı değişimine göre yük-uzama değerleri grafikleri sunulmuştur.



**Şekil 4.30.**  $[0^\circ]_8$ ,  $[15^\circ]_8$ ,  $[30^\circ]_8$ ,  $[45^\circ]_8$  fiber takviye açılı, Tip2 çift yüzünden tamir edilmiş kompozit levha için yük-uzama değerleri grafikleri (Lap=30 mm,  $T_h = 0.4$  mm)

Çift yüz yama uygulamasıyla tek yüz yama uygulamasına kıyasla ani yük düşüşleri azalmış, özellikle  $[15^\circ]_8$  levhalarının plastikliğe geçene kadar ki sürede hasar eğrileri elastik malzeme hasar doğruları gibi düz bir duruma gelmiştir. Tip2  $[45^\circ]_8$  çift yüz yama uygulamaları ilk şekil değişiminin olduğu noktadan itibaren reçinenin tam hasar anına kadar hasar eğrileri tekrardan doğrusal hareket etmiştir.

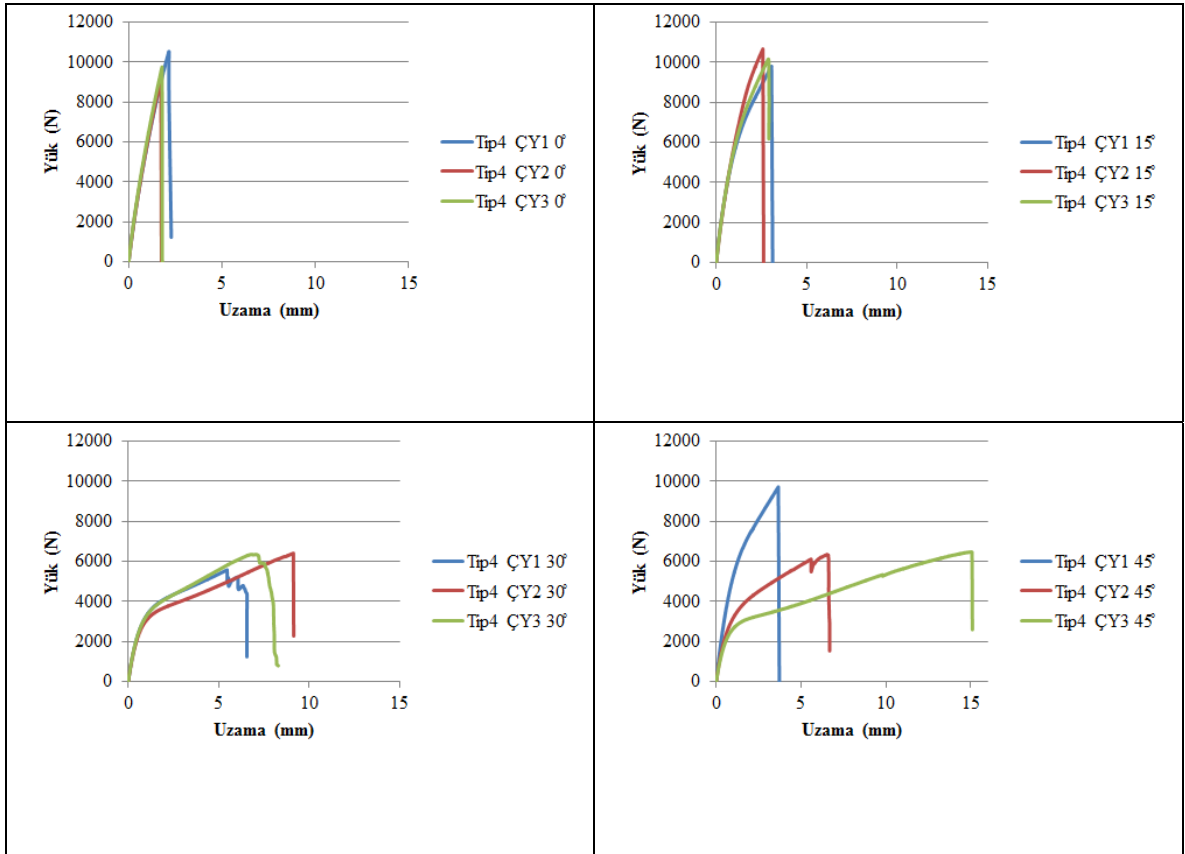
Şekil 4.31'de Tip3 çentik tipi için çift yüzünden tamir edilmiş kompozit levhaların fiber takviye açısı değişimine göre yük-uzama değerleri grafikleri sunulmuştur.



**Şekil 4.31.**  $[0^\circ]_8$  ,  $[15^\circ]_8$  ,  $[30^\circ]_8$  ,  $[45^\circ]_8$  fiber takviye açılı, Tip3 çift yüzünden tamir edilmiş kompozit levha için yük-uzama değerleri grafikleri.(Lap=30 mm, Tha = 0.4 mm)

Çift yüz yama uygulaması her bir numunenin hasar eğrilerini birbirine yaklaştırmıştır. Tip3 çentik alanı küçük olduğundan dolayı çift yüz yama uygulaması tek yüz yamaya kıyasla uzama miktarını çok fazla arttıramamıştır.

Şekil 5.32’de Tip4 çentik tipi için çift yüzünden tamir edilmiş kompozit levhaların fiber takviye açısı değişimine göre yük-uzama değerleri grafikleri sunulmuştur.



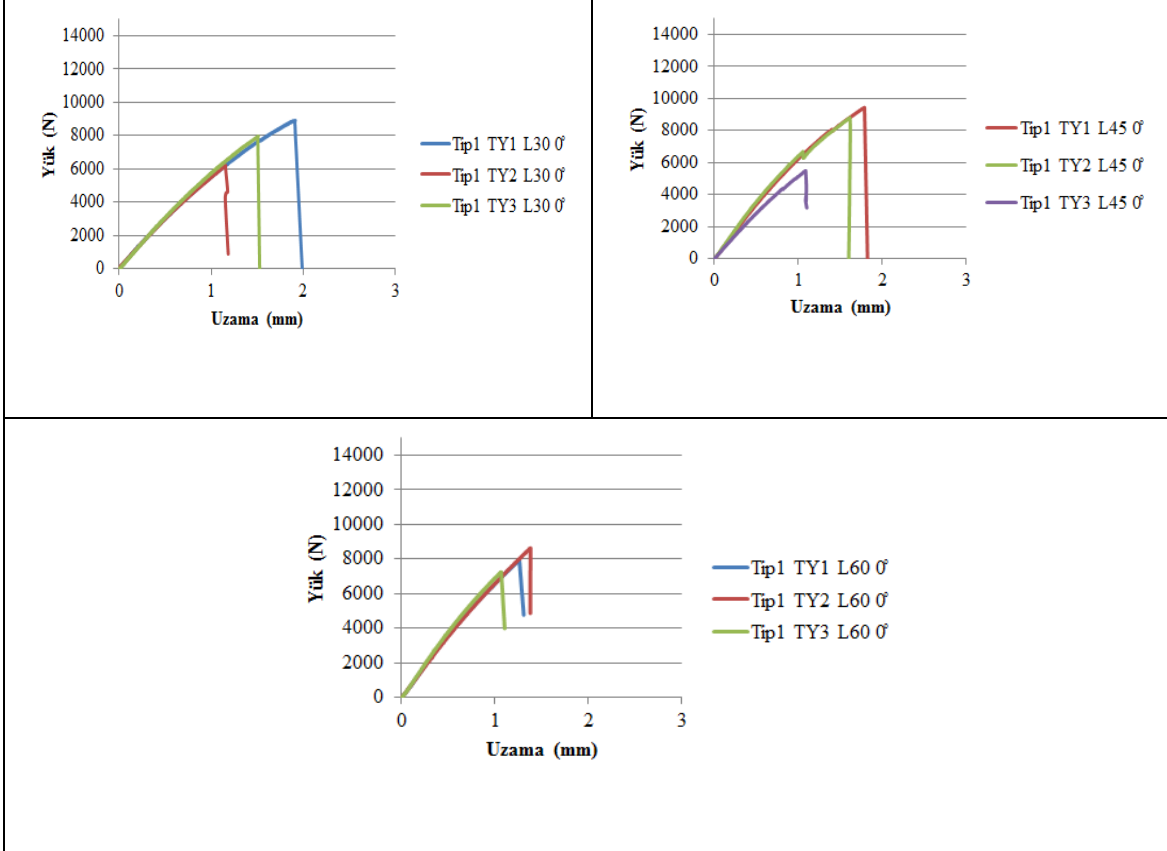
**Şekil 4.32.**  $[0^{\circ}]_8$  ,  $[15^{\circ}]_8$  ,  $[30^{\circ}]_8$  ,  $[45^{\circ}]_8$  fiber takviye açılı, Tip4 çift yüzünden tamir edilmiş kompozit levha için yük-uzama değerleri grafikleri (Lap=30 mm,  $Tha = 0.4$  mm)

Bütün tiplerde fiber takviye açısı arttıkça hasar yükü düşmekte buna ters orantılı olarak kopma gerçekleşene kadarki süre artmaktadır. En büyük hasar yükü değerleri tüm tiplerin  $[0^{\circ}]_8$  levhalarında görülmektedir.

#### 4.4.5. Yama Uzunluğu Değişiminin Deneysel Çalışma Sonuçları

Bindirme mesafesi etkilerini net görebilmek için  $[0^{\circ}]_8$  levhalara 30 mm, 45 mm ve 60 mm ölçülerinde seçilen yamalar her bir çentik tipine  $Tha=0,4$  mm yapıştırıcı kalınlığı uygulanarak yapıştırılmıştır. Hasar ilerlemesi-uzama grafiklerinde yama boyutlarının tiplere nasıl etki ettikleri, özellikle hasarın nasıl ilerlediği rahatlıkla görülebilmektedir. Yama boyutu arttıkça çift yüz yama tamiratında yoğun bir şekilde kademeli hasar görülmektedir.

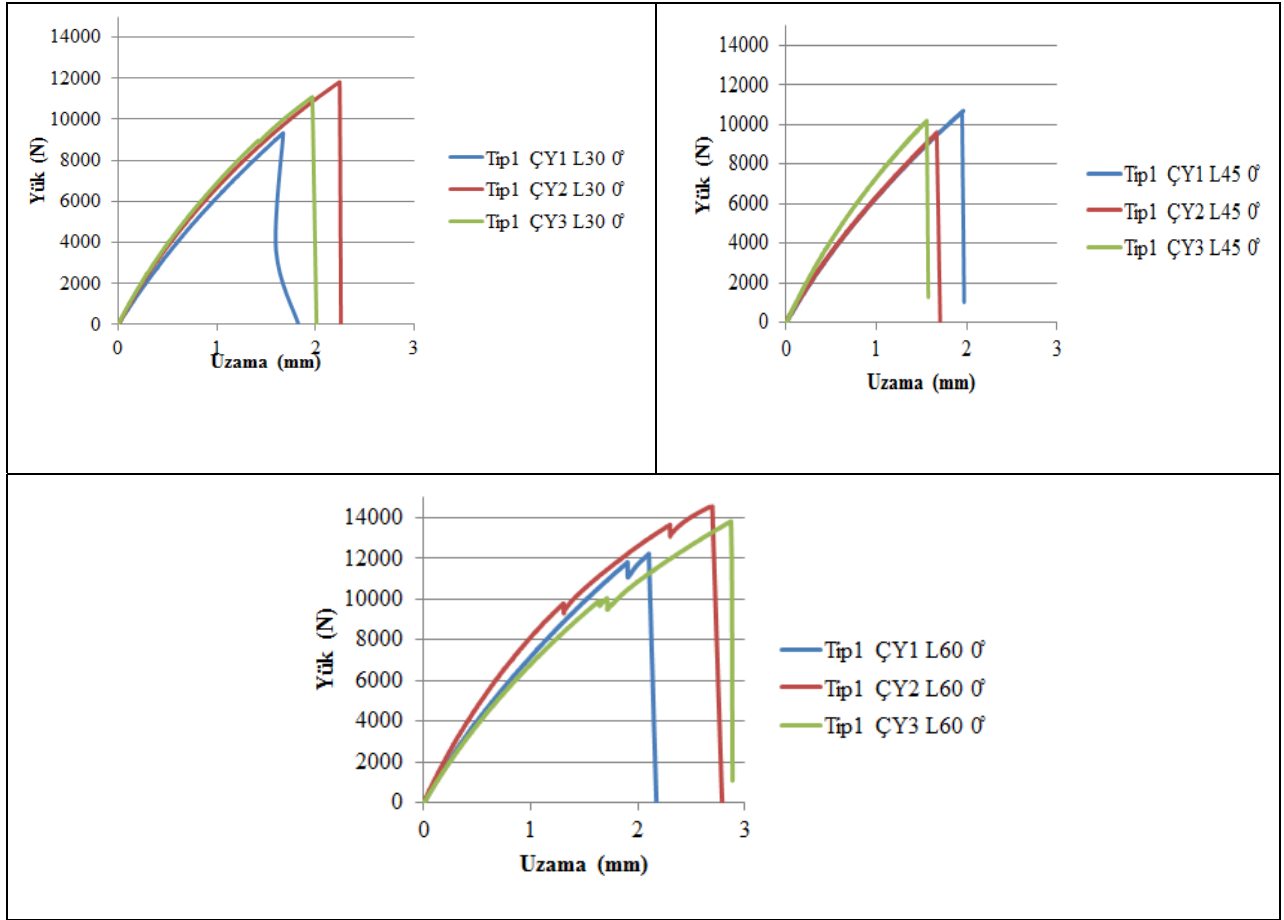
Şekil 5.33’de Tip1 çentik tipi ve  $[0^0]_8$  fiber takviye açılı kompozit levhalar için tek yüzünden tamir edilmiş kompozit levhaların bindirme mesafesi değişimine göre yük-uzama değerleri grafikleri sunulmuştur.



Şekil 4.33.  $[0^0]_8$  fiber takviye açılı, Tip1,  $T_{ha} = 0.4$  mm tek yüzünden tamir edilmiş kompozit levha için yük-uzama değerleri grafikleri

60 mm yama uygulamasıyla çift yüz yamalı levhalarda uzama değeri belirgin bir şekilde artmıştır.

Şekil 4.34’de Tip1 çentik tipi ve  $[0^0]_8$  fiber takviye açılı kompozit levhalar için çift yüzünden tamir edilmiş kompozit levhaların bindirme mesafesi değişimine göre yük-uzama değerleri grafikleri sunulmuştur.

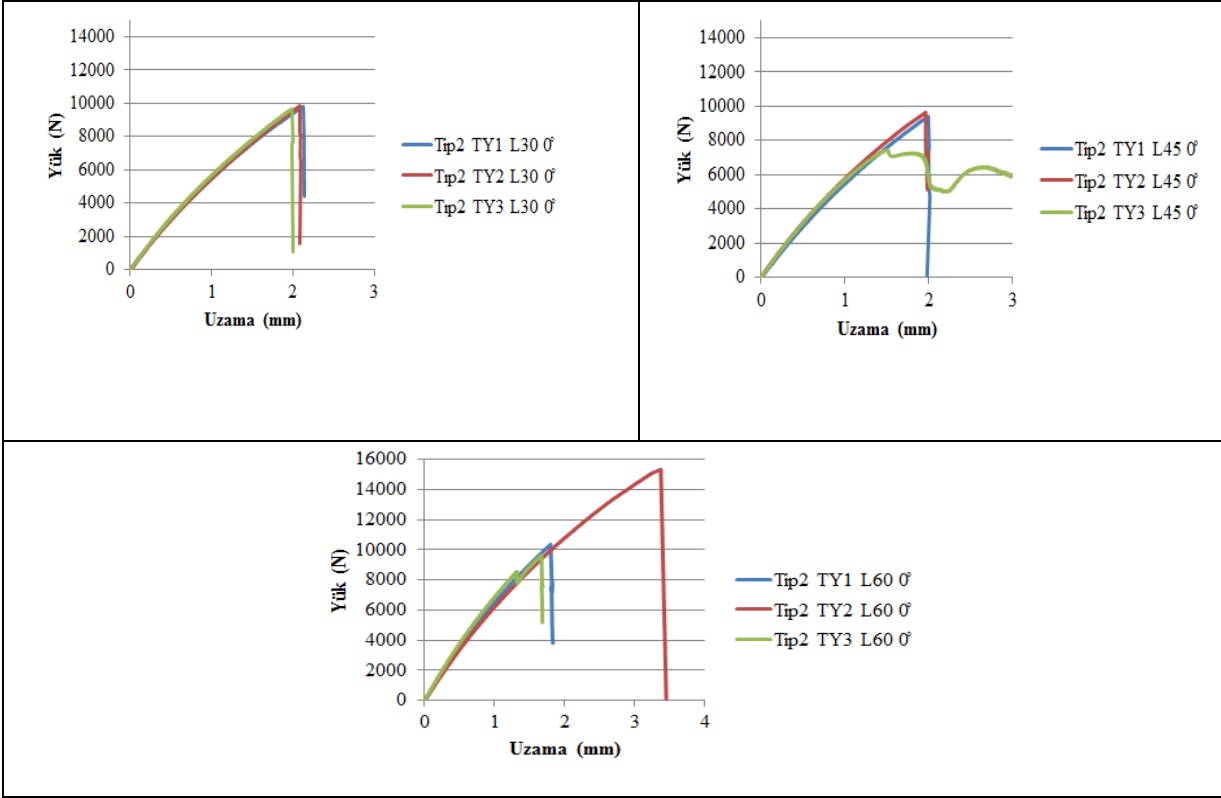


Şekil 4.34.  $[0^{\circ}]_8$  fiber takviye açılı, Tip1,  $T_{ha} = 0.4$  mm çift yüzünden tamir edilmiş kompozit levha için yük-uzama değerleri grafikleri

Tip1  $[0^{\circ}]_8$  çift yüz yama uygulamalarında  $Lap=45$  mm yama uygulamasıyla en düşük hasar yükü ve en düşük uzama değeri elde edilmiştir.  $Lap=60$  mm yama uygulamasında ise en yüksek hasar yükü ve uzama miktarı elde edilmiştir.

Şekil 4.35’de Tip2 çentik tipi ve  $[0^{\circ}]_8$  fiber takviye açılı kompozit levhalar için tek yüzünden tamir edilmiş kompozit levhaların bindirme mesafesi değişimine göre yük-uzama değerleri grafikleri sunulmuştur.

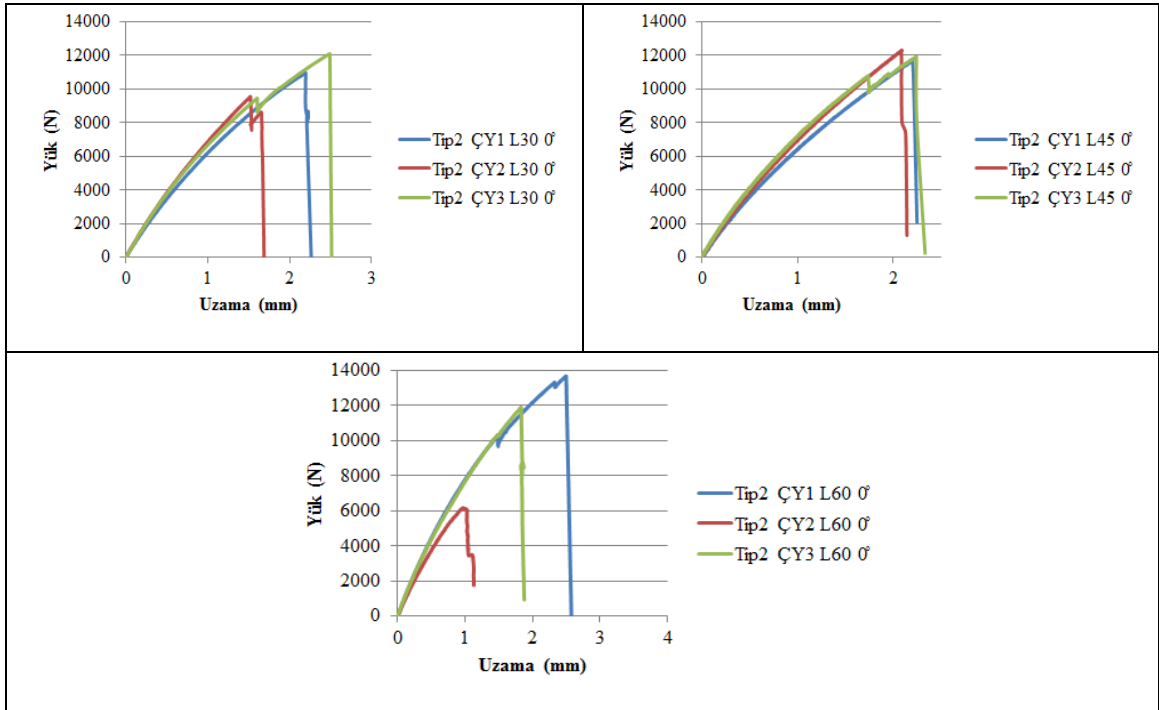
#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA



Şekil 4.35.  $[0^{\circ}]_8$  fiber takviye açılı, Tip2,  $T_{ha} = 0.4$  mm tek yüzünden tamir edilmiş kompozit levha için yük-uzama değerleri grafikleri

Şekil 5.36’de Tip2 çentik tipi ve  $[0^{\circ}]_8$  fiber takviye açılı kompozit levhalar için çift yüzünden tamir edilmiş kompozit levhaların bindirme mesafesi değişimine göre yük-uzama değerleri grafikleri sunulmuştur.

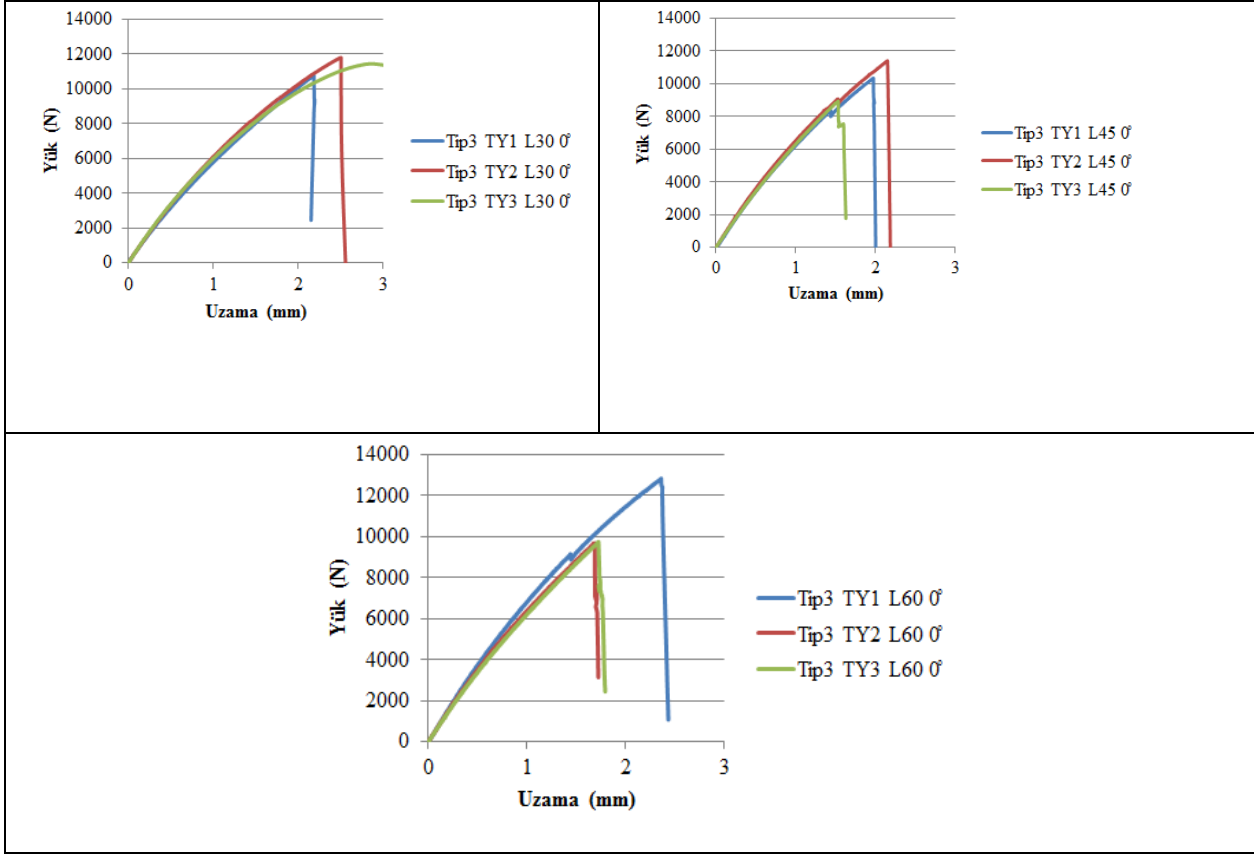




Şekil 4.36.  $[0^{\circ}]_8$  fiber takviye açılı, Tip2,  $T_{ha} = 0.4$  mm Çift yüzünden tamir edilmiş kompozit levha için yük-uzama değerleri grafikleri

$[0^{\circ}]_8$  Tip2 çift yüz yama uygulamalarında Lap=45 mm yama uygulaması hem hasar yükü hem de uzama değerleri diğer yama uygulamalarından yüksek çıkmıştır. Tip1 Lap=60 mm yama uygulamasında da benzer bir yük-uzama ilişkisi söz konusuydu. Uzamayla hasar yükünün doğru orantılı olduğu söylenebilir.

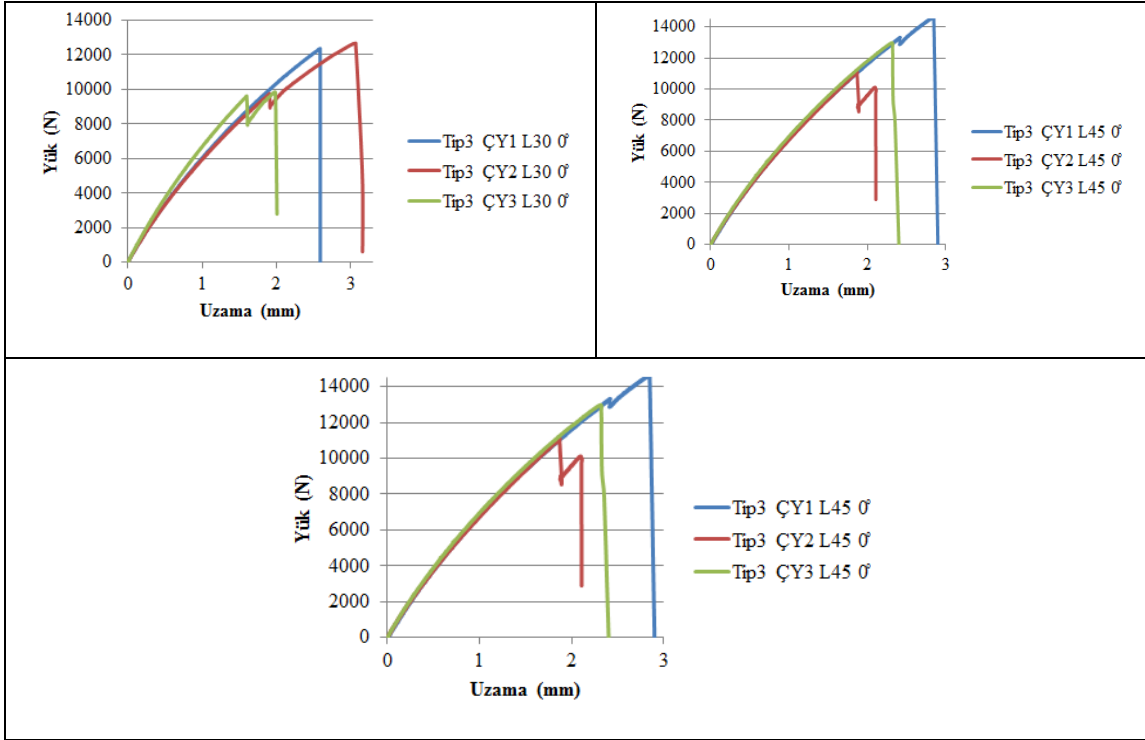
Şekil 5.37’de Tip3 çentik tipi ve  $[0^{\circ}]_8$  fiber takviye açılı kompozit levhalar için tek yüzünden tamir edilmiş kompozit levhaların bindirme mesafesi değişimine göre yük-uzama değerleri grafikleri sunulmuştur.



Şekil 4.37.  $[0^{\circ}]_8$  fiber takviye açılı, Tip3,  $T_{ha} = 0.4$  mm tek yüzünden tamir edilmiş kompozit levha için yük-uzama değerleri grafikleri

Tek yüz yama uygulamalarında ortalama uzama değerleri yama boyutu arttıkça azalmaktadır.

Şekil 4.38’de Tip3 çentik tipi ve  $[0^{\circ}]_8$  fiber takviye açılı kompozit levhalar için çift yüzünden tamir edilmiş kompozit levhaların bindirme mesafesi değişimine göre yük-uzama değerleri grafikleri sunulmuştur.

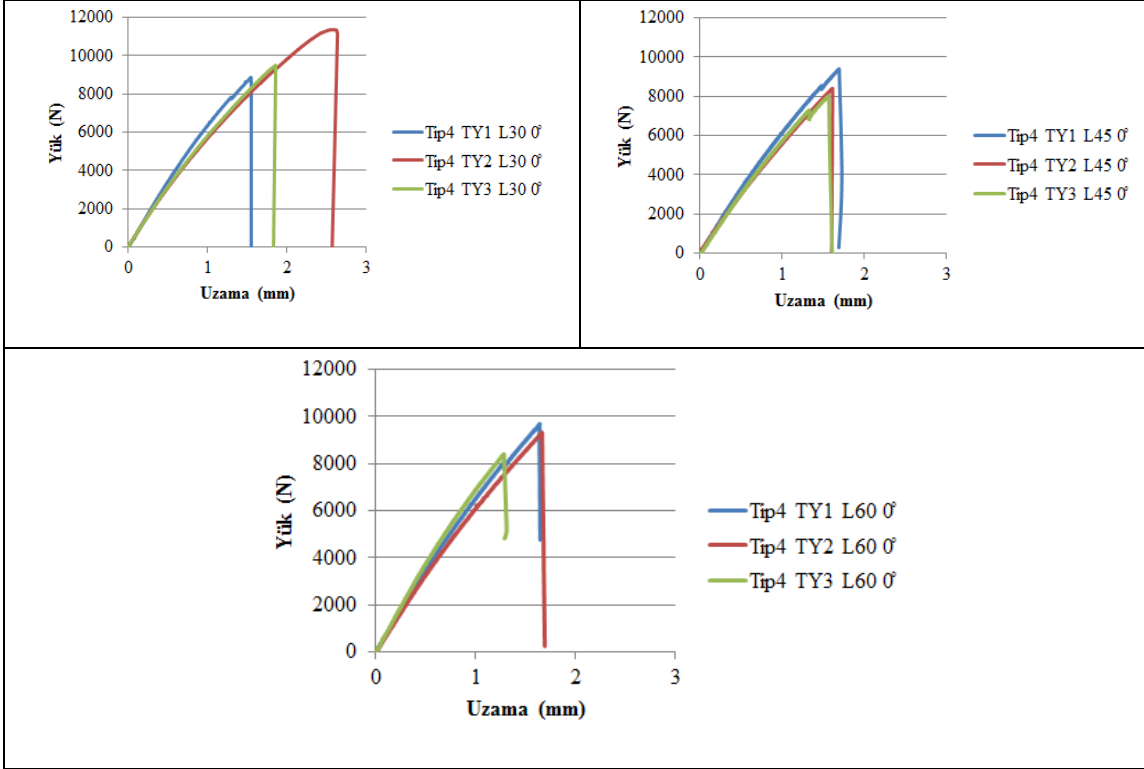


**Şekil 4.38.**  $[0^{\circ}]_8$  fiber takviye açılı, Tip3,  $T_{ha} = 0.4$  mm çift yüzünden tamir edilmiş kompozit levha için yük-uzama değerleri grafikleri

Hasar eğrilerinde ani hasar düşüşleri  $Lap = 60$  mm çift yüz yamalı levhaların her üç numunesinde de görülmektedir ve tek yüz yamalı numunelerde bu şekilde farklı boyutlardaki yamalarda belirgin bir fark yoktur.

Şekil 4.39'da Tip4 çentik tipi ve  $[0^{\circ}]_8$  fiber takviye açılı kompozit levhalar için tek yüzünden tamir edilmiş kompozit levhaların bindirme mesafesi değişimine göre yük-uzama değerleri grafikleri sunulmuştur.

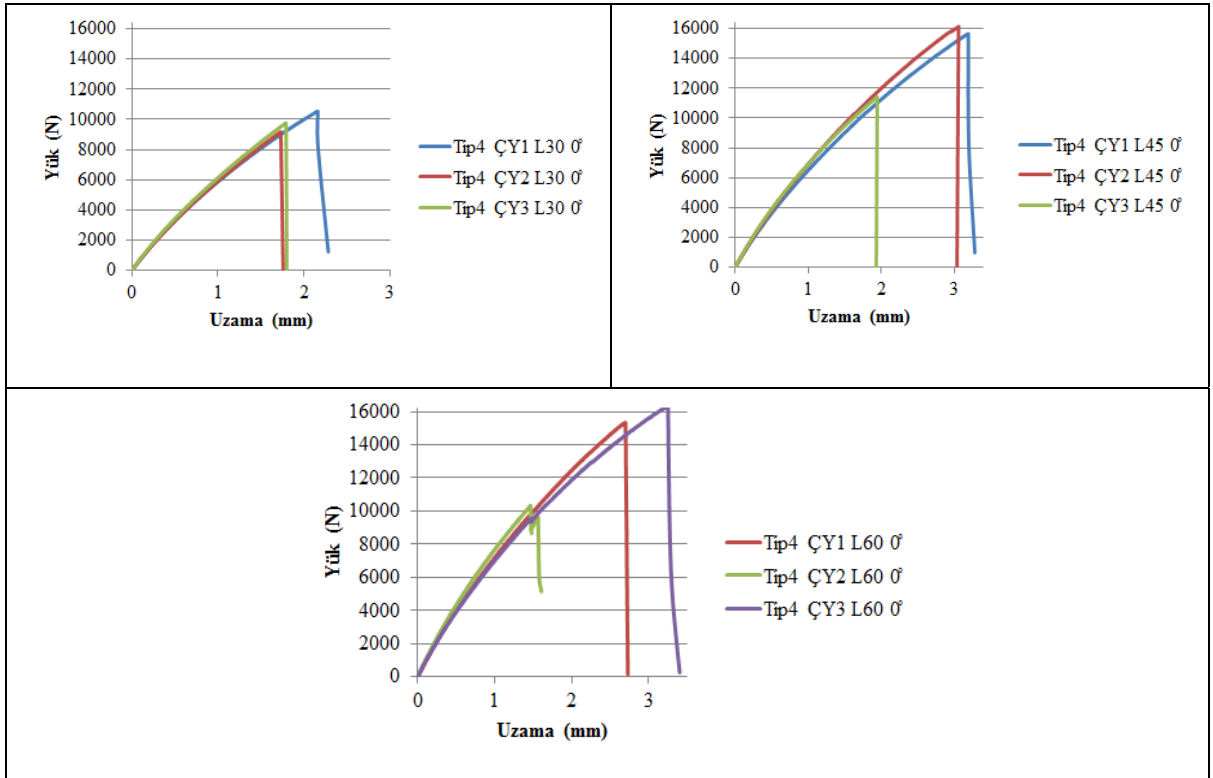
#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA



Şekil 4.39.  $[0^{\circ}]_8$  fiber takviye açılı, Tip4,  $T_{ha} = 0.4$  mm tek yüzünden tamir edilmiş kompozit levha için yük-uzama değerleri grafikleri

Tip4 en büyük hasar yükü Tip3'e kıyasla büyük yama uygulamasıyla birlikte artmıştır. Tip4 çentik bölgesi büyük olduğundan büyük yamanın işlevini daha fazla görmesine müsade etmiştir.

Şekil 4.40'da Tip4 çentik tipi ve  $[0^{\circ}]_8$  fiber takviye açılı kompozit levhalar için çift yüzünden tamir edilmiş kompozit levhaların bindirme mesafesi değişimine göre yük-uzama değerleri grafikleri sunulmuştur.



Şekil 4.40.  $[0^{\circ}]_8$  fiber takviye açılı, Tip4,  $T_{ha} = 0.4$  mm çift yüzünden tamir edilmiş kompozit levha için yük-uzama değerleri grafikleri

Tek yüz yama uygulamalarında yama bölgesinde çekmeyle beraber eğilme ve şekil değişimi başlıyor. Yamasız yüz yama uygulanmış yüze göre daha fazla uzamaktadır. Yama yapıştırıldığı yüzeye fazladan mukavemet kazandırdığı için yamasız yüze göre farklı hareket etmektedir. Yamayı tutan yapıştırıcının işlevini tamamen yitirdiği anda yama herhangi bir hasara uğramadan yerinden fırlıyor ve hasar sonlanıyor. Bu olay yamanın fiber takviye açısı veya mekanik özelliklerinin seçiminden çok, uygun yapıştırıcının seçilmesiyle alakalı bir şeydir. Yama kompozit yapıştırıcı uyumu dikkate alındığında bağlantı mukavemeti artacaktır.

Çift yüz yamaların, tek yüz yamalı numunelere kıyasla mukavemet artışının yanısıra hasar süresini artırdığı gözlemlenmiştir.

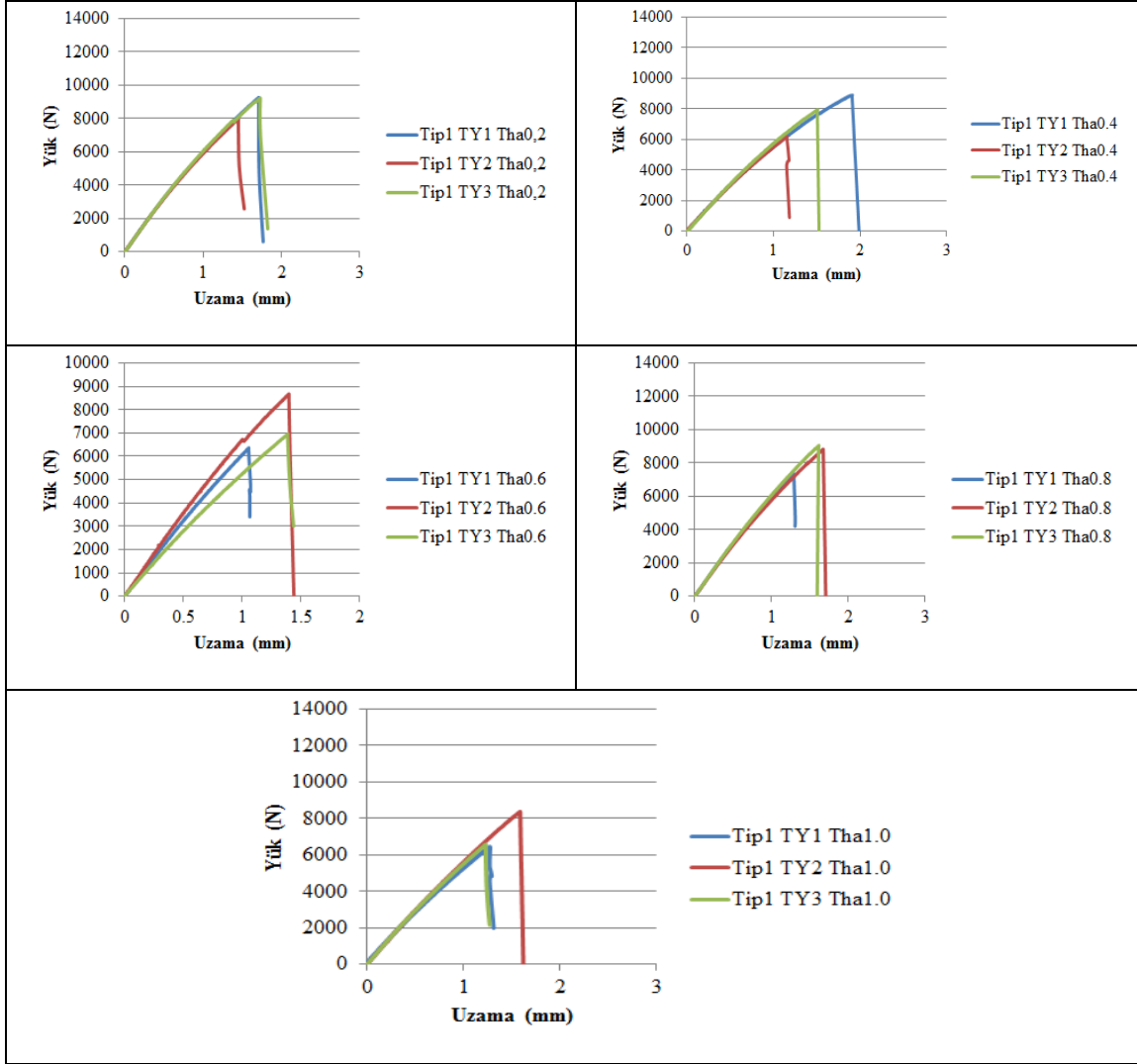
#### 4.4.6. Yapıştırıcı Kalınlığı Değişiminin Deneysel Çalışma Sonuçları

Yapıştırıcı kalınlığı değişiminin yama uygulamalarına etkisini görebilmek için her çentik tipine yapıştırıcı kalınlığı  $T_{ha}=0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0$  mm ölçülerinde

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

uygulandıktan sonra levhalar çekme testine tabi tutulmuş ve elde edilen verilerle yük-uzama değerleri grafikleri aşağıdaki gibi sunulmuştur.

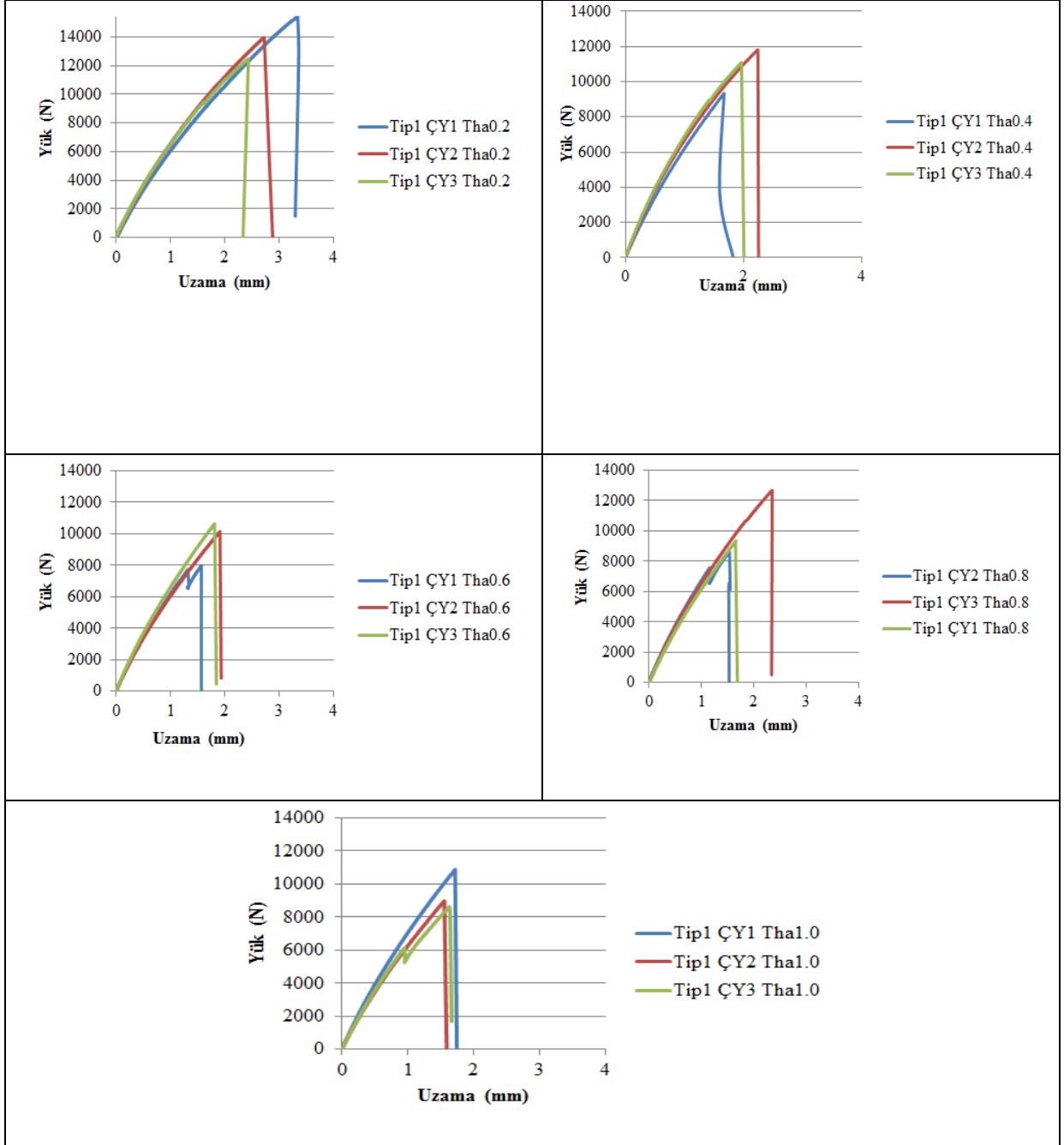
Şekil 4.41’de Tip1 çentik tipi ve  $[0^0]_8$  fiber takviye açılı kompozit levhalar için tek yüzünden tamir edilmiş kompozit levhaların yapıştırıcı kalınlığı değişimine göre yük-uzama değerleri grafikleri sunulmuştur.



Şekil 4.41.  $[0^0]_8$  fiber takviye açılı, Tip1, Lap= 30 mm tek yüzünden tamir edilmiş kompozit levha için yük-uzama değerleri grafikleri

Yapıştırıcı kalınlığı artışı tek yüz yamalı levhalarda uzama miktarını belirgin bir şekilde etkilememiştir.

Şekil 4.42’de Tip1 çentik tipi ve  $[0^0]_8$  fiber takviye açılı kompozit levhalar için çift yüzünden tamir edilmiş kompozit levhaların yapıştırıcı kalınlığı değişimine göre yük-uzama değerleri grafikleri sunulmuştur.

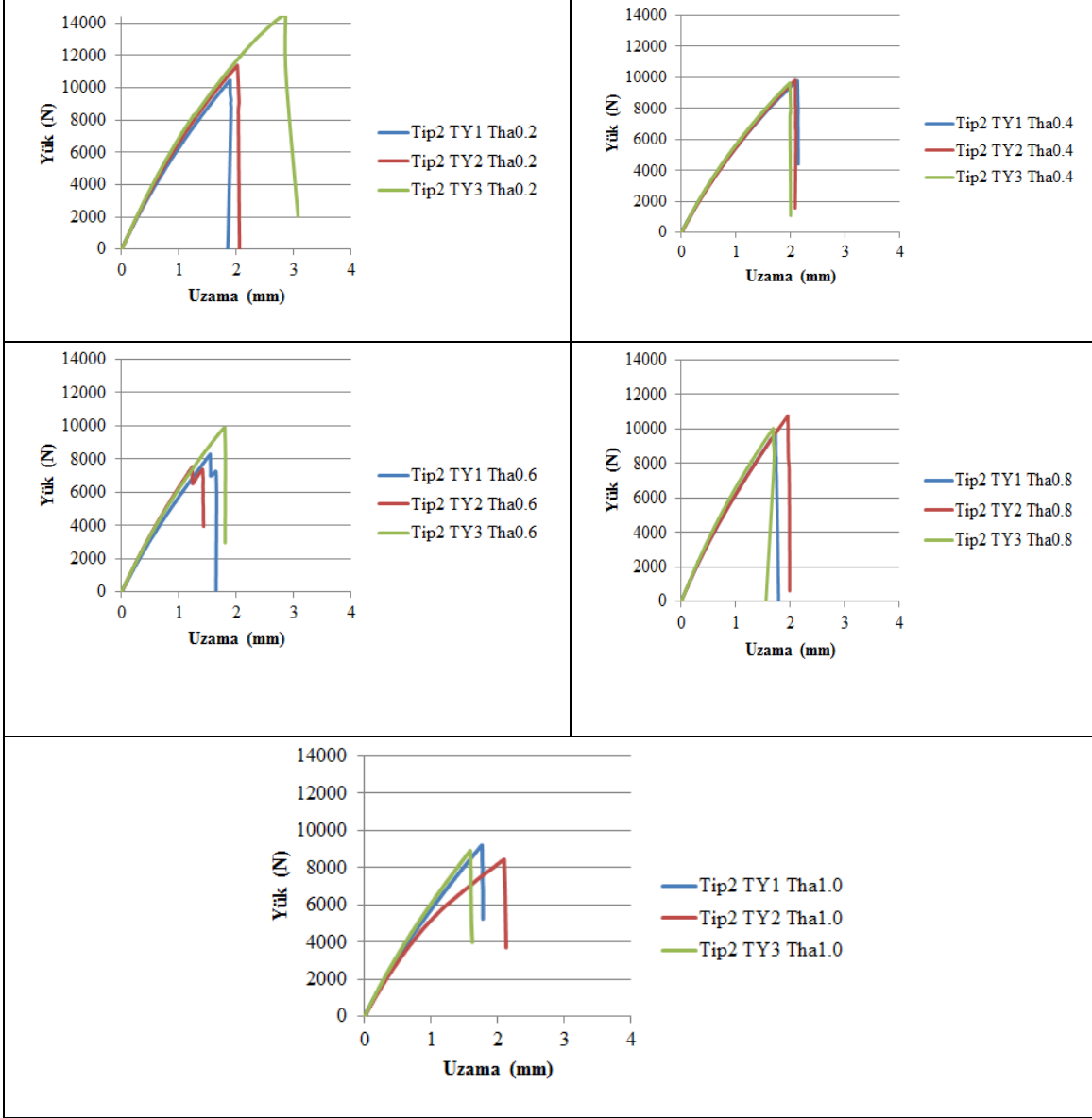


Şekil 4.42.  $[0^0]_8$  fiber takviye açılı, Tip1, Lap=30 mm çift yüzünden tamir edilmiş kompozit levha için yük-uzama değerleri grafikleri

Çift yüz yama uygulamalarında yapıştırıcı kalınlığı artışıyla beraber eğrilerde ani yük düşüşleri gerçekleşmektedir.

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Şekil 4.43’de Tip2 çentik tipi ve  $[0^0]_8$  fiber takviye açılı kompozit levhalar için tek yüzünden tamir edilmiş kompozit levhaların yapıştırıcı kalınlığı değişimine göre yük-uzama değerleri grafikleri sunulmuştur.

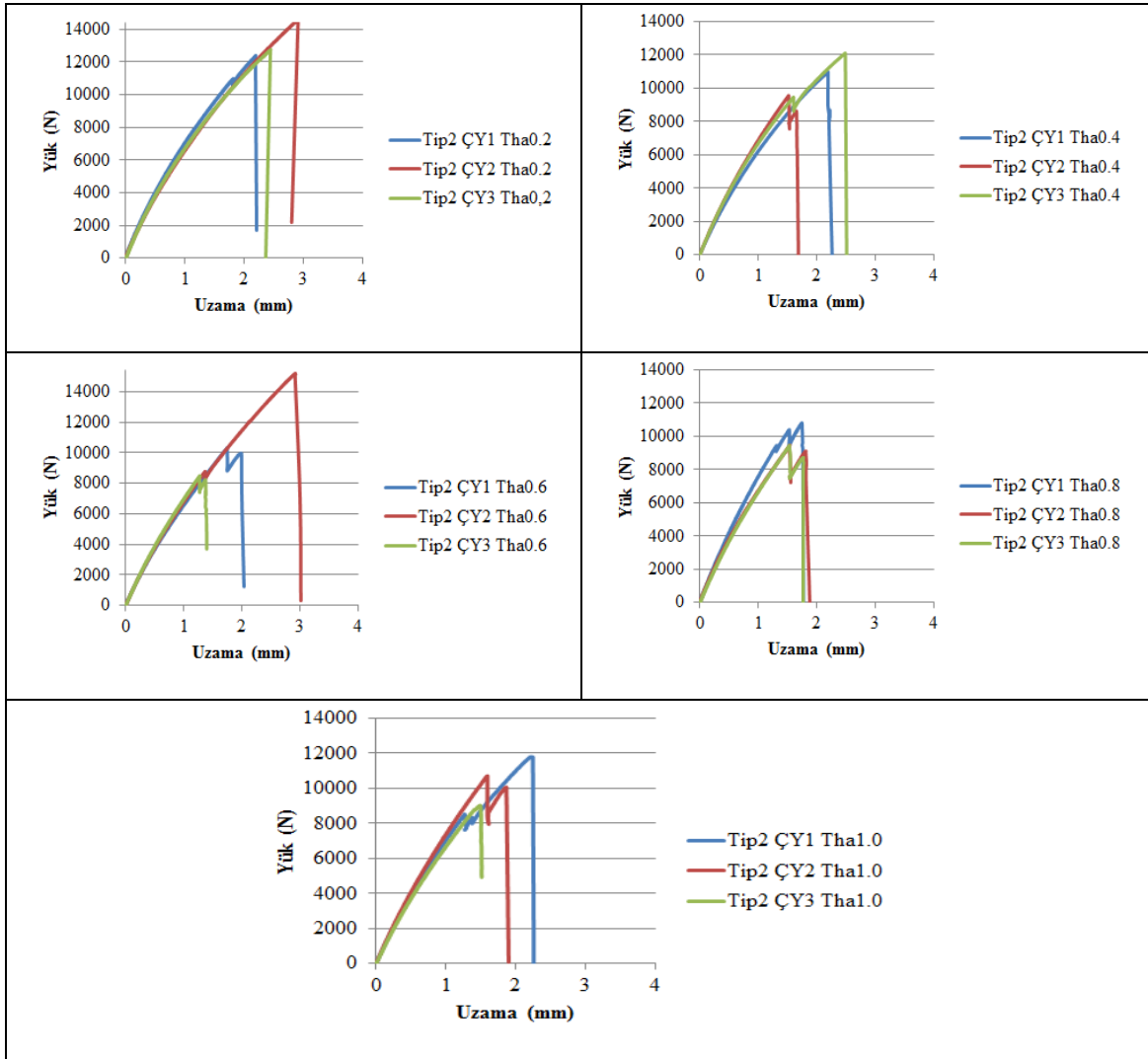


Şekil 4.43.  $[0^0]_8$  fiber takviye açılı, Tip2, Lap=30 mm tek yüzünden tamir edilmiş kompozit levha için yük-uzama değerleri grafikleri

Tek yüz yama tamiratında yapıştırıcı kalınlığının artışıyla hasar yükü düşmekte ve hasar eğrilerinin doğrultuları az da olsa birbirinden uzaklaşmaktadır.



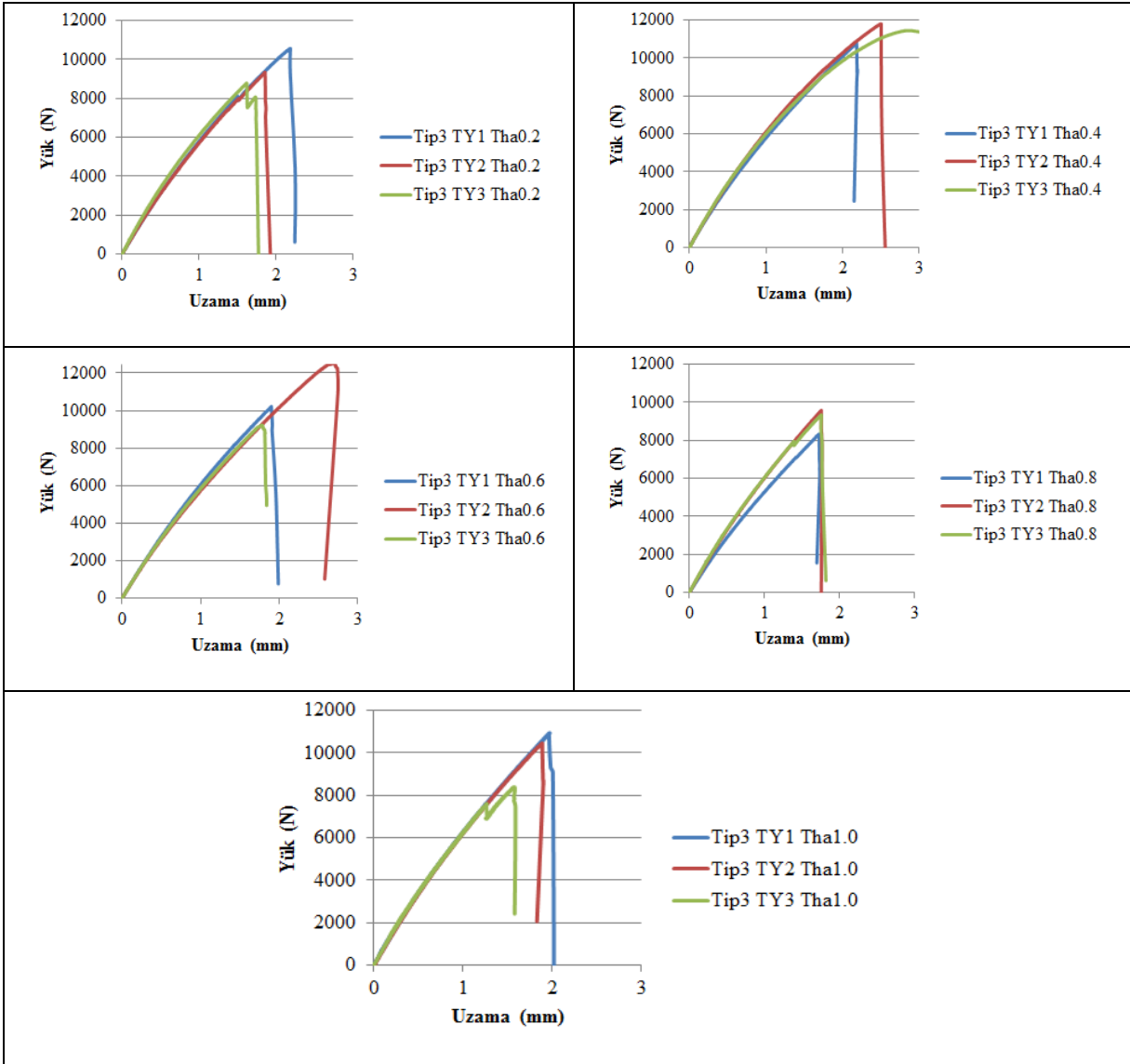
Şekil 4.44’de Tip2 çentik tipi ve  $[0^0]_8$  fiber takviye açılı kompozit levhalar için çift yüzünden tamir edilmiş kompozit levhaların yapıştırıcı kalınlığı değişimine göre yük-uzama değerleri grafikleri sunulmuştur.



Şekil 4.44.  $[0^0]_8$  fiber takviye açılı, Tip2, Lap=30 mm çift yüzünden tamir edilmiş kompozit levha için yük-uzama değerleri grafikleri

Tip2 çentik türü çift yüz yama uygulamasıyla diğer tiplere göre daha fazla ani yük düşüşlerine maruz kalmıştır. Bunun yanında yapıştırıcı kalınlığının artışıyla ani yük düşüşleri bir miktar daha artmıştır

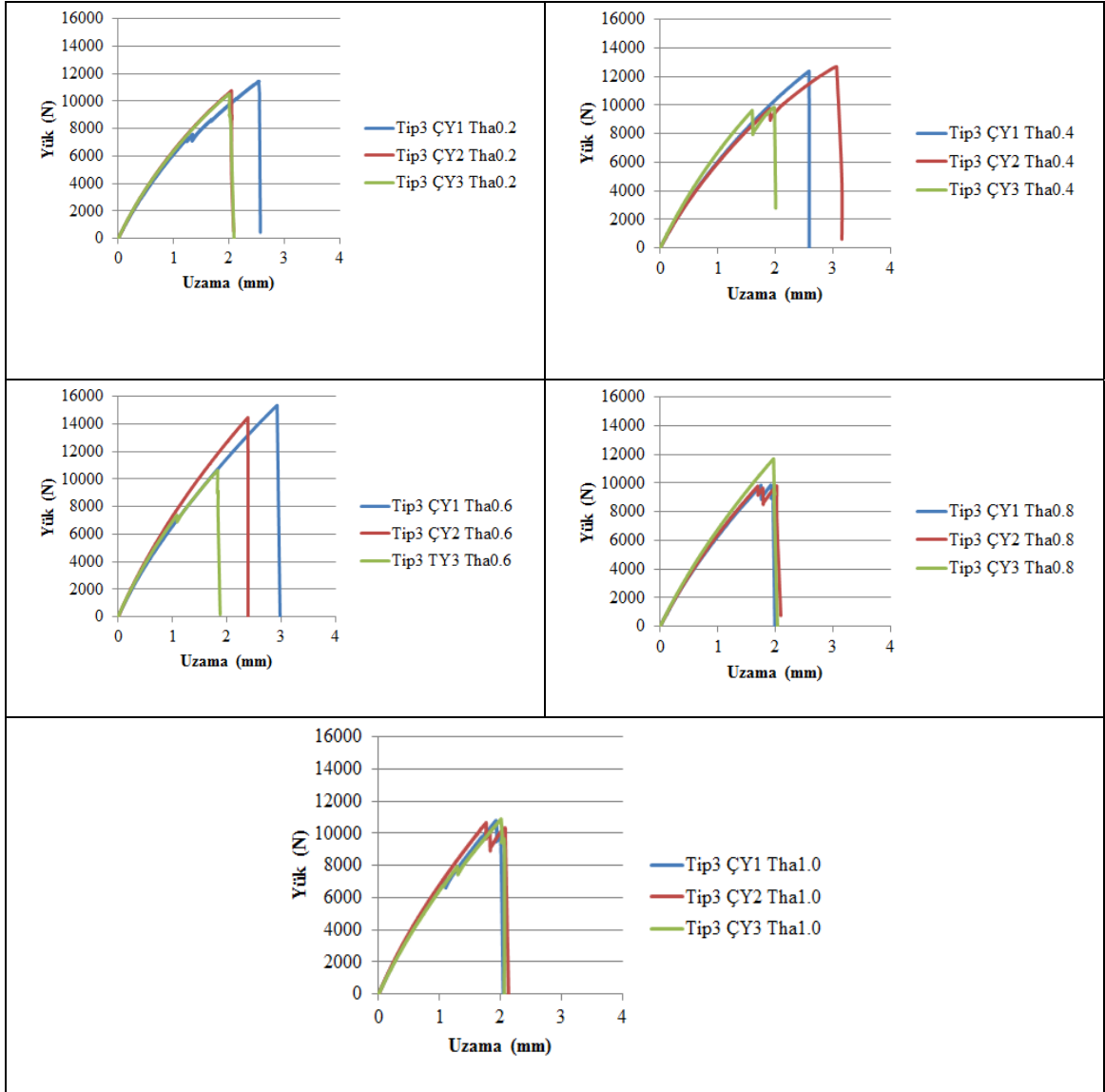
Şekil 4.45’de Tip 3 çentik tipi ve  $[0^0]_8$  fiber takviye açılı kompozit levhalar için tek yüzünden tamir edilmiş kompozit levhaların yapıştırıcı kalınlığı değişimine göre yük-uzama değerleri grafikleri sunulmuştur.



Şekil 4.45.  $[0^\circ]_8$  fiber takviye açılı, Tip3, Lap=30 mm tek yüzünden tamir edilmiş kompozit levha için yük-uzama değerleri grafikleri

Tip3 tek yüz uygulamalarında çentik boyutu küçük ve riskli bölgede olmadığından yapıştırıcı kalınlığı diğer tiplerdeki gibi hasar yükü ve ilerleyişini belirgin bir şekilde etkilememiştir.

Şekil 4.46’da Tip3 çentik tipi ve  $[0^\circ]_8$  fiber takviye açılı kompozit levhalar için tek yüzünden tamir edilmiş kompozit levhaların yapıştırıcı kalınlığı değişimine göre yük-uzama değerleri grafikleri sunulmuştur.

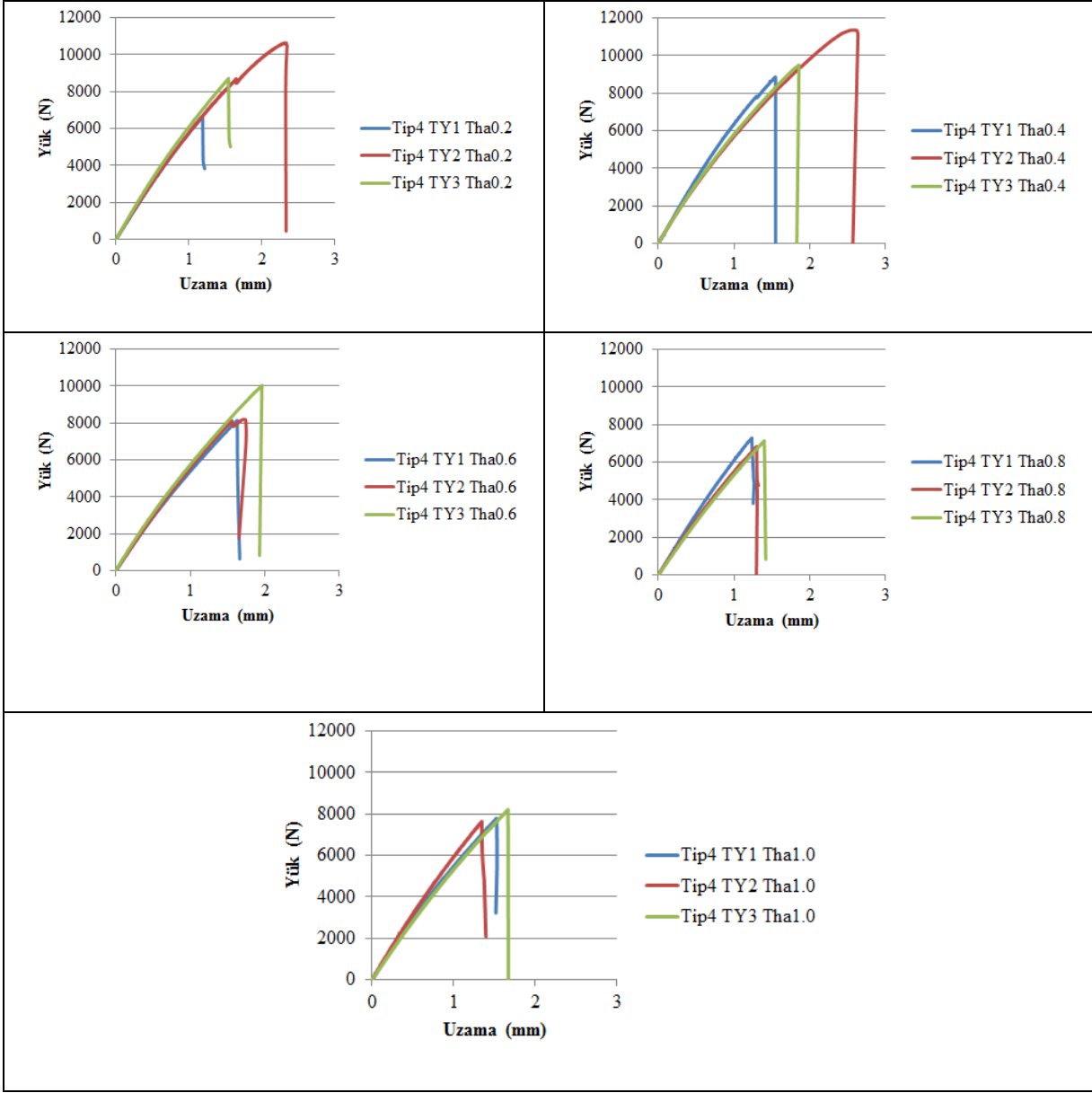


Şekil 4.46.  $[0^{\circ}]_8$  fiber takviye açılı, Tip3, Lap=30 mm çift yüzünden tamir edilmiş kompozit levha için yük-uzama değerleri grafikleri

Tip3 tek yüz yama uygulamasından farklı olarak  $Tha=1$  mm yapıştırıcı kalınlığında hasar yükü düşmüş ve her üç numunenin en büyük hasar yükleri birbirine yaklaşmıştır.

Şekil 4.47’de Tip4 çentik tipi ve  $[0^{\circ}]_8$  fiber takviye açılı kompozit levhalar için tek yüzünden tamir edilmiş kompozit levhaların yapıştırıcı kalınlığı değişimine göre yük-uzama değerleri grafikleri sunulmuştur.

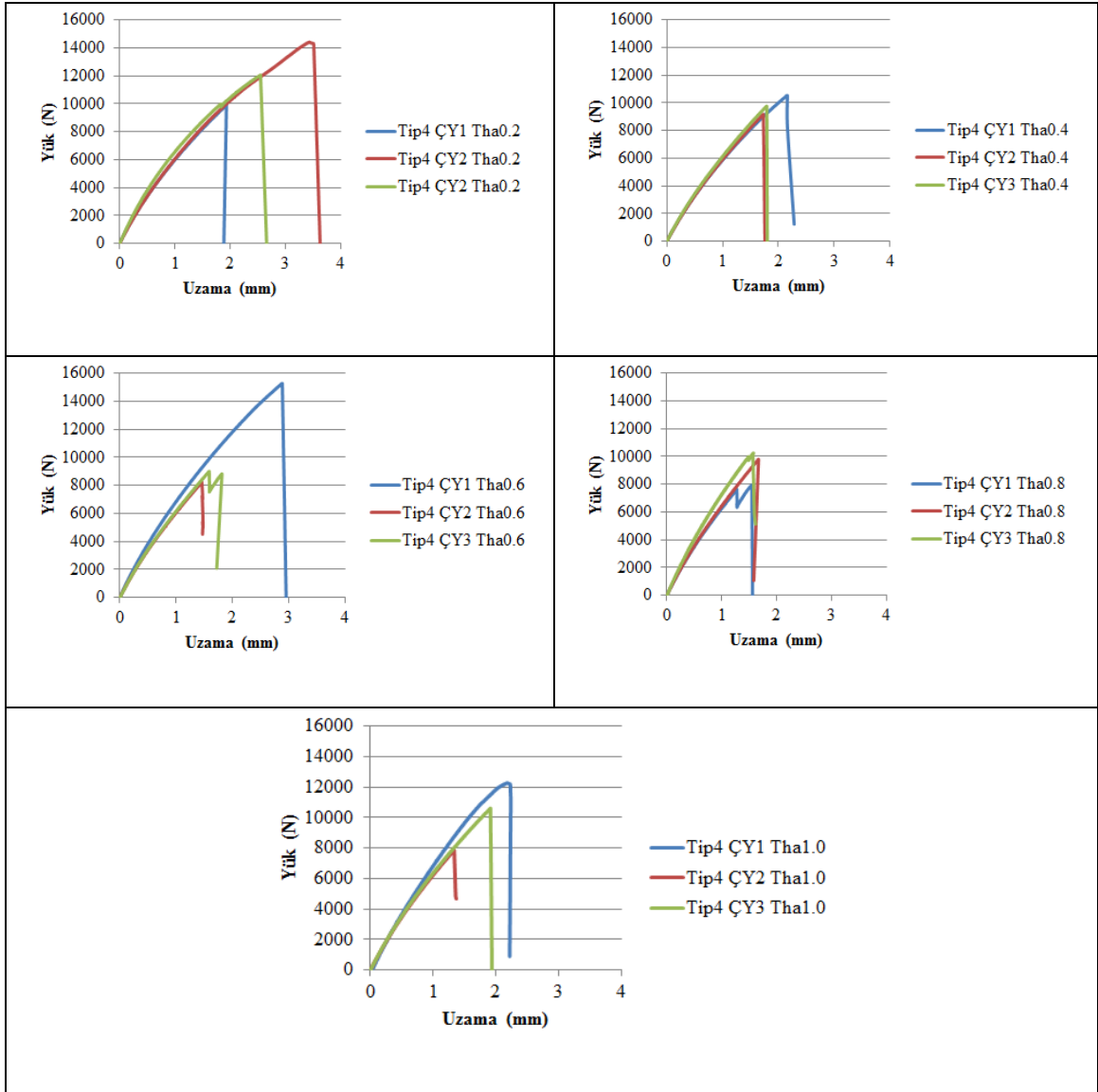
#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA



Şekil 4.47.  $[0^{\circ}]_8$  fiber takviye açılı, Tip4,  $Lap=30$  mm tek yüzünden tamir edilmiş kompozit levha için yük-uzama değerleri grafikleri

Yapıştırıcı kalınlığı artışıyla her tipte kullanılan her üç numunenin en büyük hasar yükleri birbirine yaklaşmıştır ve hasar yükü yapıştırıcı kalınlığı artışıyla beraber düşmüştür.

Şekil 4.48'de Tip4 çentik tipi ve  $[0^{\circ}]_8$  fiber takviye açılı kompozit levhalar için çift yüzünden tamir edilmiş kompozit levhaların yapıştırıcı kalınlığı değişimine göre yük-uzama değerleri grafikleri sunulmuştur.



**Şekil 4.48.**  $[0^{\circ}]_8$  fiber takviye açılı, Tip4, Lap=30 mm çift yüzünden tamir edilmiş kompozit levha için yük-uzama değerleri grafikleri

Tip4 çift yüz yama uygulaması hasar eğrileri diğer tiplerin hasar eğrilerinden biraz daha farklı davranmıştır. Yapıştırıcı kalınlığı artışıyla her bir tip için kullanılan üçer numunenin hasar eğrileri birbirinden uzaklaşmış ve en büyük hasar yükleri farklılık göstermiştir. Elde edilen sonuçlar farklı tiplerin farklı yapıştırıcı kalınlıklarında farklı hasar ilerleyişi ve davranışının bir göstergesidir.



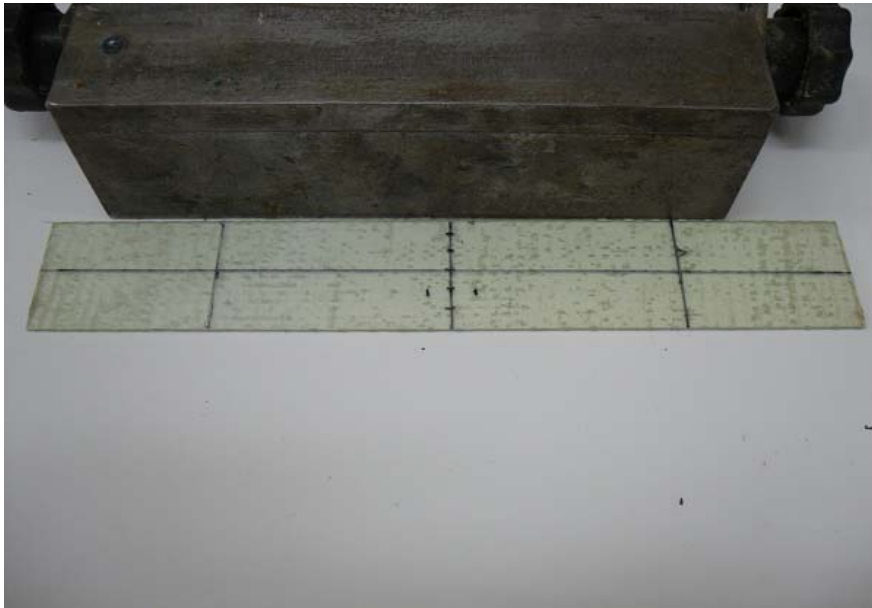
## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

### 5.1. Deney Sonuçlarının Tablo ve Grafiklerle ifadesi

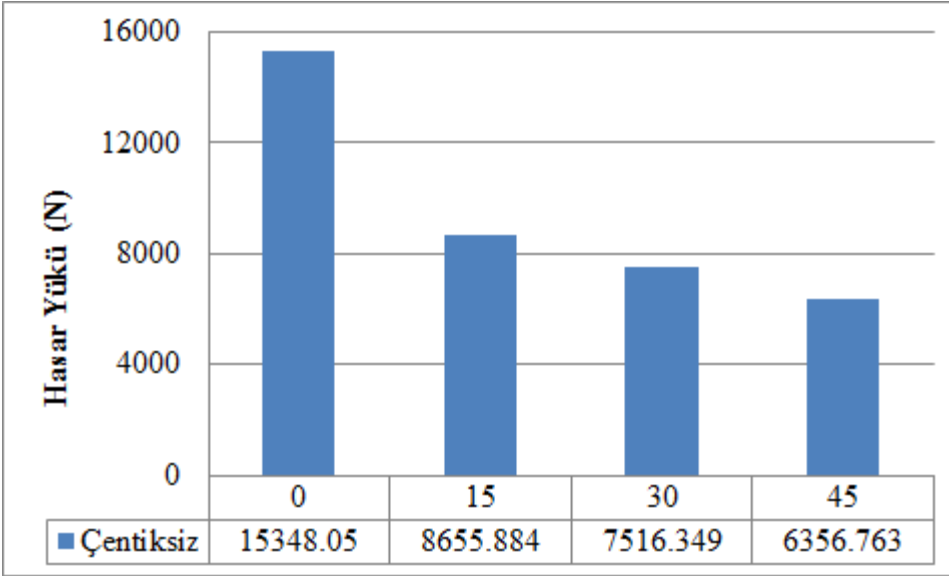
#### 5.1.1. Çentiksiz Numunelerin Hasar Davranışları

Bu bölümde yapıştırıcı bağlantı performansını etkileyen parametrelerin hasar yüküne etkileri grafikler halinde ve birbirlerine göre hasar yüklerindeki yüzdelik artma ve azalma oranları tablolar halinde sunulacaktır. Tablolarda yer alan ifadelerde, “-” değerler tamir sonucu elde edilen hasar yüklerinin çentik açılmamış levhanın hasar yüklerine yaklaşım oranlarını göstermektedir. “+” değerler ise çentikli kompozit levhaların tamir sonucu hasar yüklerinde meydana gelen artış oranlarını ifade etmektedir.

Şekil 5.2’de Çentiksiz levhaların hasar davranışlarının incelenmesiyle çentikli ve yama tamiratu uygulanmış levhaların hasar davranışlarının daha iyi analiz edilmesi sağlanacaktır.



Şekil 5.1.  $[0]_8$  çentiksiz levha



Şekil 5.2.  $[0^\circ]_8$ ,  $[15^\circ]_8$ ,  $[30^\circ]_8$ ,  $[45^\circ]_8$  çentiksiz levhalar için elde edilen hasar yükü değerleri grafiği

Şekil 5.2’de görüldüğü gibi levhadaki fiber takviye açısı arttıkça reçineye daha fazla yük binmekte ve fiberlerin etkisi azaldığından dolayı hasar yükleri düşmektedir. En küçük fiber takviye açısı olan  $[0^\circ]_8$  levha ile en yüksek fiber takviye açısı olan  $[45^\circ]_8$  levha arasında iki katından fazla mukavemet farkı vardır. En büyük hasar yükü  $[0^\circ]_8$  levha için 15348.05 (N) olarak elde edilirken en küçük hasar yükü  $[45^\circ]_8$  levha için 6356.763 (N) olarak elde edilmiştir. Fiber takviye açısının artmasına bağlı olarak levhalarda meydana gelen hasar yüklerinin düşme oranları Tablo 5.1’de sunulmuştur.

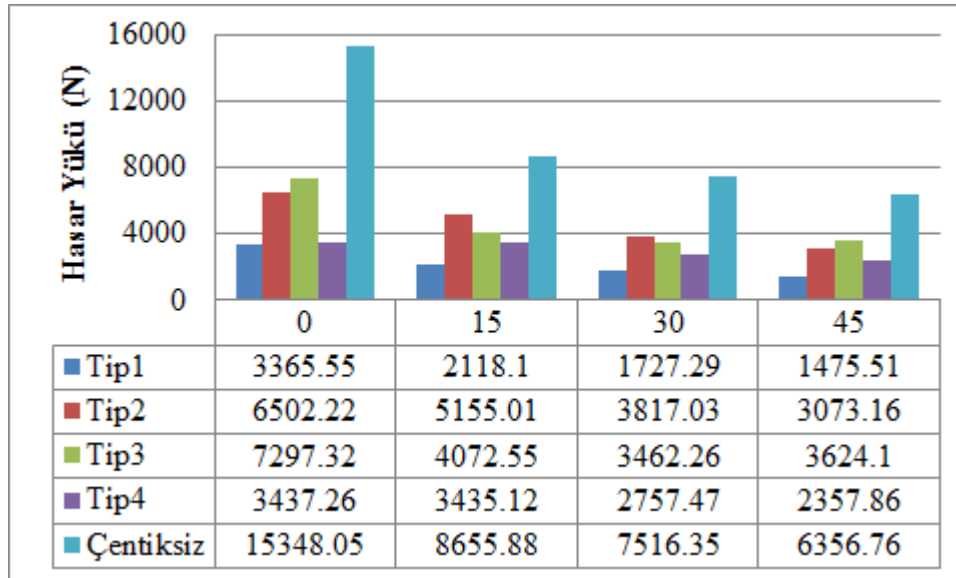
Tablo 5.1. Fiber takviye açısına bağlı olarak levhalarda meydana gelen hasar yüklerinin azalması ( $[0^\circ]_8$  kompozit levhaya göre)

Fiber takviye açısı	$[15^\circ]_8$	$[30^\circ]_8$	$[45^\circ]_8$
Hasar yüklerinin azalması	-%43	-%51	-%58



### 5.1.2. Tamir Edilmemiş Çentikli Levhalarda Hasar Yüklerinin Değişimi

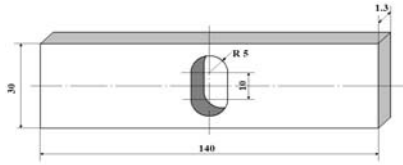
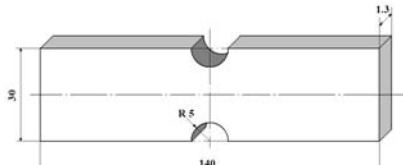
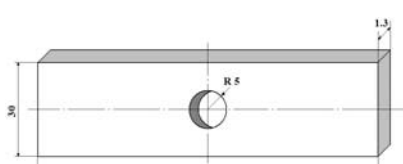
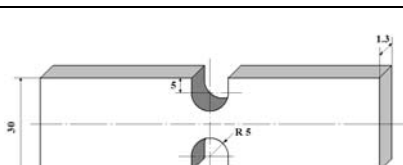
Şekil 5.3'te tamir edilmemiş çentikli kompozit levhaların hasar yüklerinin fiber takviye açısına göre değişimi grafikleri sunulmuştur.



Şekil 5.3.  $[0^\circ]_8$ ,  $[15^\circ]_8$ ,  $[30^\circ]_8$ ,  $[45^\circ]_8$  çentiksiz ve yamasız Tip1,2,3,4, levhalar için elde edilen hasar yükü değerleri grafiği

Şekil 5.3'de yer alan grafikler incelendiğinde, fiber takviye açısının artmasına bağlı olarak hasar yüklerinin azaldığı görülmektedir. En büyük hasar yükü değeri  $[0^\circ]_8$  tabaka dizilimine sahip Tip3 çentik türü için 7297.325 (N) olarak ölçülürken en düşük hasar yükü  $[45^\circ]_8$  tabaka dizilimine sahip Tip1 çentik türü için 1475.506 (N) olarak ölçülmüştür. Tablo 5.2'de kompozit levhalara açılan çentiklerin hasar yükü üzerinde meydana getirdikleri azalma oranları sunulmuştur.

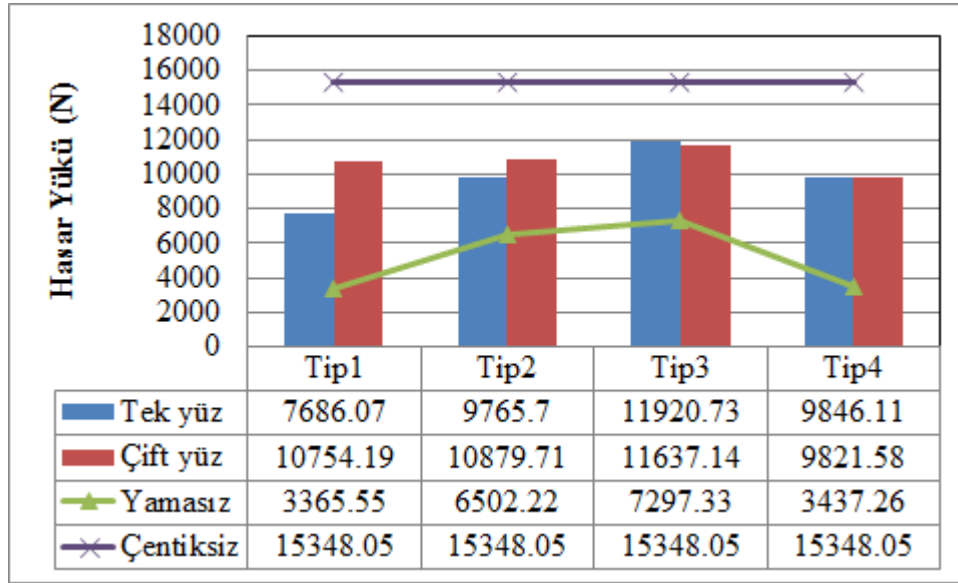
**Tablo 5.2.** Çentikli kompozit levhalarda hasar yüklerinde meydana gelen azalma oranları

Fiber Takviye Açısı [°]					
Çentik Tipi	0°	15°	30°	45°	Şekiller
<b>Tip1</b>	-%78	-%75	-%77	-%76	
<b>Tip2</b>	-%57	-%40	-%49	-%51	
<b>Tip3</b>	-%52	-%53	-%53	-%42	
<b>Tip4</b>	-%77	-%60	-%63	-%62	
+ Hasar yüklerinde artış oranını göstermektedir. -Hasar yüklerinin yaklaşım oranını göstermektedir.					

Tablo 5.2’de kompozit levhaya açılan çentiklerin hasar yükü üzerine % 40 ile % 78 arasında değişen oranda azalmaya neden olduğu görülmektedir. Fiber takviye açısının kendi içerisinde hasar yüklerini azaltmasının yanı sıra çentik tipi değişimi daha etkin bir rol oynamaktadır. Bir genelleme yapıldığında; hasar yüklerinin azalmasına göre Tip1 için tüm fiber takviye açılarında en büyük düşüşü sağlamakta ve hasar yüklerindeki azalmanın %75 ile % 78 arasında değiştiği görülmektedir. Tip4 hasar

yükündeki azalma oranları Tip1’den az olmakla birlikte yakın değerdedir. Hasar yükleri üzerinde ortalama % 50 civarında azalmaya neden olan ise Tip3 çentik tipidir. Tip1 ve Tip4 bütün açılı çeşitlerinde hasar yükünde en büyük kayba uğramışlardır.

### 5.1.3. Hasar Yükünün Fiber Takviye Açısına Göre Değişimi



Şekil 5.4.  $[0^{\circ}]_8$  Tip1,2,3,4 tek yüzünden ve çift yüzünden tamir edilmiş levha için elde edilen hasar yükü değerleri grafiği (Tha=0.4 mm, Lap = 30 mm)

$[0^{\circ}]_8$  numunelerde tek yüz ve çift yüz yama tamiratyyla hasar yükünde artış sağlanmış ama çentiksiz tiplerin hasar yüküne ulaşamamıştır. Tip3 ve Tip4 çift yüz yama tek yüz yamaya kıyasla hasar yükünde artış sağlamamış aksine çift yüz yamayla beraber hasar yükü düşmüştür. Yamasız modellere kıyasla hasar yükünde en büyük artış Tip4 tek yüz yamada sağlanmıştır. En büyük hasar yükü değeri Tip3 çentik türü tek yüz yama uygulaması için 11920.72 (N) olarak ölçülürken en düşük hasar yükü Tip1 çentik türü tek yüz yama uygulaması için 7686.07 (N) olarak ölçülmüştür.  $[0^{\circ}]_8$  numunelerden Şekil 5.4’de görüldüğü gibi çift yüz yama uygulaması çentik tipine göre hasar yükünü düşürebilmektedir. Bu yüzden açılı levhalara kıyasla  $[0^{\circ}]_8$  çift yüz yama seçimi daha dikkatli yapılmalıdır. Çentik tipleri ve yama uygulamalarına bağlı olarak levhalarda meydana gelen hasar yüklerinin düşüşü Tablo 5.3’de sunulmuştur.

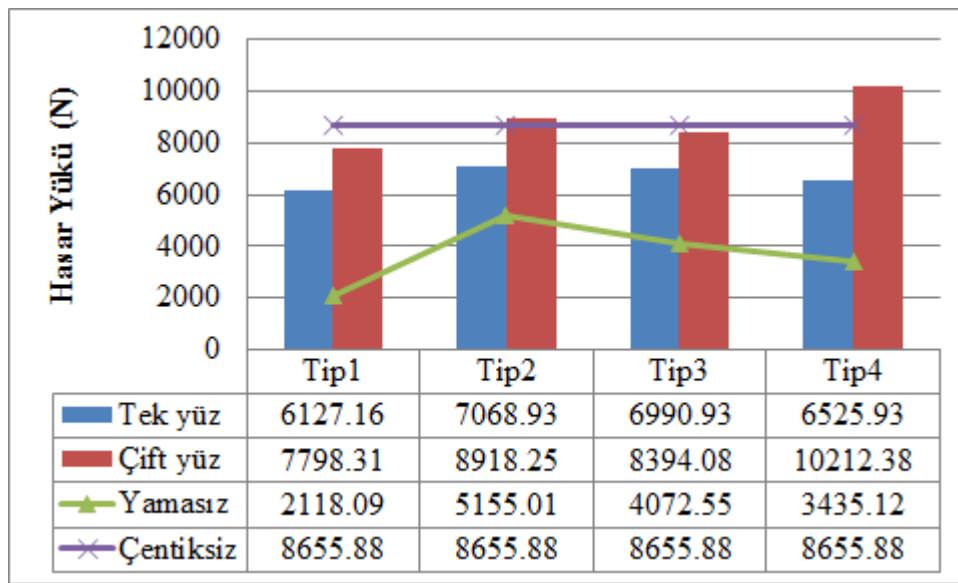
**Tablo 5.3.**  $[0^\circ]_8$  Tip1,2,3,4 tek yüzünden ve çift yüzünden tamir edilmiş levha için elde edilen hasar yükleri artış oranları tablosu ( $T_{ha}=0.4$ , Lap = 30 mm)

Tamir Tipi	Karşılaştırma	Çentik Tipi			
		Tip1	Tip2	Tip3	Tip4
Tek yüzünden tamir edilmiş	Çentiksiz Levhaya göre	-%49	-%36	-%22	-%35
	Çentikli Yamasız Levhaya göre	+%128	+%50	+%63	+%186
Çift yüzünden tamir edilmiş	Çentiksiz Levhaya göre	-%29	-%29	-%24	-%36
	Çentikli Yamasız Levhaya göre	+%219	+%67	+%59	+%185

Tablo 5.3’de tek yüz yama tamiratında çentiksiz levhalara kıyasla hasar yükünde en büyük düşüş oranı Tip1 çentik türü tek yüz yama uygulaması için %49 olarak ölçülürken en küçük düşüş oranı Tip3 çentik türü tek yüz yama uygulaması için % 22 olarak ölçülmüştür. Tek yüz yama tamiratında çentikli levhalara kıyasla hasar yükünde en büyük artış oranı Tip4 çentik türü tek yüz yama uygulaması için %186 olarak ölçülürken en küçük artış oranı Tip2 çentik türü tek yüz yama uygulaması için %50 olarak ölçülmüştür.

Çift yüz yama tamiratında çentiksiz levhalara kıyasla hasar yükünde en büyük düşüş oranı Tip4 çentik türü çift yüz yama uygulaması için %36 olarak ölçülürken en küçük düşüş oranı Tip3 çentik türü tek yüz yama uygulaması için % 24 olarak

ölçülmüştür. Çift yüz yama tamiratında çentikli levhalara kıyasla hasar yükünde en büyük artış oranı Tip1 çentik türü çift yüz yama uygulaması için %219 olarak ölçülürken en küçük artış oranı Tip3 çentik türü tek yüz yama uygulaması için %59 olarak ölçülmüştür. Tip3 tek ve çift yüz yama tamiratında çentiksiz levhaya göre hasar yükünde en düşük oranı vermiştir. Tip3 çift yüz yama uygulamasında ise en düşük artış vermesinin sebebi çentik tipinin konumu ve büyüklüğü sebebiyle çok fazla iyileştirmeye ihtiyaç duymamasıdır.  $[0^{\circ}]_8$  levhalarda Tip1 ve Tip4 yamasız levhalara göre tek ve çift yüz yama uygulamasıyla en büyük hasar yükü artış oranını sağlamıştır.



Şekil 5.5.  $[15^{\circ}]_8$  Tip1,2,3,4 tek yüzünden ve çift yüzünden tamir edilmiş levha için elde edilen hasar yükü değerleri grafiği. (Tha=0.4 mm, Lap = 30 mm)

$[0^{\circ}]_8$  numunelerde çift ve tek yüz yamalı numunelerin en büyük hasar yükleri birbirlerine çok yakındır. Açılı numunelerde ise çift yüz yama en büyük hasar yükünü çok daha fazla arttırmıştır.  $[15^{\circ}]_8$  Tip2 ve Tip4 çift yüz yama en büyük hasar yükü çentiksiz numunelerin üzerine çıkmıştır. Yamasız modellere kıyasla hasar yükünde en büyük artış Tip1’de sağlanmıştır. En büyük hasar yükü değeri Tip4 çift yüz yama uygulaması için 10212.38 (N) olarak ölçülürken en düşük hasar yükü Tip1 tek yüz yama uygulaması için 6127.16 (N) olarak ölçülmüştür. Yama uygulamalarına bağlı olarak levhalarda meydana gelen hasar yüklerinin yüzdelik değişimi Tablo 5.4’de sunulmuştur.

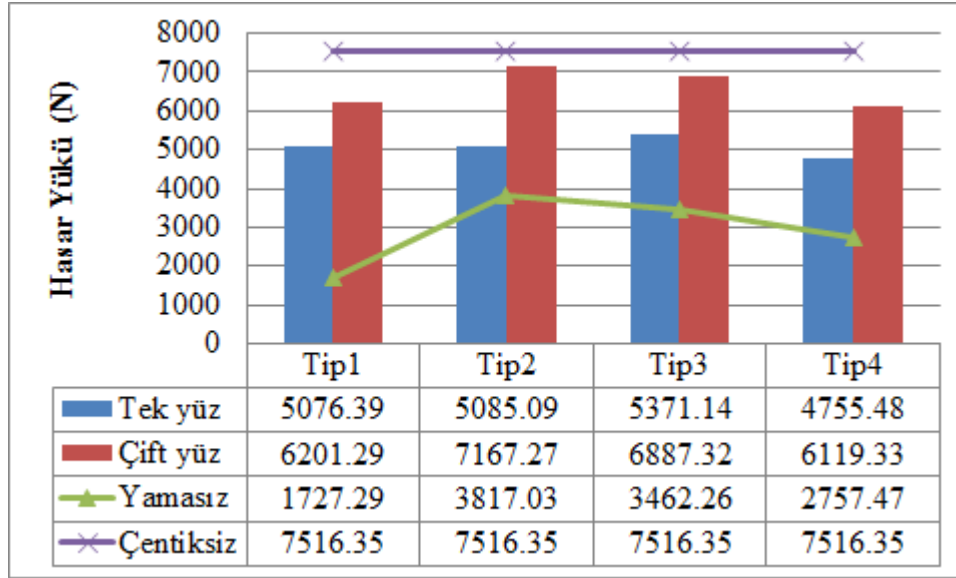
**Tablo 5.4.** [15°]<sub>8</sub> Tip1,2,3,4 tek yüzünden ve çift yüzünden tamir edilmiş levha için elde edilen hasar yükleri artış oranları tablosu (Tha=0.4, Lap = 30 mm)

Tamir Tipi	Karşılaştırma	Çentik Tipi			
		Tip1	Tip2	Tip3	Tip4
Tek yüzünden tamir edilmiş	Çentiksiz Levhaya göre	-% 29	-%18	-%19	-%24
	Çentikli Yamasız Levhaya göre	+% 189	+%37	+%77	+%89
Çift yüzünden tamir edilmiş	Çentiksiz Levhaya göre	-% 9	+%3	-%3	+%17
	Çentikli Yamasız Levhaya göre	+%268	+%72	+%106	+%197

Tablo 5.4’de tek yüz yama tamiratında çentiksiz levhalara kıyasla hasar yükünde en büyük düşüş oranı Tip1 çentik türü tek yüz yama uygulaması için %29 olarak ölçülürken en küçük düşüş oranı Tip2 çentik türü tek yüz yama uygulaması için % 18 olarak ölçülmüştür. Tek yüz yama tamiratında çentikli levhalara kıyasla hasar yükünde en büyük artış oranı Tip1 çentik türü tek yüz yama uygulaması için %189 olarak ölçülürken en küçük artış oranı Tip2 çentik türü tek yüz yama uygulaması için %37 olarak ölçülmüştür.

Çift yüz yama tamiratında çentiksiz levhalara kıyasla hasar yükünde en büyük düşüş oranı Tip1 çentik türü çift yüz yama uygulaması için %9 olarak ölçülmüştür. [15°]<sub>8</sub> levhalarda Tip2ve Tip4 çift yüz yama tamiraty çentiksiz levha hasar yükünü sırasıyla %3, %17 oranlarında aşarak en büyük değerlerine ulaşmıştır. Çift yüz yama tamiratında çentikli levhalara kıyasla hasar yükünde en büyük artış oranı Tip1 çentik

türü çift yüz yama uygulaması için %268 olarak ölçülürken en küçük artış oranı Tip2 çentik türü tek yüz yama uygulaması için %72 olarak ölçülmüştür. Tip1 ve Tip4  $[0^{\circ}]_8$  levhalarda olduğu gibi çentiksiz modellere göre tek ve çift yüz yama ile diğerlerinden daha fazla oranda hasar yükünde artış sağlamıştır.



Şekil 5.6.  $[30^{\circ}]_8$  Tip 1, 2, 3, 4 tek yüzünden ve çift yüzünden tamir edilmiş levha için elde edilen hasar yükü değerleri grafiği. (Tha=0.4, Lap = 30 mm)

Fiber takviye açısı arttıkça çift yüz yamanın en büyük hasar yükünü daha fazla arttırdığı görülmektedir.  $[0^{\circ}]_8$  numunelerde Tip3 ve Tip4'ün çift yüz yamalı modellerinde tek yüz yamaya kıyasla hasar yükünde artış sağlanmazken fiber takviye açısı arttıkça durum değişmektedir. Yamasız modellere göre en büyük artış Tip1 tek ve çift yüzlerde sağlanmıştır. En küçük hasar yükü ise Tip4 tek ve çift yüzlerde gerçekleşmiştir. En büyük hasar yükü değeri Tip2 çift yüz yama uygulaması için 7167.27 (N) olarak ölçülürken en düşük hasar yükü Tip4 tek yüz yama uygulaması için 4755.48 (N) olarak ölçülmüştür. Yama uygulamalarına bağlı olarak levhalarda meydana gelen hasar yüklerinin yüzdelerdeki değişimi Tablo 5.5'de sunulmuştur.

**Tablo 5.5.**  $[30^\circ]_8$  Tip1,2,3,4 tek yüzünden ve çift yüzünden tamir edilmiş levha için elde edilen hasar yükleri artış oranları tablosu. ( $\text{Tha}=0.4$ , Lap = 30 mm)

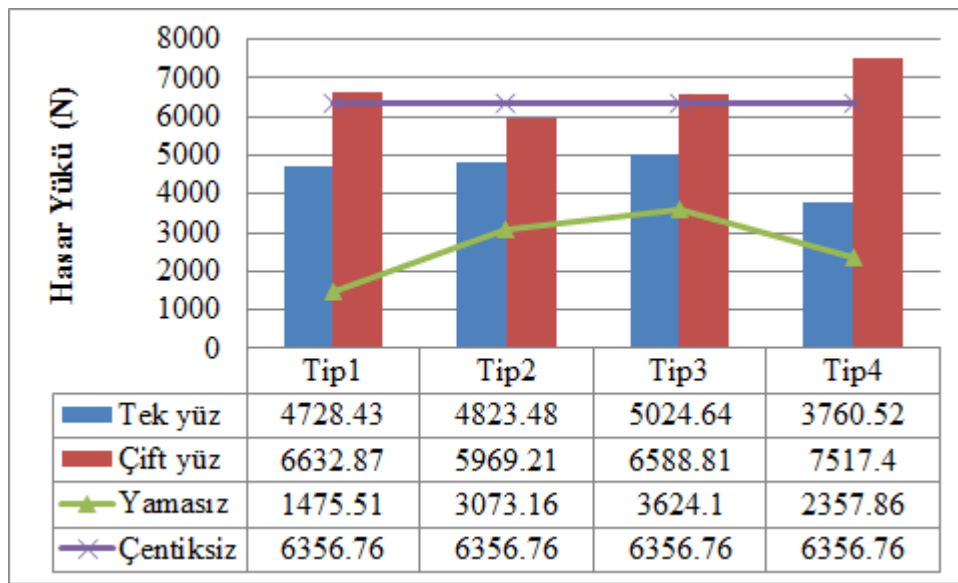
Tamir Tipi	Karşılaştırma	Çentik Tipi			
		Tip1	Tip2	Tip3	Tip4
Tek yüzünden tamir edilmiş	Çentiksiz Levhaya göre	-% 32	-%32	-%28	-%36
	Çentikli Yamasız Levhaya göre	+%193	+%33	+%55	+%72
Çift yüzünden tamir edilmiş	Çentiksiz Levhaya göre	-%17	-%4	-%8	-%18
	Çentikli Yamasız Levhaya göre	+%259	+%87	+%98	+%121

Tablo 5.5’de tek yüz yama tamiratında çentiksiz levhalara kıyasla hasar yükünde en büyük düşüş oranı Tip1 ve Tip2 çentik türü tek yüz yama uygulaması için %32 olarak ölçülürken en küçük düşüş oranı Tip3 çentik türü tek yüz yama uygulaması için % 28 olarak ölçülmüştür. Tek yüz yama tamiratında çentikli levhalara kıyasla hasar yükünde en büyük artış oranı Tip1 çentik türü tek yüz yama uygulaması için %193 olarak ölçülürken en küçük artış oranı Tip2 çentik türü tek yüz yama uygulaması için %33 olarak ölçülmüştür. Tip2 çentik türü tek yüz yama uygulaması  $[15^0]$  levhalarında da en küçük artış oranına sahiptir.

Çift yüz yama tamiratında çentiksiz levhalara kıyasla hasar yükünde en büyük düşüş oranı Tip4 çentik türü çift yüz yama uygulaması için %18 olarak ölçülürken en küçük düşüş oranı Tip2 çentik türü tek yüz yama uygulaması için %4 olarak ölçülmüştür.



Çift yüz yama tamiratında çentikli levhalara kıyasla hasar yükünde en büyük artış oranı Tip1 çentik türü çift yüz yama uygulaması için %259 olarak ölçülürken en küçük artış oranı Tip2 çentik türü tek yüz yama uygulaması için %87 olarak ölçülmüştür. En büyük ve en küçük artış oranları  $[30^0]_8$  levhalarında da Tip1, Tip2 çift yüz yama uygulamalarıdır. Tip1 çentik boyutunun büyük olmasından dolayı çift yüz yama uygulamasıyla en büyük artış oranını sağlamıştır.  $[30^0]_8$  levhalarda en büyük çentik boyutlarına sahip olan Tip1 ve Tip4 yamasız levhalara göre tek ve çift yüz yama uygulamasıyla en büyük hasar yükü artış oranını sağlamıştır.



Şekil 5.7.  $[45^0]_8$  Tip1,2,3,4 tek yüzünden ve çift yüzünden tamir edilmiş levha için elde edilen hasar yükü değerleri grafiği. ( $T_{ha}=0.4$ , Lap = 30 mm)

Tip1 tek ve çift yüz yama uygulamalarıyla çentiksiz numunelere kıyasla hasar yükünü iki katından daha fazla arttırmıştır. Çentiklerin boyutu ve numune üzerindeki yeri  $[0^0]_8$  levhalarında en büyük hasar yükü hakkında yorum yapmamıza imkân sağlarken açılı numunelerde çok daha farklı sonuçlar alındığı gözlemlenmiştir.  $[45^0]_8$ 'de Tip1, Tip3 ve Tip4 en büyük hasar yükleri çentiksiz numune hasar yüklerinin üzerine çıkmıştır. Yamasız modellere kıyasla en büyük hasar yükü artışı Tip1'de görülmüştür. Tip4'de çift yüz yamanın sağladığı hasar yükü artışı bütün numuneler arasında en yüksek değere ulaşmıştır. En büyük hasar yükü değeri Tip4 çift yüz yama uygulaması için 7517.4 (N) olarak ölçülürken en düşük hasar yükü Tip4 tek yüz yama uygulaması

için 3760.52 (N) olarak ölçülmüştür.  $[45^\circ]_8$  levhalarında Tip4 çentik alanının büyük olması ve kenar çentik olmasından dolayı çift yüz yama uygulaması diğerleriyle kıyaslanamayacak şekilde başarılı olmuştur. Yama uygulamalarına bağlı olarak levhalarda meydana gelen hasar yüklerinin yüzdelik değişimi Tablo 5.6’da sunulmuştur.

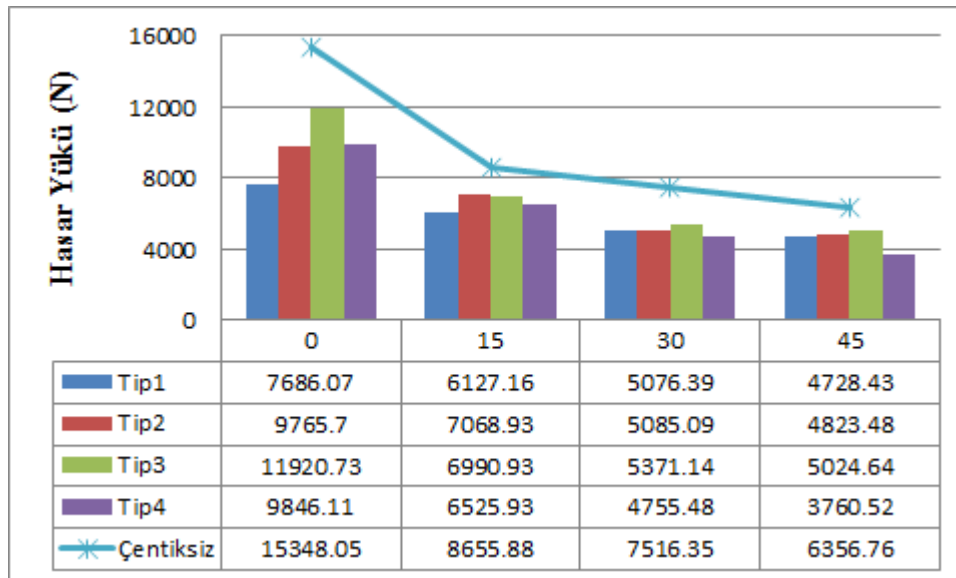
**Tablo 5.6.**  $[45^\circ]_8$  Tip1,2,3,4 tek yüzünden ve çift yüzünden tamir edilmiş levha için elde edilen hasar yükleri artış oranları tablosu (Tha=0.4, Lap = 30 mm)

Tamir Tipi	Karşılaştırma	Çentik Tipi			
		Tip1	Tip2	Tip3	Tip4
Tek yüzünden tamir edilmiş	Çentiksiz Levhaya göre	-% 25	-%24	-%20	-%40
	Çentikli Yamasız Levhaya göre	+%220	+%56	+%38	+%59
Çift yüzünden tamir edilmiş	Çentiksiz Levhaya göre	+% 4	-%6	+%3	+%18
	Çentikli Yamasız Levhaya göre	+%349	+%94	+%81	+%218

Tablo 5.6’da tek yüz yama tamiratında çentiksiz levhalara kıyasla hasar yükünde en büyük düşüş oranı Tip4 çentik türü tek yüz yama uygulaması için %40 olarak ölçülürken en küçük düşüş oranı Tip3 çentik türü tek yüz yama uygulaması için % 20 olarak ölçülmüştür. Tek yüz yama tamiratında çentikli levhalara kıyasla hasar yükünde en büyük artış oranı Tip1 çentik türü tek yüz yama uygulaması için %220 olarak ölçülürken en küçük artış oranı Tip3 çentik türü tek yüz yama uygulaması için %38 olarak ölçülmüştür. Tip3 çentik tipinde öne çıkan durum çentiksiz numunelere göre en

küçük düşüş oranına sahip tipler tek yüz yama tamiratyyla çentikli levhalara göre beraberinde en küçük artış oranını sağlamasıdır.

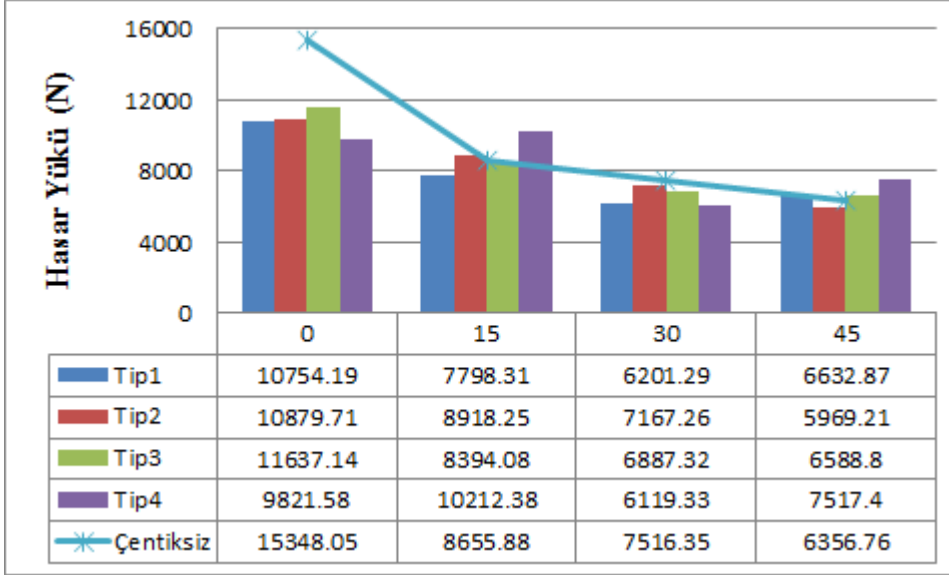
Çift yüz yama tamiratında çentiksiz levhalara kıyasla hasar yükünde en büyük düşüş oranı Tip2 çentik türü çift yüz yama uygulaması için %6 olarak ölçülmüştür.  $[30^0]_8$  levhalarda Tip1, Tip3 ve Tip4 çift yüz yama tamiraty çentiksiz levha hasar yükünü sırasıyla %4, %3 ve %18 oranlarında daha fazla hasar yükü artışı sağlamışlardır. Çift yüz yama tamiratında çentikli levhalara kıyasla hasar yükünde en büyük artış oranı Tip1 çentik türü çift yüz yama uygulaması için %349 olarak ölçülürken en küçük artış oranı Tip3 çentik türü tek yüz yama uygulaması için %81 olarak ölçülmüştür. Tip2 hariç diğer üç çentik tipinin çift yüz yama uygulamalarında çentiksiz levhaların hasar yükü aşılip pozitif oran elde edilmiştir.  $[45^0]_8$  levhalarda Tip1 ve Tip4 diğer açılı levhalarda olduğu gibi yamasız levhalara göre tek ve çift yüz yama uygulamasıyla en büyük hasar yükü artış oranını sağlamıştır.



Şekil 5.8.  $[0^0]_8$ ,  $[15^0]_8$ ,  $[30^0]_8$ ,  $[45^0]_8$  Tek yüz yama uygulanmış Tip1,2,3,4, levhaları için elde edilen en büyük yük değerlerinin karşılaştırılması grafiği

Bütün levhalar içerisinde en büyük hasar yükü değerini  $[0^0]_8$  Tip3; en küçük hasar yükü değerini  $[45^0]_8$  Tip4 vermiştir. Yamasız levhalara en yakın değeri  $[45^0]_8$  Tip3 vermiştir.  $[30^0]_8$  ve  $[45^0]_8$  levhaları tek yüz yama uygulamasıyla yaklaşık olarak hasar yükleri birbirine yaklaşmış ve bütün tiplerin en büyük hasar yükleri benzerlikler göstermiştir. En büyük hasar yükü değeri  $[0^0]_8$  takviye açılı Tip3 tek yüz yama

uygulaması için 11920.73 (N) olarak ölçülürken en düşük hasar yükü  $[45^\circ]_8$  takviye açılı Tip4 tek yüz yama uygulaması için 3760.52 (N) olarak ölçülmüştür.

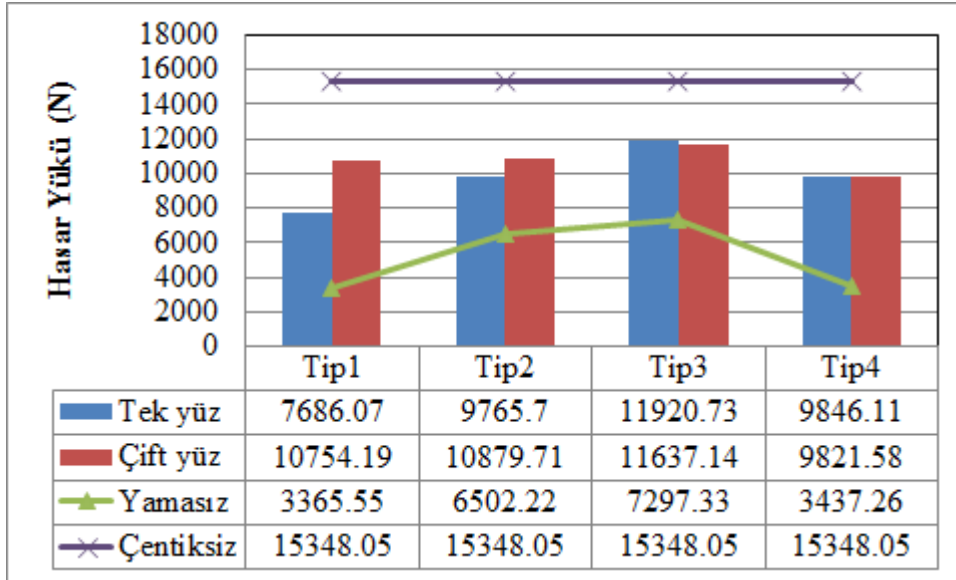


Şekil 5.9.  $[0^\circ]_8$ ,  $[15^\circ]_8$ ,  $[30^\circ]_8$ ,  $[45^\circ]_8$  Çift yüz yama uygulanmış Tip1,2,3,4, levhaları için elde edilen en büyük yük değerlerinin karşılaştırılması grafiği

$[15^\circ]_8$  ve  $[45^\circ]_8$  levhalarında bazı tiplerin en büyük hasar yükleri çift yüz yama uygulamasıyla çentiksiz levha hasar yüklerinin üzerine çıkmıştır.  $[0^\circ]_8$  levhalarında hasar yükü Tip3 hariç çift yüz yama uygulamasıyla artmıştır. Tip3  $[0^\circ]_8$  levhalarında çift yüz yama uygulamasıyla hasar yükü belirgin bir şekilde düşüş göstermiştir. En büyük hasar yükü değeri  $[0^\circ]_8$  tabaka dizilimine sahip Tip3 çentik türü için 11637.14 (N) olarak ölçülürken en düşük hasar yükü  $[45^\circ]_8$  tabaka dizilimine sahip Tip2 çentik türü için 5969.21 (N) olarak ölçülmüştür.

#### 5.1.4. Yama Uzunluğu Değişiminin Hasar Yükü Üzerine Etkisi

Bindirme mesafesi etkilerini net görebilmek için  $[0^\circ]_8$  çentikli levhalara 30mm, 45mm ve 60mm uzunluklarında seçilen yamalar her bir çentik tipine  $T_{ha}=0.4$  mm yama kalınlığı uygulanarak yapıştırılmıştır. Hasar ilerlemesi-uzama grafiklerinde yama boyutlarının tiplere nasıl etki ettikleri, özellikle hasarın nasıl ilerlediği rahatlıkla görülebilmektedir.



Şekil 5.10.  $[0^{\circ}]_8$  Tip1,2,3,4 Tek yüzünden ve çift yüzünden tamir edilmiş levha için elde edilen hasar yükü değerleri grafiği. (Tha=0.4, Lap = 30 mm)

$[0^{\circ}]_8$  levhalarında tek yüz ve çift yüz yama tamiratyyla hasar yükünde artış sağlanmış ama çentiksiz tiplerin hasar yüküne ulaşamamıştır. Tip4 çentik boyutu olarak büyüktür ve tek yüz yamaya kıyasla çift yüz yama tamiratyyla açılı levhalardaki gibi çok büyük bir artış beklenirken tam tersine hasar yükü düşüşle sonuçlanmıştır. En büyük hasar yükü değeri Tip3 tek yüz yama uygulaması için 11920.72 (N) olarak ölçülürken en düşük hasar yükü Tip1 tek yüz yama uygulaması için 7686.07 (N) olarak ölçülmüştür. Yamasız modellere kıyasla hasar yükünde en büyük artış Tip4 tek yüz yama uygulamasında sağlanmıştır.  $[0^{\circ}]_8$  numunelerden şekil 6.3'de görüldüğü gibi çift yüz yama uygulaması çentik tipine göre hasar yükünü düşürebilmektedir. Bu yüzden açılı levhalara kıyasla  $[0^{\circ}]_8$  çift yüz yama seçimi daha dikkatli yapılmalıdır. Yama uygulamalarına bağlı olarak levhalarda meydana gelen hasar yüklerinin yüzdelerik değişimi Tablo 5.7'da sunulmuştur.

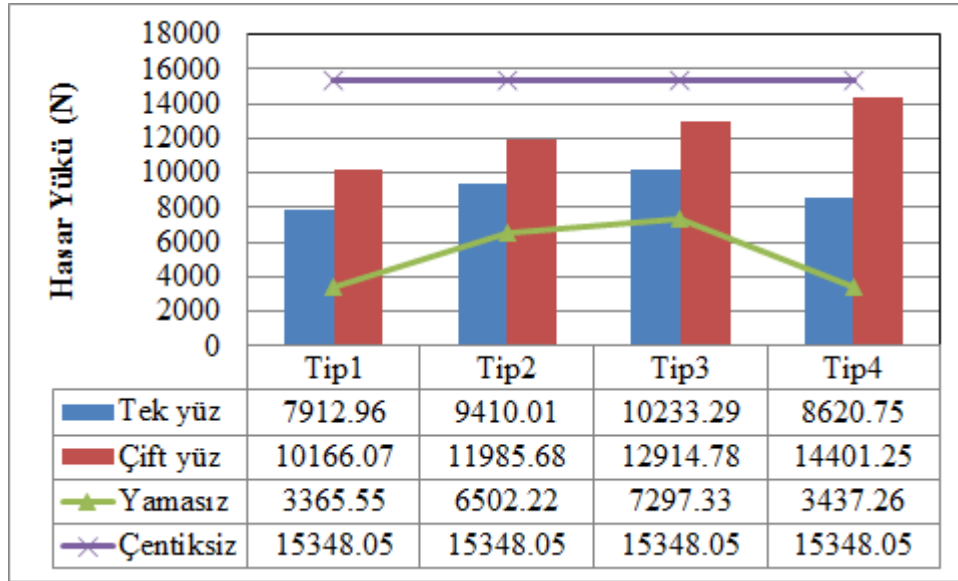
**Tablo 5.7.**  $[0^\circ]_8$  Tip1,2,3,4 tek yüzünden ve çift yüzünden tamir edilmiş levha için elde edilen hasar yükleri artış oranları tablosu.( $Tha=0.4$ , Lap = 30 mm)

Tamir Tipi	Karşılaştırma	Çentik Tipi			
		Tip1	Tip2	Tip3	Tip4
Tek yüzünden tamir edilmiş	Çentiksiz Levhaya göre	-%49	-%36	-%22	-%35
	Çentikli Yamasız Levhaya göre	+%128	+%50	+%63	+%186
Çift yüzünden tamir edilmiş	Çentiksiz Levhaya göre	-%29	-%29	-%24	-%36
	Çentikli Yamasız Levhaya göre	+%219	+%67	+%59	+%185

Tablo 5.7’de tek yüz yama tamiratında çentiksiz levhalara kıyasla hasar yükünde en büyük düşüş oranı Tip1 çentik türü tek yüz yama uygulaması için %49 olarak ölçülürken en küçük düşüş oranı Tip3 çentik türü tek yüz yama uygulaması için % 22 olarak ölçülmüştür. Tek yüz yama tamiratında çentikli levhalara kıyasla hasar yükünde en büyük artış oranı Tip4 çentik türü tek yüz yama uygulaması için %186 olarak ölçülürken en küçük artış oranı Tip2 çentik türü tek yüz yama uygulaması için %50 olarak ölçülmüştür.

Çift yüz yama tamiratında çentiksiz levhalara kıyasla hasar yükünde en büyük düşüş oranı Tip4 çentik türü çift yüz yama uygulaması için %36 olarak ölçülürken en küçük düşüş oranı Tip3 çentik türü tek yüz yama uygulaması için % 24 olarak

ölçülmüştür. Çift yüz yama tamiratında çentikli levhalara kıyasla hasar yükünde en büyük artış oranı Tip1 çentik türü çift yüz yama uygulaması için %219 olarak ölçülürken en küçük artış oranı Tip3 çentik türü tek yüz yama uygulaması için %59 olarak ölçülmüştür. Fiber takviye açılarının değişmesine rağmen Tip1 çift yüz yama uygulaması çentiksiz numunelere kıyasla en yüksek artış oranını vermiştir.



Şekil 5.11.  $[0^{\circ}]_8$  Tip1,2,3,4 tek yüzünden ve çift yüzünden tamir edilmiş levha için elde edilen hasar yükü değerleri grafiği. (Tha=0.4, Lap = 45 mm)

Tip1 ve Tip4 çift ve tek yüz yama uygulamaları yamasız modellere kıyasla hasar yükünü iki katından daha fazla oranda arttırmıştır. Farklı yama boyutu uygulamaları hasar yükünü çentiksiz modellerin hasar yüküne çıkaramamıştır ancak en yakın değeri Tip4 çift yüz yama uygulaması sağlamıştır. Yamasız modellere kıyasla Tip1 ve Tip4 tek ve çift yüz yama uygulaması hasar yükünü iki katından daha fazla oranda arttırmıştır. En büyük hasar yükü değeri Tip4 çift yüz yama uygulaması için 14401.25 (N) olarak ölçülürken en düşük hasar yükü Tip1 tek yüz yama uygulaması için 7912.96 (N) olarak ölçülmüştür. Yama uygulamalarına bağlı olarak levhalarda meydana gelen hasar yüklerinin yüzdelik değişimi Tablo 5.8'de sunulmuştur.

**Tablo 5.8.**  $[0^\circ]_8$  Tip1,2,3,4 tek yüzünden ve çift yüzünden tamir edilmiş levha için elde edilen hasar yükleri artış oranları tablosu.( $T_{ha}=0.4$ , Lap = 45 mm)

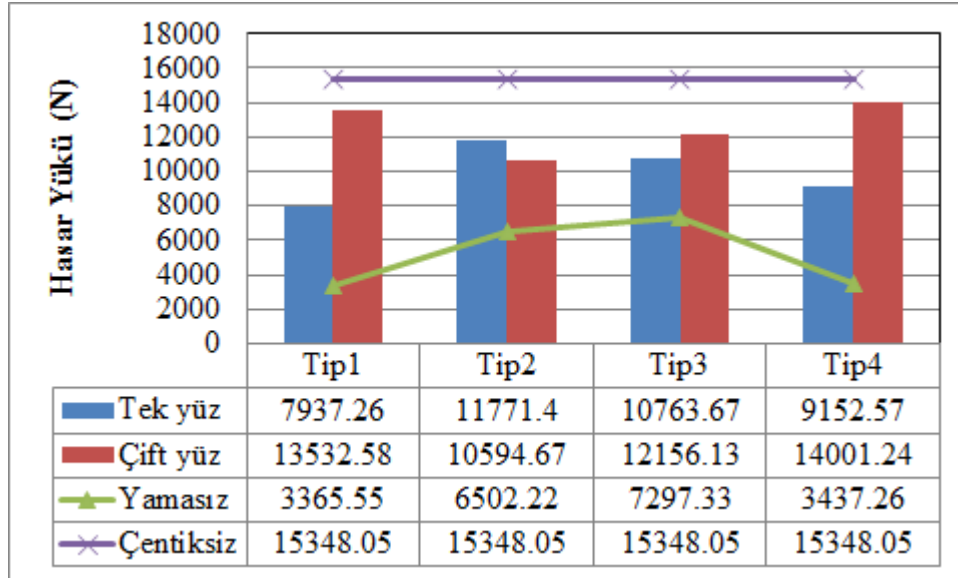
Tamir Tipi	Karşılaştırma	Çentik Tipi			
		Tip1	Tip2	Tip3	Tip4
Tek yüzünden tamir edilmiş	Çentiksiz Levhaya göre	-% 48	-%38	-%33	-%43
	Çentikli Yamasız Levhaya göre	+% 135	+%44	+%40	+%150
Çift yüzünden tamir edilmiş	Çentiksiz Levhaya göre	-% 33	-%21	-%15	-%90
	Çentikli Yamasız Levhaya göre	+%202	+%84	+%76	+%318

Tablo 5.8’de tek yüz yama tamiratında çentiksiz levhalara kıyasla hasar yükünde en büyük düşüş oranı Tip1 çentik türü tek yüz yama uygulaması için %48 olarak ölçülürken en küçük düşüş oranı Tip3 çentik türü tek yüz yama uygulaması için % 33 olarak ölçülmüştür. Tiplerin bu sonuçları 30 mm yamadaki sonuçlarla aynıdır. Tek yüz yama tamiratında çentikli levhalara kıyasla hasar yükünde en büyük artış oranı Tip4 çentik türü tek yüz yama uygulaması için %150 olarak ölçülürken en küçük artış oranı Tip3 çentik türü tek yüz yama uygulaması için %40 olarak ölçülmüştür.

Çift yüz yama tamiratında çentiksiz levhalara kıyasla hasar yükünde en büyük düşüş oranı Tip4 çentik türü çift yüz yama uygulaması için %90 olarak ölçülürken en küçük düşüş oranı Tip3 çentik türü tek yüz yama uygulaması için %15 olarak



ölçülmüştür. Çift yüz yama tamiratında çentikli levhalara kıyasla hasar yükünde en büyük artış oranı Tip4 çentik türü çift yüz yama uygulaması için %318 olarak ölçülürken en küçük artış oranı Tip3 çentik türü tek yüz yama uygulaması için %76 olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.12.  $[0^\circ]_8$  Tip1,2,3,4 tek yüzünden ve çift yüzünden tamir edilmiş levha için elde edilen hasar yükü değerleri grafiği. (Tha=0.4, Lap = 60 mm)

Tip2 çift yüz yama uygulaması en büyük hasar yükünü tek yüz yama uygulamasının aşağısına çekmiştir. Yamasız modellere göre hasar yükünde en büyük artış Tip4 de; en düşük artış Tip3’de elde edilmiştir. Tip1 ve Tip4 yama uygulamaları yamasız modellere kıyasla hasar yükünü iki katından daha fazla oranda arttırmıştır. En büyük hasar yükü değeri Tip4 çift yüz yama uygulaması için 14401.24 (N) olarak ölçülürken en düşük hasar yükü Tip1 tek yüz yama uygulaması için 7937.26 (N) olarak ölçülmüştür. Yama uygulamalarına bağlı olarak levhalarda meydana gelen hasar yüklerinin yüzdelik değişimi Tablo 5.9’da sunulmuştur.

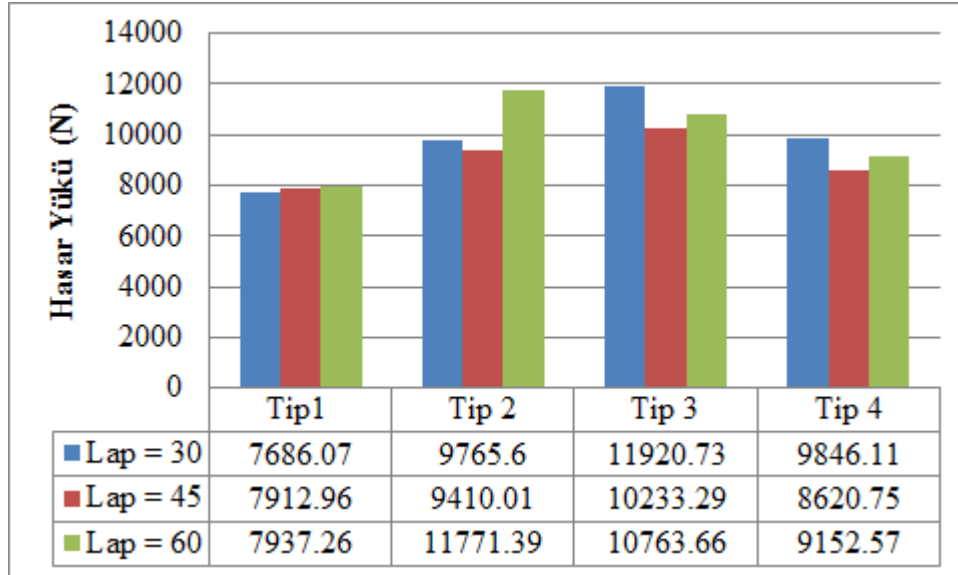
**Tablo 5.9.**  $[0^\circ]_8$  Tip1,2,3,4 tek yüzünden ve çift yüzünden tamir edilmiş levha için elde edilen hasar yükleri artış oranları tablosu.( $Tha=0.4$ , Lap = 60 mm)

Tamir Tipi	Karşılaştırma	Çentik Tipi			
		Tip1	Tip2	Tip3	Tip4
Tek yüzünden tamir edilmiş	Çentiksiz Levhaya göre	-% 48	-%23	-%29	-%40
	Çentikli Yamasız Levhaya göre	+% 135	+%81	+%47	+%166
Çift yüzünden tamir edilmiş	Çentiksiz Levhaya göre	-% 118	-%30	-%20	-%90
	Çentikli Yamasız Levhaya göre	+%302	+%62	+%66	+%307

Tablo 5.9’da tek yüz yama tamiratında çentiksiz levhalara kıyasla hasar yükünde en büyük düşüş oranı Tip1 çentik türü tek yüz yama uygulaması için %48 olarak ölçülürken en küçük düşüş oranı Tip2 çentik türü tek yüz yama uygulaması için % 23 olarak ölçülmüştür. Tek yüz yama tamiratında çentikli levhalara kıyasla hasar yükünde en büyük artış oranı Tip4 çentik türü tek yüz yama uygulaması için %166 olarak ölçülürken en küçük artış oranı Tip3 çentik türü tek yüz yama uygulaması için %47 olarak ölçülmüştür.

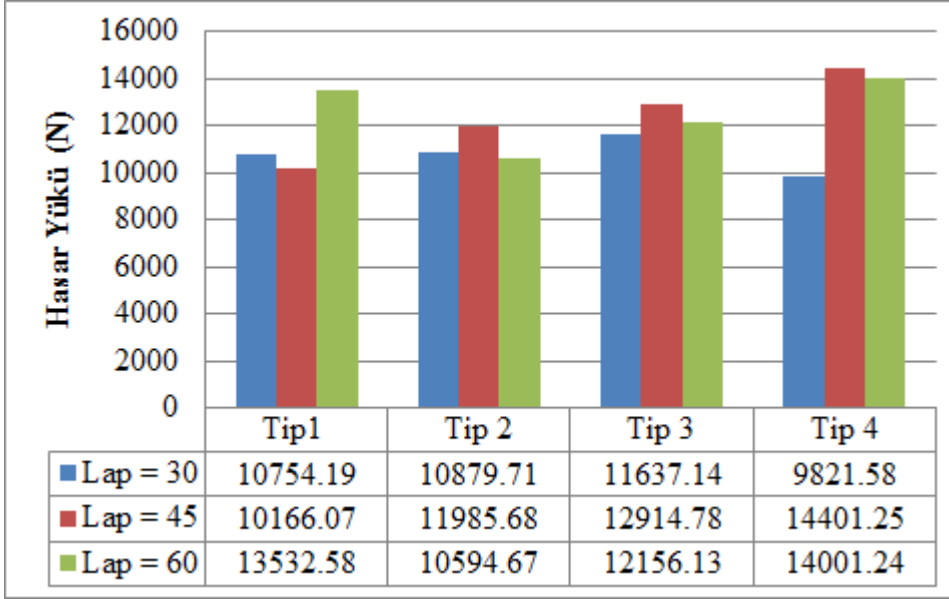
Çift yüz yama tamiratında çentiksiz levhalara kıyasla hasar yükünde en büyük düşüş oranı Tip1 çentik türü çift yüz yama uygulaması için %118 olarak ölçülürken en küçük düşüş oranı Tip3 çentik türü tek yüz yama uygulaması için %20 olarak

ölçülmüştür. Çift yüz yama tamiratında çentikli levhalara kıyasla hasar yükünde en büyük artış oranı Tip4 çentik türü çift yüz yama uygulaması için %307 olarak ölçülürken en küçük artış oranı Tip2 çentik türü tek yüz yama uygulaması için %62 olarak ölçülmüştür.



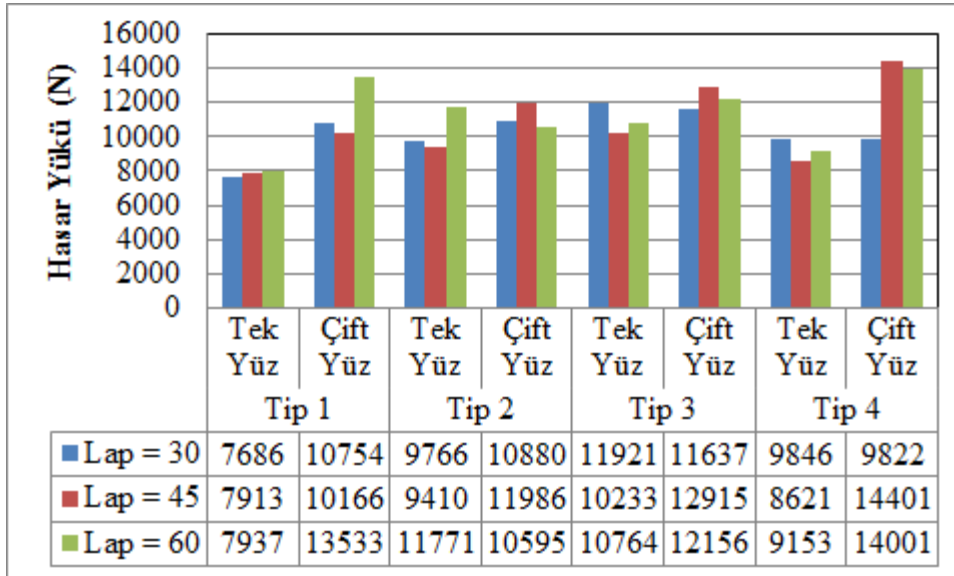
Şekil 5.13.  $[0^{\circ}]_8$  Tip1,2,3,4 Tek yüzünden tamir edilmiş levha için Lap=30, Lap=45 ve Lap=60 mm yama boyutlarının hasar yükü üzerine etkisi grafiği (Tha=0.4mm)

Tip3 ve Tip4'lerde yama boyutunun artışıyla hasar yükü düşmüştür. Tip1 de ise hasar yükünde çok küçük bir artış sağlanmıştır. Lap=60 mm yama uygulaması Lap=45 mm yama uygulamasına kıyasla daha yüksek hasar yükü özelliği göstermiştir. Bütün yama parametreleri kıyaslandığında Tip3 Lap=30 mm uygulaması çentik boyutunun küçük ve merkezi olmasından dolayı en büyük hasar yükünü sağlamıştır. En büyük hasar yükü değeri Tip3 Lap=30 mm için 11920.73 (N) olarak ölçülürken en düşük hasar yükü Tip1 Lap=30 mm için 7686.0 (N) olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.14.  $[0^{\circ}]_8$  Tip1,2,3,4 Çift yüzünden tamir edilmiş levha için Lap=30, Lap=45 ve Lap=60 mm yama boyutlarının hasar yükü üzerine etkisi grafiği.( $T_h=0.4\text{mm}$ )

En büyük hasar yükü artışı Lap= 30 mm uygulamalarına kıyasla Tip4 Lap=45 mm uygulamasında, en büyük düşüş ise Tip1 Lap=45 mm uygulamasında görülmüştür. Bir tek Tip2 Lap=60 mm uygulaması ve Tip1 Lap=45 mm uygulaması hasar yükünü Lap=30 mm uygulamalarının altına düşürmüştür. Büyük yama kullanımı en fazla Tip4’de hasar yükünü arttırmıştır. En büyük hasar yükü değeri Tip4 Lap=45 mm için 14401.25 (N) olarak ölçülürken en düşük hasar yükü Tip4 Lap=30 mm için 9821.58 (N) olarak ölçülmüştür. Genel olarak çift yüzlerde Lap=45 mm yama uygulaması daha başarılı olmuştur.



Şekil 5.15.  $[0^{\circ}]_8$  Tip1,2,3,4 tek yüzünden ve çift yüzünden tamir edilmiş levha için yama uzunluğunun hasar yükü üzerine etkisi grafiği.(Tha=0.4mm)

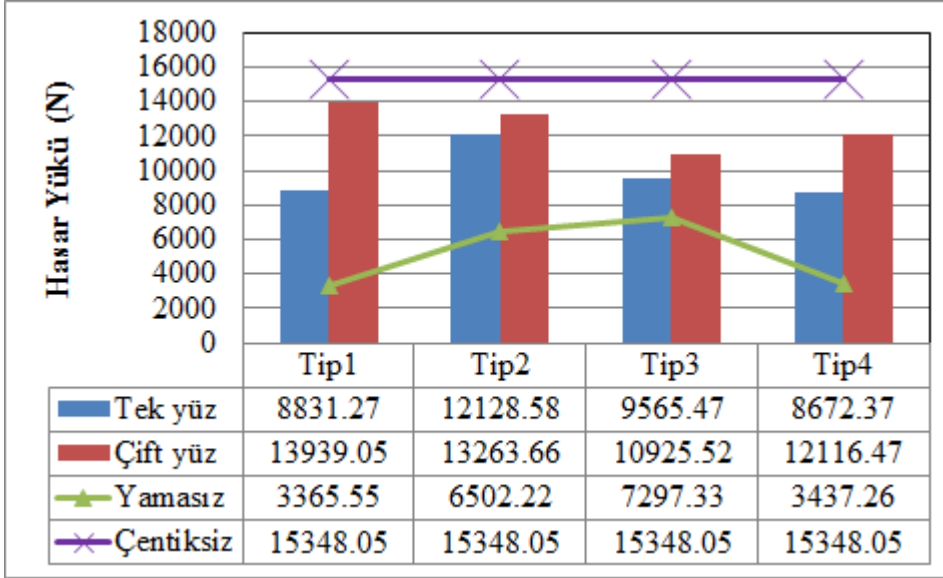
Tip1 ve Tip4’de sırasıyla çentiğin büyük olması ve çentiğin kenarda olmasından kaynaklı çift yüz yama boyut etkisi daha başarılıdır ve bu yüzden bu tip çentiklerde daha büyük yama kullanımı çift yüz olacak şekilde tavsiye edilebilir. En büyük hasar yükü değeri Tip4 Lap=45 mm için 14401 (N) olarak ölçülürken en düşük hasar yükü Tip1 Lap=30 mm için 7686 (N) olarak ölçülmüştür.

Tip3 ve Tip4’de tek yüz yama uygulamalarında en büyük hasar yükü Lap=30 mm yama kullanılan numunelerde görülmüştür. Tip1 tek yüzlerde yama boyutunun artması biraz daha olumlu sonuçlar vermiştir. Tek yüzlerde Lap=60 mm yama uygulaması Lap=45 mm yama uygulamasına göre daha verimli, Lap=30 mm yama uygulamasına göre daha verimsizdir. Çift yüzlerde ise tam tersi Lap=45 mm yama uygulamaları Lap=60 mm yama uygulamalarından daha verimlidir. Tek yüz yama uygulamalarına kıyasla eğer büyük boyutta yama işlemi yapılacaksa çift yüz olarak uygulamanın daha verimli olacağı görülmektedir.

### 5.1.5. Yapıştırıcı Kalınlığının Değişiminin Hasar Yükü Üzerine Etkisi

Yapıştırıcı kalınlığı her tip için ayrı etkiye sahiptir. Genel olarak en büyük hasar yüklerini değerlendirdiğimiz zaman yapıştırıcı kalınlığının sağladığı fayda 0.2 mm’den 1mm’ye yükseldikçe düşmektedir.

Çift yüz yamalarda soyulma genelde bir yamada başlayıp, daha sonra diğer yamaya atladığından hasar eğrisinde ani hasar düşüşlerini görmekteyiz. Ama bu hasarlardan sonra hasar yükü artmamış sadece hasarın tam oluşmasından önce görsel bilgi vermiştir.



Şekil 5.16.  $[0^0]_8$  Tip1,2,3,4 tek yüzünden ve çift yüzünden tamir edilmiş levha için yapıştırıcı kalınlığının hasar yükü üzerine etkisi grafiği. ( $T_{ha} = 0.2$  mm,  $Lap = 30$  mm)

Şekil 5.16'da en düşük yapıştırıcı kalınlığı olan 0.2 mm'lik yapıştırıcı uygulayarak tek ve çift yüzünden yama ile tamir edilmiş çentikli levhaların hasar yükleri görülmektedir. Tip3 haricinde diğer üç tip numunede hasar yükü bakımından iki katından fazla bir performans elde edilmiştir. Bunun da sebebi çentiğin küçük ve yerleşim olarak numunenin tam ortasında olmasından dolayı diğer çentik tipleri kadar yoğun iyileştirmeye ihtiyaç duymamasıdır. 0.2 mm yapıştırıcı kalınlığı verimli olmasına rağmen çentiksiz levhaların mukavemetini geçememiştir. En büyük hasar yükü değeri Tip1 çift yüz yama uygulaması için 13939.05 (N) olarak ölçülürken en düşük hasar yükü Tip4 tek yüz yama uygulaması için 8672.37 (N) olarak ölçülmüştür. 0.2 mm yapıştırıcı kalınlığı uygulamalarına bağlı olarak levhalarda meydana gelen hasar yüklerinin yüzdelik değişimi Tablo 5.8'de sunulmuştur.

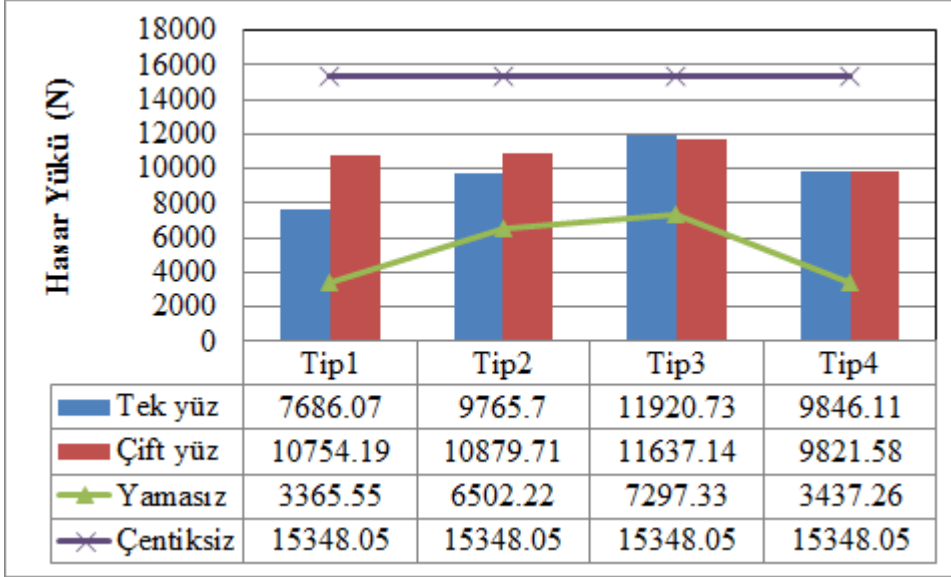
**Tablo 5.10.**  $[0^\circ]_8$  Tip1,2,3,4 tek yüzünden ve çift yüzünden tamir edilmiş levha için elde edilen hasar yükleri artış oranları tablosu.(Tha=0.2, Lap = 30 mm)

Tamir Tipi	Karşılaştırma	Çentik Tipi			
		Tip1	Tip2	Tip3	Tip4
Tek yüzünden tamir edilmiş	Çentiksiz Levhaya göre	-% 42	-%20	-%37	-%43
	Çentikli Yamasız Levhaya göre	+%162	+%86	+%31	+%152
Çift yüzünden tamir edilmiş	Çentiksiz Levhaya göre	-% 9	-%13	-%28	-%21
	Çentikli Yamasız Levhaya göre	+%314	+%103	+%49	+%252

Tablo 5.10'da tek yüz yama tamiratında çentiksiz levhalara kıyasla hasar yükünde en büyük düşüş oranı Tip4 çentik türü tek yüz yama uygulaması için %47 olarak ölçülürken en küçük düşüş oranı Tip3 çentik türü tek yüz yama uygulaması için %37 olarak ölçülmüştür. Tek yüz yama tamiratında çentikli levhalara kıyasla hasar yükünde en büyük artış oranı Tip1 çentik türü tek yüz yama uygulaması için %162 olarak ölçülürken en küçük artış oranı Tip3 çentik türü tek yüz yama uygulaması için %31 olarak ölçülmüştür.

Çift yüz yama tamiratında çentiksiz levhalara kıyasla hasar yükünde en büyük düşüş oranı Tip3 çentik türü çift yüz yama uygulaması için %28 olarak ölçülürken en küçük düşüş oranı Tip1 çentik türü tek yüz yama uygulaması için %9 olarak ölçülmüştür. Çift yüz yama tamiratında çentikli levhalara kıyasla hasar yükünde en büyük artış oranı

Tip1 çentik türü çift yüz yama uygulaması için %314 olarak ölçülürken en küçük artış oranı Tip3 çentik türü tek yüz yama uygulaması için %49 olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.17.  $[0^{\circ}]_8$  Tip1,2,3,4 tek yüzünden ve çift yüzünden tamir edilmiş levha için yapıştırıcı kalınlığının hasar yükü üzerine etkisi grafiği. (Tha= 0.4 mm, Lap=30 mm)

En büyük hasar yükü değeri Tip3 tek yüz yama uygulaması için 11920.73 (N) olarak ölçülürken en düşük hasar yükü Tip4 çift yüz yama uygulaması için 9821.58 (N) olarak ölçülmüştür. 0.4 mm yapıştırıcı kalınlığı uygulamalarına bağlı olarak levhalarda meydana gelen hasar yüklerinin yüzdelik değişimi Tablo 5.12’de sunulmuştur.



**Tablo 5.11.**  $[0^\circ]_8$  Tip1,2,3,4 tek yüzünden ve çift yüzünden tamir edilmiş levha için elde edilen hasar yükleri artış oranları tablosu.( $T_{ha}=0.4$ , Lap = 30 mm)

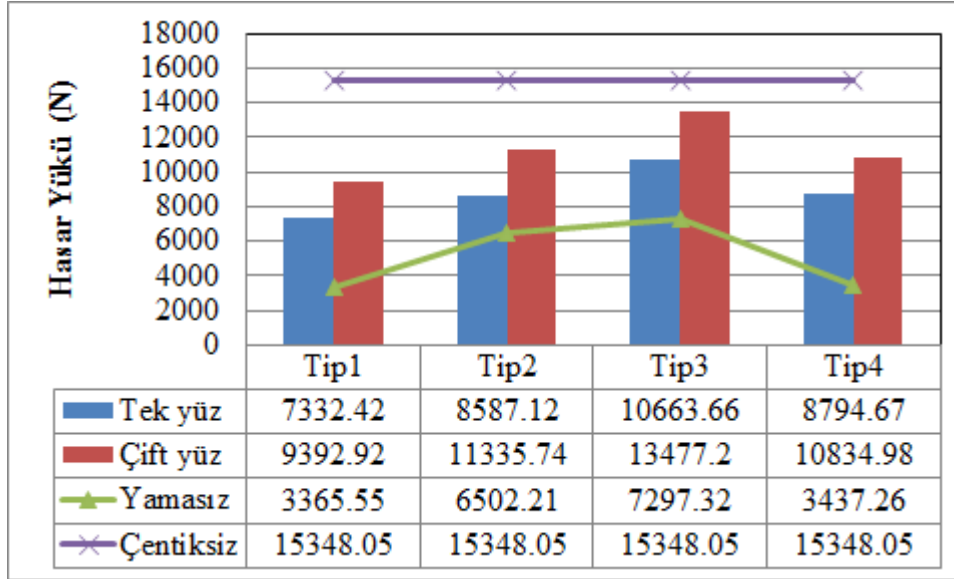
Tamir Tipi	Karşılaştırma	Çentik Tipi			
		Tip1	Tip2	Tip3	Tip4
Tek yüzünden tamir edilmiş	Çentiksiz Levhaya göre	-% 49	-%36	-%22	-%35
	Çentikli Yamasız Levhaya göre	+% 128	+%50	+%63	+%186
Çift yüzünden tamir edilmiş	Çentiksiz Levhaya göre	-% 29	-%29	-%24	-%36
	Çentikli Yamasız Levhaya göre	+%219	+%67	+%59	+%185

Tablo 5.11’de tek yüz yama tamiratında çentiksiz levhalara kıyasla hasar yükünde en büyük düşüş oranı Tip1 çentik türü tek yüz yama uygulaması için %49 olarak ölçülürken en küçük düşüş oranı Tip3 çentik türü tek yüz yama uygulaması için %22 olarak ölçülmüştür. Tek yüz yama tamiratında çentikli levhalara kıyasla hasar yükünde en büyük artış oranı Tip4 çentik türü tek yüz yama uygulaması için %186 olarak ölçülürken en küçük artış oranı Tip2 çentik türü tek yüz yama uygulaması için %50 olarak ölçülmüştür.

Çift yüz yama tamiratında çentiksiz levhalara kıyasla hasar yükünde en büyük düşüş oranı Tip4 çentik türü çift yüz yama uygulaması için %36 olarak ölçülürken en küçük düşüş oranı Tip3 çentik türü tek yüz yama uygulaması için %24 olarak ölçülmüştür. Çift yüz yama tamiratında çentikli levhalara kıyasla hasar yükünde en

büyük artış oranı Tip1 çentik türü çift yüz yama uygulaması için %219 olarak ölçülürken en küçük artış oranı Tip1 çentik türü tek yüz yama uygulaması için %21 olarak ölçülmüştür.

Tip1 ve Tip4 tek ve çift yüz yama uygulamalarında yamasız modellere göre hasar yükünde iki katından fazla artış sağlanmıştır.



Şekil 5.18.  $[0^0]_8$  Tip1,2,3,4 tek yüzünden ve çift yüzünden tamir edilmiş levha için yapıştırıcı kalınlığının hasar yükü üzerine etkisi grafiği. (Tha= 0.6 mm, Lap=30 mm)

Tha=0.6 mm yapıştırıcı kalınlıklarında çift yüz yama uygulaması tek yüze kıyasla hasar yükünü daha fazla miktarda arttırmıştır. Tip1 ve Tip4 tek ve çift yüz yama uygulamaları yamasız modellere göre hasar yükünde iki katından fazla artış sağlamışlardır. Yamasız modellere göre en düşük artış Tip2’de gerçekleşmiştir. En büyük hasar yükü değeri Tip3 çift yüz yama uygulaması için 13477.200 (N) olarak ölçülürken en düşük hasar yükü Tip1 tek yüz yama uygulaması için 7332.420 (N) olarak ölçülmüştür. Tha=0.6 mm yapıştırıcı kalınlığı uygulamalarına bağlı olarak levhalarda meydana gelen hasar yüklerinin yüzdelik değişimi Tablo 5.13’de sunulmuştur.

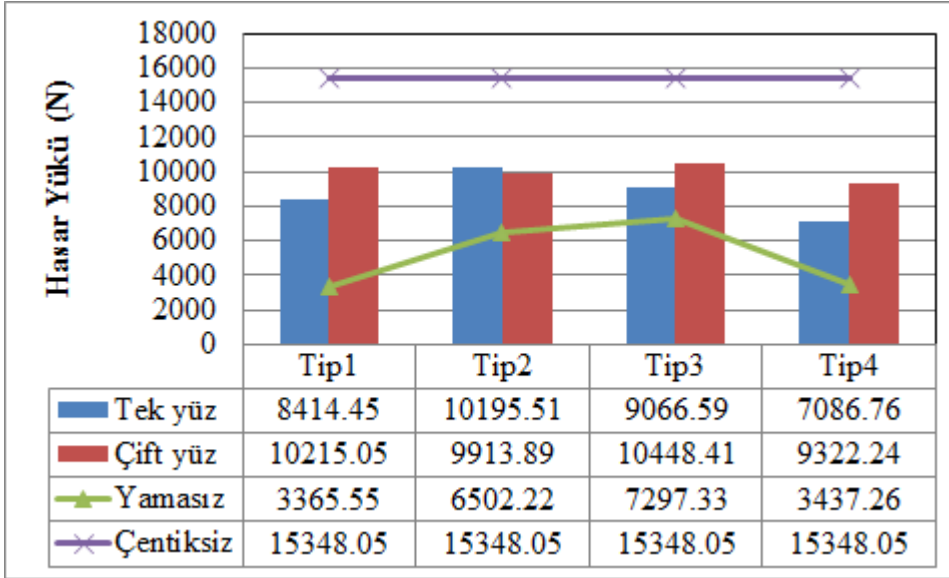
**Tablo 5.12.**  $[0^\circ]_8$  Tip1,2,3,4 tek yüzünden ve çift yüzünden tamir edilmiş levha için elde edilen hasar yükleri artış oranları tablosu.( $T_{ha}=0.6$ , Lap = 30 mm)

Tamir Tipi	Karşılaştırma	Çentik Tipi			
		Tip1	Tip2	Tip3	Tip4
Tek yüzünden tamir edilmiş	Çentiksiz Levhaya göre	-%52	-%44	-%30	-%42
	Çentikli Yamasız Levhaya göre	+% 117	+%32	+%46	+%155
Çift yüzünden tamir edilmiş	Çentiksiz Levhaya göre	-% 38	-%26	-%12	-%32
	Çentikli Yamasız Levhaya göre	+%179	+%74	+%84	+%215

Tablo 5.12’de tek yüz yama tamiratında çentiksiz levhalara kıyasla hasar yükünde en büyük düşüş oranı Tip1 çentik türü tek yüz yama uygulaması için %52 olarak ölçülürken en küçük düşüş oranı Tip3 çentik türü tek yüz yama uygulaması için % 30 olarak ölçülmüştür. Tek yüz yama tamiratında çentikli levhalara kıyasla hasar yükünde en büyük artış oranı Tip1 çentik türü tek yüz yama uygulaması için %117 olarak ölçülürken en küçük artış oranı Tip2 çentik türü tek yüz yama uygulaması için %32 olarak ölçülmüştür.

Çift yüz yama tamiratında çentiksiz levhalara kıyasla hasar yükünde en büyük düşüş oranı Tip1 çentik türü çift yüz yama uygulaması için %38 olarak ölçülürken en küçük düşüş oranı Tip3 çentik türü tek yüz yama uygulaması için %12 olarak ölçülmüştür. Çift yüz yama tamiratında çentikli levhalara kıyasla hasar yükünde en

büyük artış oranı Tip1 çentik türü çift yüz yama uygulaması için %179 olarak ölçülürken en küçük artış oranı Tip2 çentik türü tek yüz yama uygulaması için %74 olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.19.  $[0^8]$  Tip1,2,3,4 tek yüzünden ve çift yüzünden tamir edilmiş levha için yapıştırıcı kalınlığının hasar yükü üzerine etkisi grafiği.( $T_{ha}= 0.8$  mm, Lap=30 mm)

En büyük hasar yükü değeri Tip3 çift yüz yama uygulaması için 10448.41 (N) olarak ölçülürken en düşük hasar yükü Tip4 tek yüz yama uygulaması için 3437.26 (N) olarak ölçülmüştür. 0.8 mm yapıştırıcı kalınlığı uygulamalarına bağlı olarak levhalarda meydana gelen hasar yüklerinin yüzdelik değişimi Tablo 5.14'de sunulmuştur.

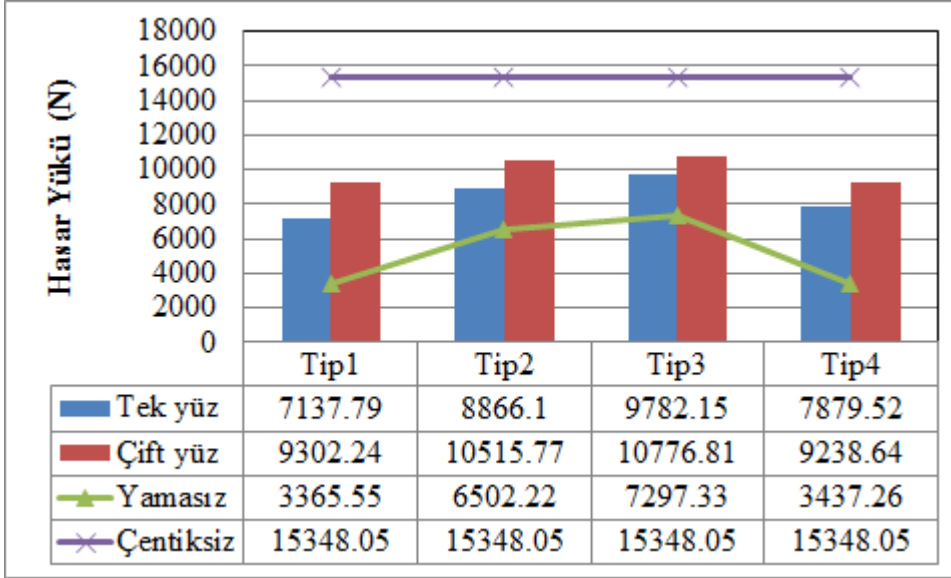
**Tablo 5.13.**  $[0^\circ]_8$  Tip1,2,3,4 tek yüzünden ve çift yüzünden tamir edilmiş levha için elde edilen hasar yükleri artış oranları tablosu.( $T_{ha}=0.8$ , Lap = 30 mm)

Tamir Tipi	Karşılaştırma	Çentik Tipi			
		Tip1	Tip2	Tip3	Tip4
Tek yüzünden tamir edilmiş	Çentiksiz Levhaya göre	-% 45	-%33	-%40	-%53
	Çentikli Yamasız Levhaya göre	+% 150	+%56	+%24	+%106
Çift yüzünden tamir edilmiş	Çentiksiz Levhaya göre	-% 33	-%35	-%40	-%39
	Çentikli Yamasız Levhaya göre	+%203	+%52	+%43	+%171

Tablo 5.13’de tek yüz yama tamiratında çentiksiz levhalara kıyasla hasar yükünde en büyük düşüş oranı Tip4 çentik türü tek yüz yama uygulaması için %53 olarak ölçülürken en küçük düşüş oranı Tip2 çentik türü tek yüz yama uygulaması için % 33 olarak ölçülmüştür. Tek yüz yama tamiratında çentikli levhalara kıyasla hasar yükünde en büyük artış oranı Tip1 çentik türü tek yüz yama uygulaması için %150 olarak ölçülürken en küçük artış oranı Tip3 çentik türü tek yüz yama uygulaması için %24 olarak ölçülmüştür.

Çift yüz yama tamiratında çentiksiz levhalara kıyasla hasar yükünde en büyük düşüş oranı Tip3 çentik türü çift yüz yama uygulaması için %40 olarak ölçülürken en küçük düşüş oranı Tip1 çentik türü tek yüz yama uygulaması için % 33 olarak ölçülmüştür. Çift yüz yama tamiratında çentikli levhalara kıyasla hasar yükünde en

büyük artış oranı Tip1 çentik türü çift yüz yama uygulaması için %203 olarak ölçülürken en küçük artış oranı Tip3 çentik türü tek yüz yama uygulaması için %43 olarak ölçülmüştür. Tip1 ve Tip4 tek ve çift yüz yama uygulamalarında yamasız modellere göre hasar yükünde iki katından fazla artış sağlamıştır.



Şekil 5.20.  $[0^0]_8$  Tip1,2,3,4 tek yüzünden ve çift yüzünden tamir edilmiş levha için yapıştırıcı kalınlığının hasar yükü üzerine etkisi grafiği (Tha= 1.0 mm, Lap=30 mm)

1 mm'lik yapıştırıcı kalınlığında 0.2 mm'ye göre iyileştirme oldukça düşüktür. 0.2 mm en büyük hasar yükünün elde edildiği yapıştırıcı kalınlığıdır. Yapıştırıcı kalınlığı arttıkça hasar yükü düşmektedir. En büyük hasar yükü değeri Tip3 çift yüz yama uygulaması için 10776.81 (N) olarak ölçülürken en düşük hasar yükü değeri Tip1 tek yüz yama uygulaması için 3365.55 (N) olarak ölçülmüştür. 1 mm yapıştırıcı kalınlığı uygulamalarına bağlı olarak levhalarda meydana gelen hasar yüklerinin yüzdelerik değişimi Tablo 5.15'de sunulmuştur.

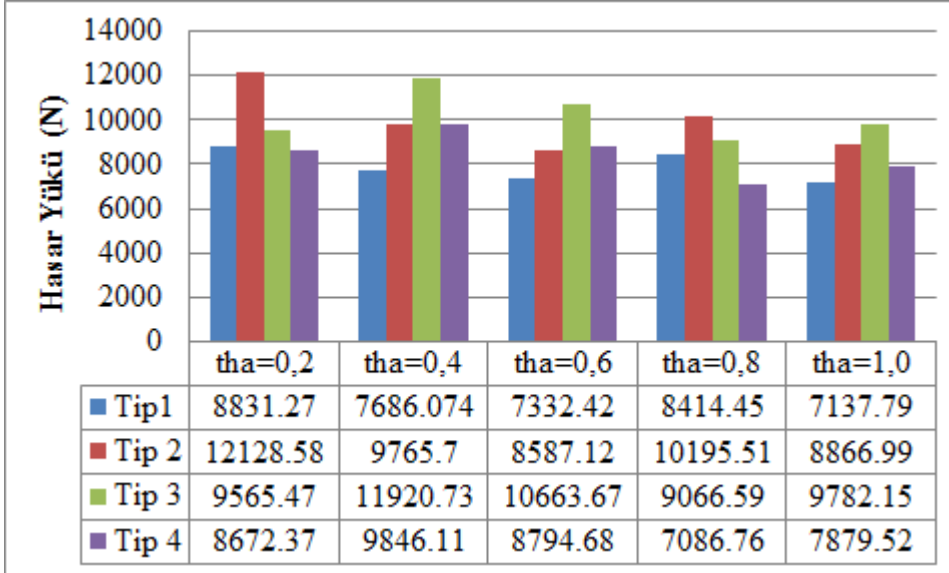
**Tablo 5.14.**  $[0^\circ]_8$  Tip1,2,3,4 tek yüzünden ve çift yüzünden tamir edilmiş levha için elde edilen hasar yükleri artış oranları tablosu.(Tha=1.0, Lap = 30 mm)

Tamir Tipi	Karşılaştırma	Çentik Tipi			
		Tip1	Tip2	Tip3	Tip4
Tek yüzünden tamir edilmiş	Çentiksiz Levhaya göre	-% 53	-%42	-%36	-%48
	Çentikli Yamasız Levhaya göre	+% 112	+%36	+%34	+%129
Çift yüzünden tamir edilmiş	Çentiksiz Levhaya göre	-% 39	-%31	-%29	-%39
	Çentikli Yamasız Levhaya göre	+%176	+%61	+%47	+%168

Tablo 5.14’de tek yüz yama tamiratında çentiksiz levhalara kıyasla hasar yükünde en büyük düşüş oranı Tip1 çentik türü tek yüz yama uygulaması için %53 olarak ölçülürken en küçük düşüş oranı Tip3 çentik türü tek yüz yama uygulaması için % 36 olarak ölçülmüştür. Tek yüz yama tamiratında çentikli levhalara kıyasla hasar yükünde en büyük artış oranı Tip4 çentik türü tek yüz yama uygulaması için %129 olarak ölçülürken en küçük artış oranı Tip3 çentik türü tek yüz yama uygulaması için %34 olarak ölçülmüştür.

Çift yüz yama tamiratında çentiksiz levhalara kıyasla hasar yükünde en büyük düşüş oranı Tip1 ve Tip4 çentik türü çift yüz yama uygulaması için %39 olarak ölçülürken en küçük düşüş oranı Tip3 çentik türü tek yüz yama uygulaması için % 29

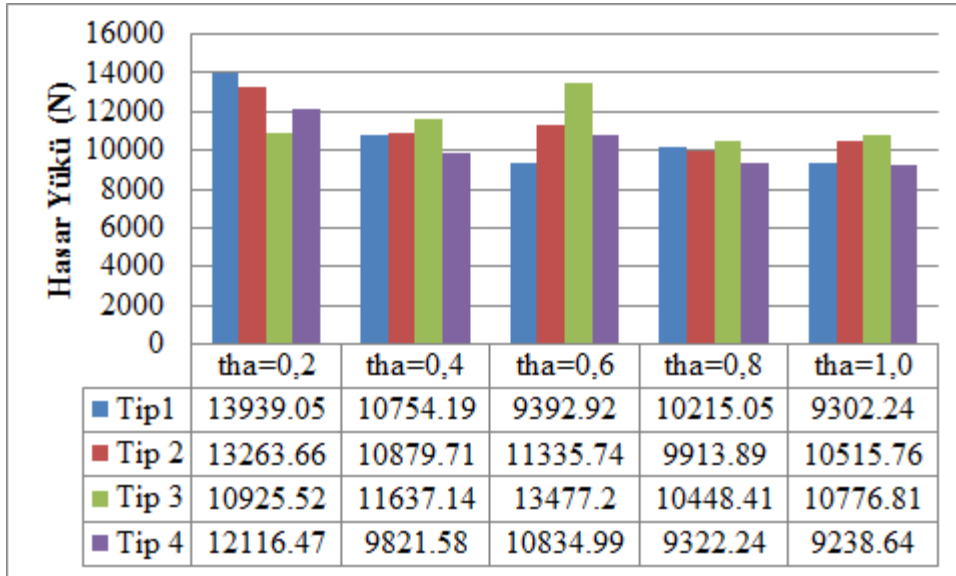
olarak ölçülmüştür. Çift yüz yama tamiratında çentikli levhalara kıyasla hasar yükünde en büyük artış oranı Tip1 çentik türü çift yüz yama uygulaması için %176 olarak ölçülürken en küçük artış oranı Tip3 çentik türü tek yüz yama uygulaması için %47 olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.21.  $[0^0]_8$  Tip1,2,3,4 Tek yüzünden tamir edilmiş levhalar için yapıştırıcı kalınlığı değişiminin hasar yükü üzerine etkisi grafiği. (Lap=30 mm)

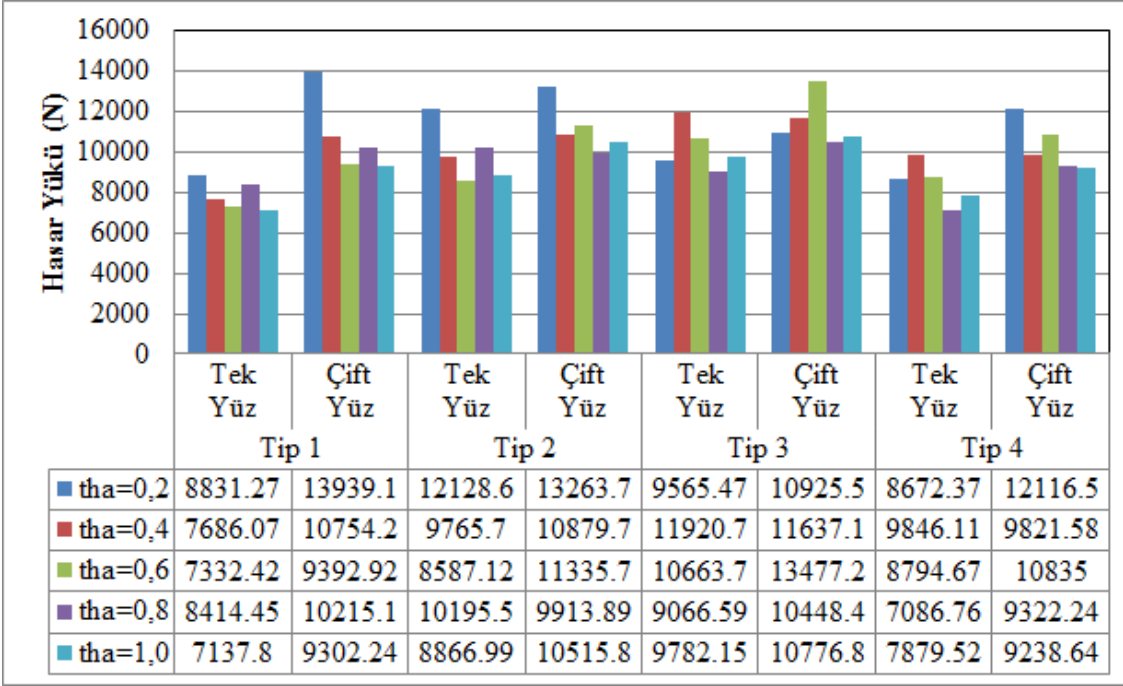
Tek yüz yama uygulamalarında yapıştırıcı kalınlığının artışıyla hasar yükleri düşmüştür. Tip3 ve Tip4 Tha=0.2 mm'den Tha=0.4 mm'ye çıktığında hasar yükü artmış ve en büyük değerine ulaşmıştır. Tip1 ve Tip2 Tha=0.2 mm yapıştırıcı kalınlığında en büyük hasar yüküne ulaşmıştır. En küçük hasar yükü Tip4 Tha=0.8 mm'de; en büyük hasar yükü Tip2 Tha=0.2 mm'de görülmüştür. Her tipin hasar yükleri ortalaması düşünüldüğünde en büyük hasar yükü Tha=0.4 mm'de; en düşük hasar yükü Tha=1.0 mm'de görülmüştür. Tha=0.2 mm ve Tha=0.4 mm uygulamaları arasındaki hasar yükü farkı 4 N gibi küçük bir değerdedir. Yani tek yüz yama uygulamasında Tha=0.2 mm veya Tha=0.4 mm olmasının hasar yükü üzerinde çok etkili olmadığını söyleyebiliriz. En büyük hasar yükü değeri Tip2 Tha=0.2 mm tek yüz yama uygulaması için 12128.58 (N) olarak ölçülürken en düşük hasar yükü Tip4 Tha=0.8 mm tek yüz yama uygulaması için 7086.76 (N) olarak ölçülmüştür.





Şekil 5.22.  $[0^0]_8$  Tip1,2,3,4 çift yüzünden tamir edilmiş levhalar için yapıştırıcı kalınlığı değişiminin hasar yükü üzerine etkisi grafiği. (Lap=30 mm)

Çift yüz yama uygulamalarında yapıştırıcı kalınlığının artışıyla hasar yükünde düşüş görülmüştür. Bütün tiplerin hasar yüklerinin ortalama değeri  $Tha=0.8$  mm'de en düşük;  $Tha=0.2$  mm'de en yüksek değerdedir. Yapıştırıcı kalınlığının artışıyla diğer tiplere kıyasla Tip3 hasar yükü daha az düşüş göstermiştir. Yani Tip3 uygulamasının çentik şekli ve konumundan dolayı iyileştirmeye daha az ihtiyaç duymasından dolayı yapıştırıcı kalınlığı artışının olumsuz etkisi daha az görülmüştür. Tip1 yama boyutu büyük olduğundan dolayı çift yüz yama ve  $Tha=0.2$  mm yapıştırıcı kalınlığı uygulaması en büyük hasar yükünü sağlamıştır. En büyük hasar yükü değeri Tip1  $Tha=0.2$  mm çift yüz yama uygulaması için 13939.05 (N) olarak ölçülürken en düşük hasar yükü Tip1 çift yüz yama uygulaması için 9302.24 (N) olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.23.  $[0^8]$  Tip1,2,3,4 tek yüzünden ve çift yüzünden tamir edilmiş levha için yapıştırıcı kalınlığının hasar yükü üzerine etkisi grafiği. (Lap=30 mm)

Yapıştırıcı kalınlığı düşüğü çift yüz yama uygulamalarında avantajdır. Düşük yapıştırıcı kalınlığı iyi gerilme transferi demektir. Buna rağmen yapıştırıcı hasarı riskini arttırmaktadır.[34] Bütün yapıştırıcı kalınlığı parametrelerinde Tip1 ve Tip4 tek ve çift yüz yama uygulamaları yamasız modellere kıyasla hasar yüklerinde iki katından fazla artış sağlamıştır. En büyük hasar yükü değeri Tip1 Tha=0.2 mm çift yüz yama uygulaması için 13939.1 (N) olarak ölçülürken en düşük hasar yükü Tip4 Tha=0.8 mm tek yüz yama uygulaması için 7086.76 (N) olarak ölçülmüştür.

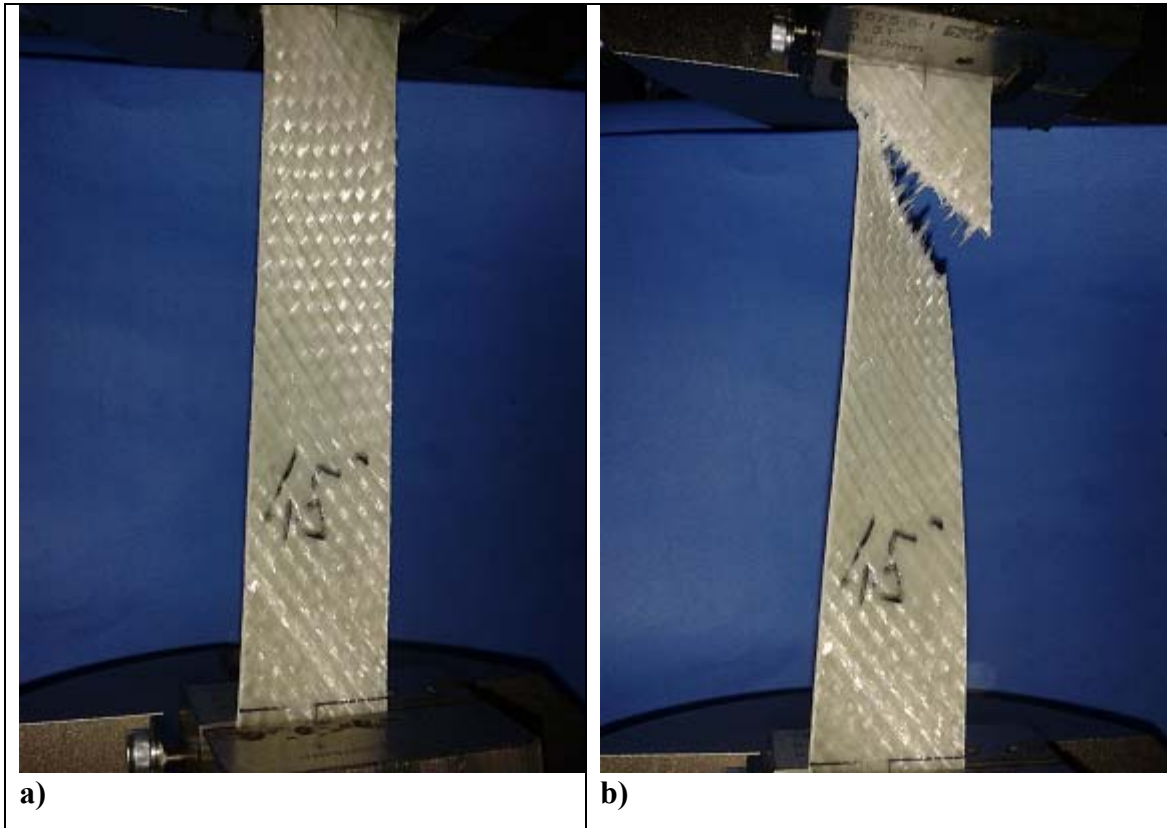
Yapıştırıcı kalınlığı tek ve çift yüzleri birbirlerine yakın şekilde etkilemiştir. Genel olarak grafiklere bakıldığında yapıştırıcı kalınlığı arttıkça tek ve çift yüz yamalı numunelerin en büyük hasar yüklerindeki düşüş görülebilmektedir. Aynı zamanda yapıştırıcı kalınlığı artışıyla beraber tek ve çift yüzünden yamaların en büyük hasar yükleri birbirlerine yaklaşmaktadır.

Bütün tiplerin Tha=0.2 mm ve Tha=0.4 mm yapıştırıcı kalınlığında çift yüz yama tamiratının tek yüze kıyasla hasar yükü performansı daha fazla artarken Tha=1.0 mm'lik yapıştırıcı kalınlığına gidildikçe çift yüzlerin hasar yüklerindeki iyileştirme oranı düşüş göstermektedir.

Tip1 çentik tipini ele alırsak en iyi performans  $T_{ha}=0.2$  mm, en kötü performans  $T_{ha}=1.0$  mm'de elde edilmiştir. Tip1 yama boyutu olarak büyüktür ve iyileştirmeye çok fazla ihtiyaç duyan çentik tiplerinden biridir. Bundan dolayı yapıştırıcı kalınlığı etkisi Tip1 çentik tipini daha fazla etkilemiştir.

## 5.2. Deneysel Çalışma Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve Öneriler

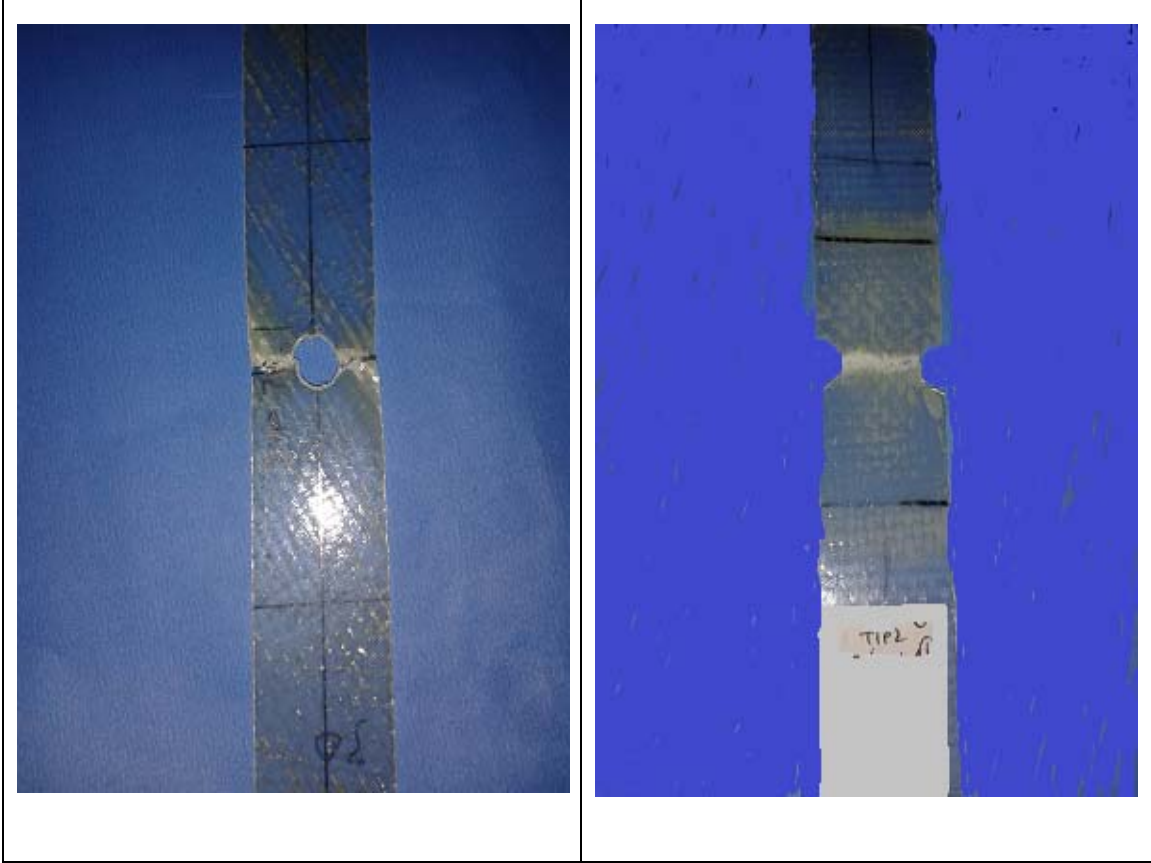
Fiber takviye açısı arttıkça levhalara uygulanan çekme yüküyle beraber tam kopma öncesi renk ve şekil değişimi başlamaktadır. Şekil 5.25'de görüldüğü gibi  $[45^{\circ}]_8$  çentiksiz levha fiberlerinde kırılma olmaksızın reçine tamamen şekil değiştirip ayrılmış ve bu şekil değişimi fiber açısı yönünde gerçekleşmiştir. Reçine ve fiberler birbirinden tamamen ayrılıp uzama sonlandığında fiberler kırılmakta ve hasar sonlanmaktadır.



Şekil 5.24.  $[45^{\circ}]_8$  çentiksiz levhaların a) Hasara uğradığı andaki b) Tam kırılma sonrası görüntüleri.

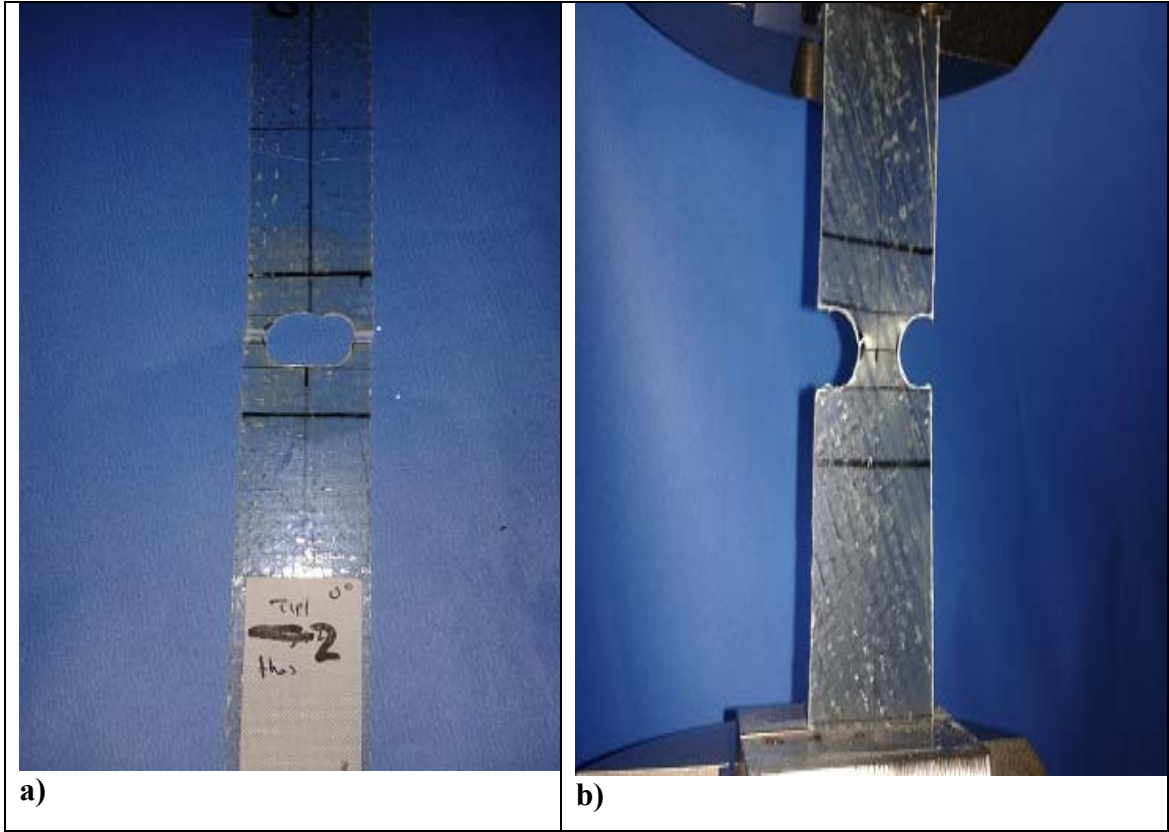
Fiber takviye açısının kendi içerisinde hasar yüklerini azaltmasının yanı sıra çentik tipi değişimi daha etkin bir rol oynamaktadır.

Tip2 ve Tip3 çentik alanı olarak eşit fakat farklı konumlarından dolayı farklı hasar yüklerine ulaşmışlardır. Tip3 merkezi çentik olduğundan bu levhaların hasar yükleri Tip2'den daha yüksektir. Şekil 5.24'de yamasız Tip3 ve Tip2 levhaların hasar sonrası fotoğrafları görülmektedir.



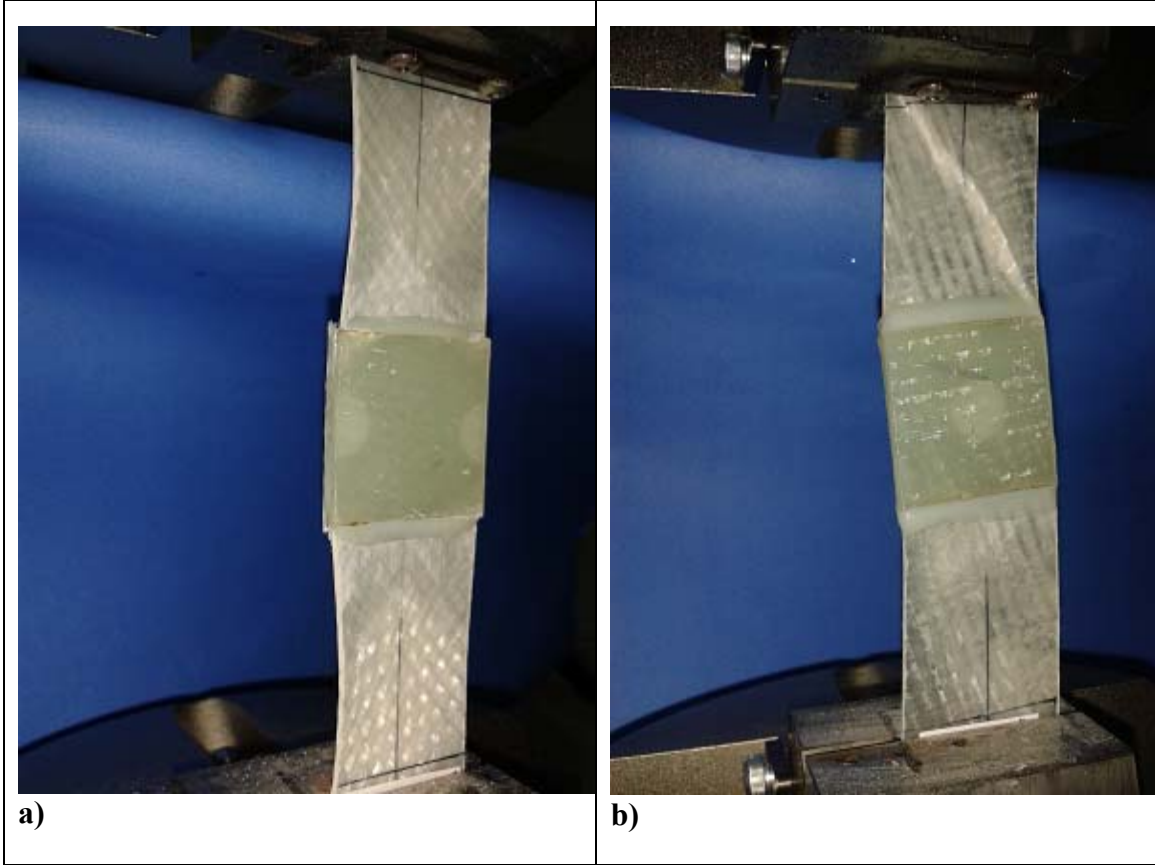
**Şekil 5.25.** Tip3 ve Tip2 yamasız levhaların hasara uğradığı andaki şekil değişimi.

Tip1 ve Tip4 çentik türleri arasındaki ilişkinin benzeri Tip2 ve Tip3 çentik türlerinde de mevcuttur. Tip1 levha merkezinde yer alan bir çentiği gösterirken Tip4 kenarda yer alan bir çentik türünü göstermektedir. Çentik boyutları aynı olmasına rağmen Tip1 merkezi çentik olduğundan daha yüksek hasar yüküne ulaşması beklenirken tam tersi Tip4 daha yüksek hasar yüküne ulaşmıştır. Bütün aç çeşitlerinde aynı sonuca ulaşılmaktadır. Şekil 5.26'da yamasız Tip2 ve Tip4 levhaların hasar sonrası fotoğrafları görülmektedir.



Şekil 5.26. a) Tip1 ve b) Tip4 yamasız levhaların hasara uğradığı andaki şekil değişimi

$[15^0]_8$  ve  $[45^0]_8$  levhalarında çift yüz yamayla sağlanan en büyük hasar yükleri çentiksiz levhaların da üzerine çıkmıştır. Şekil 5.27' de  $[15^0]_8$  Tip3 ve  $[45^0]_8$  Tip2 çift yüz yamalı levhaların hasar sonrası durumları görülmektedir. Yama bölgesinde herhangi bir hasar, şekil değişimi veya renk değişimi söz konusu değildir. Levhanın yamasız sağlam kısımlarında hasar gerçekleşmiştir. Hasarın yama ve çentik bölgesinde oluşmaması hasar yükünün çentiksiz levha hasar yükü üzerine çıktığının bir göstergesidir fakat yama bölgesi dışında yani sağlam kısımlarda hasarın gerçekleşmiş olması açılı levhalarda çift yüz yama kullanımının bir dezavantajı olarak söylenebilir.



Şekil 5.27. a)  $[45^0]_8$  Tip2 çift yüz Lap=30 mm yamalı levhaların b)  $[15^0]_8$  Tip3 çift yüz Lap=30 mm hasara uğradıkları andaki şekil değişimleri

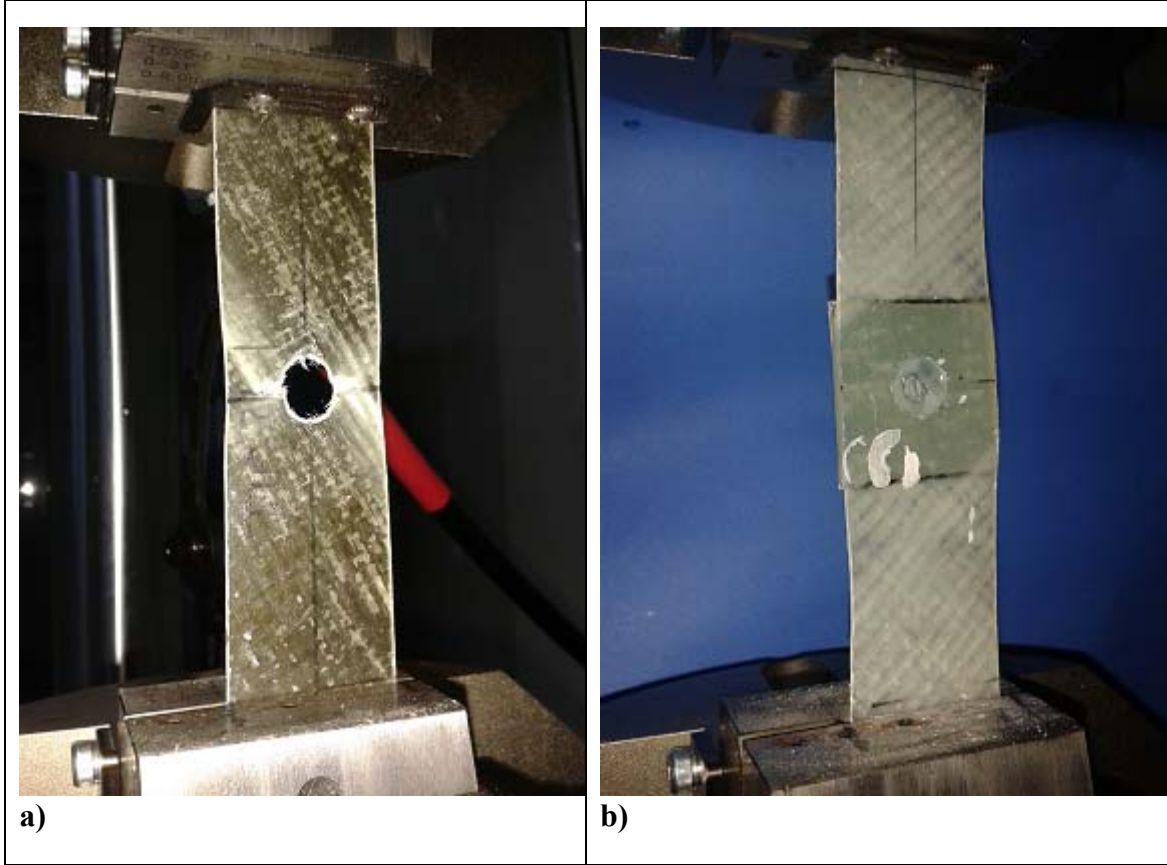
Her parametre için kullanılan üç deney numunesinin hasar eğrileri kendi içlerinde fiber takviye açısı derecesi arttıkça birbirlerinden farklılık göstermektedir. Bu olay levha açısı arttıkça çentik bölgesinin fiberleri farklı miktarlarda kesmesiyle alakalı bir durumdur.

Çift yüz yamaların, tek yüz yamalı numunelere kıyasla mukavemet artışının yanısıra kırılma süresini arttırma gibi bir faydası da vardır.

Bütün numunelerde genel olarak açının artmasıyla hasar yükü düşmüş bunun yanında uzama ve kırılma süreleri artmıştır. Bouiadjra ve ark. (2007) Fiber takviye açısı düştükçe çatlak ilerlemesine karşı olan direncin düşeceğini, kompozitler için yapıştırıcı özellikleri seçilirken malzeme, yapıştırıcı ve yüzey hasarlarının birlikte orantılanarak değerlendirilmesi gerektiğini söylemişlerdir.

Şekil 5.28. a) ve b)'de görüldüğü gibi yama çentik bölgesindeki gerilme yığılmasını önleyip bulunduğu bölgede kırılmaya müsade etmediğinden dolayı

gerilmeler tüm yüzeye yayılmış ve levha uzama miktarı artmıştır.  $[0^0]_8$  levhalarında çift yüz yama uygulamasıyla birlikte açılı numunelerin aksine uzama miktarı düşmüştür.

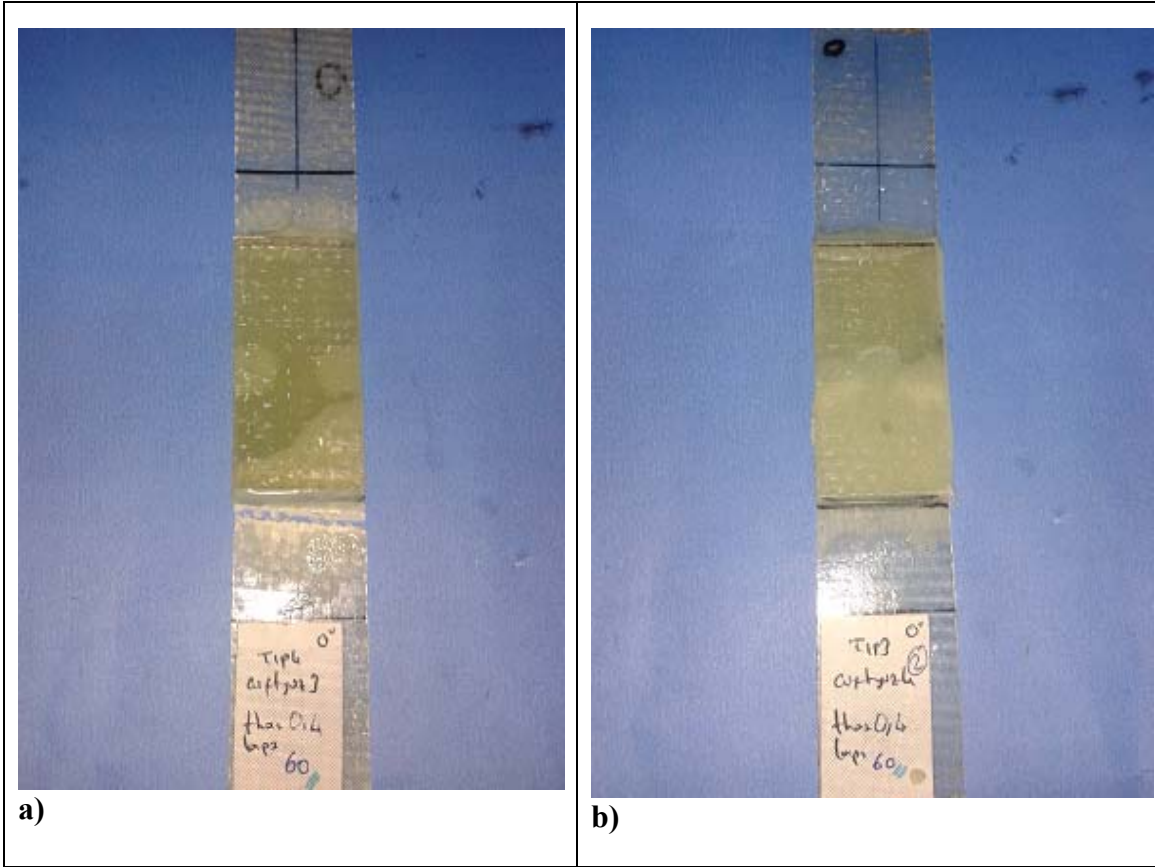


Şekil 5.28. a)  $[30^0]_8$  Tip1 yamasız, b)  $[45^0]_8$  Tip3 tek yüz Lap=30 mm yamalı levhaların hasarla birlikte şekil değişimlerinin levha üzerindeki dağılımları.

Yama boyutu arttıkça çift yüz yama tamiratında yoğun bir şekilde kademeli kırılma görülmektedir.

Lap=60 mm yama uygulamasıyla çift yüz yamalı levhalarda uzama değeri belirgin bir şekilde artmıştır.

Tip4 çift yüz büyük yama uygulaması en büyük hasar yükünü Tip3 çift yüz büyük yama uygulamasından daha fazla oranda artırmıştır. Tip4 çentik bölgesi büyük ve kenarda olduğundan büyük yamanın işlevini daha fazla görmesine müsade etmiştir. Şekil 5.29'da çift yüz büyük yama kullanılmış Tip3 ve Tip4 levhaların hasar sonrası fotoğrafları görülmektedir.



**Şekil 5.29.**  $[0^0]_8$  çift yüz Lap=60 mm yamalı a) Tip4 b) Tip3 levhaların hasara uğradığı andaki şekil değişimleri.

Yama bölgesinde çekmeyle beraber eğilme ve şekil değişimi başlıyor. Yamayı tutan yapıştırıcının işlevini tamamen yitirdiği anda yama herhangi bir hasara uğramadan yerinden fırlıyor ve kırılma sonlanıyor. Şekil 5.30'da hasar sonrası yamanın hasarsız durumu görülmektedir. Bu olay yamanın fiber takviye açısı veya mekanik özelliklerinin seçiminden çok, uygun yapıştırıcı seçiminin daha önemli olduğunun bir göstergesidir. Yama kompozit yapıştırıcı uyumu dikkate alındığında bağlantı mukavemeti artacaktır.

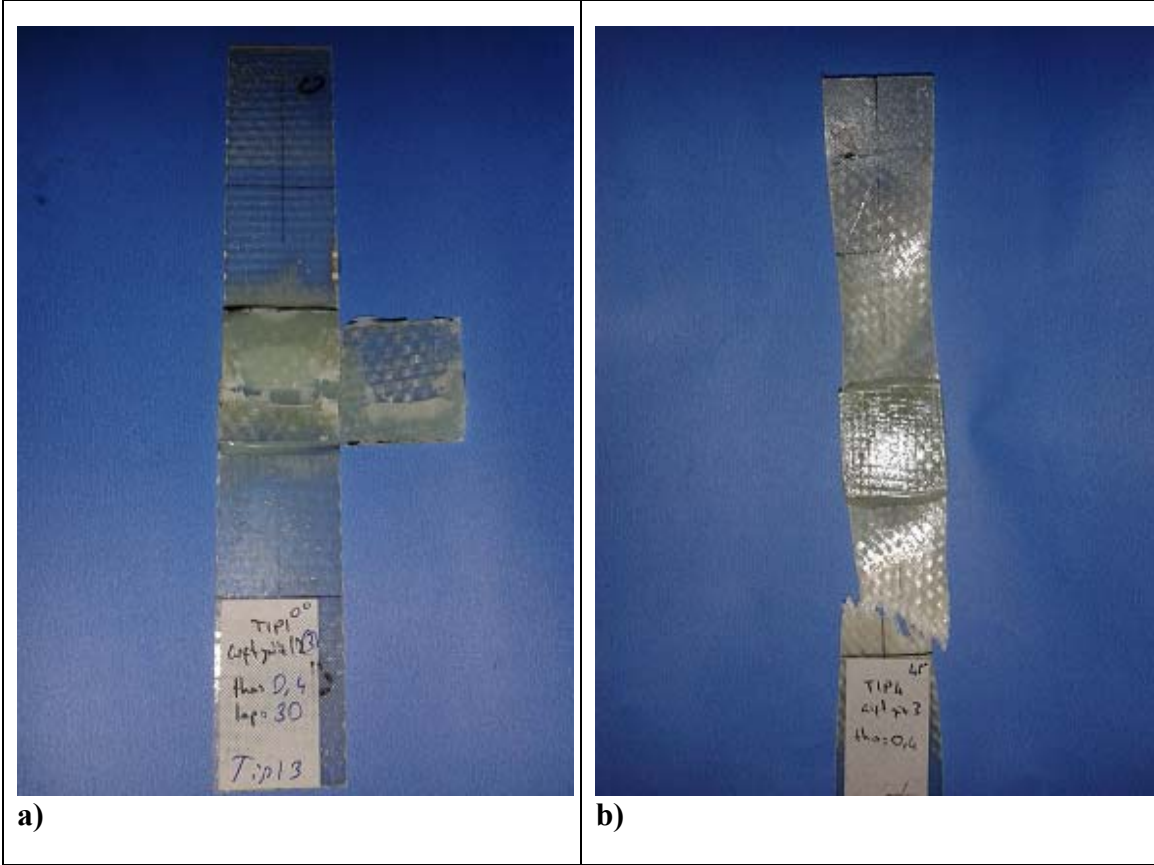




Şekil 5.30.  $[0^0]_8$  Tip1 çift yüz Lap=30 mm yamalı numunenin hasar sonrası levha ve yamanın durumu

Genel olarak  $[0^0]_8$  levhaları hariç çift yüz yama uygulamalarının, tek yüz yama uygulamalarına kıyasla mukavemet artışıyla beraber kırılma sürelerini arttırdığı gözlemlenmiştir.

$[0^0]_8$  levhalarda görüldüğü üzere çift yüz yama uygulaması tek yüz yamaya kıyasla bazı çentik tiplerinde hasar yükünü düşürebilmektedir. Bu yüzden açılı levhalardan farklı olarak  $[0^0]_8$  çift yüz yama seçimi daha dikkatli yapılmalıdır. Hasar sonrası Lap=30 mm çift yüz yamalı  $[0^0]_8$  Tip1 ve  $[45^0]_8$  Tip4 levhaların fotoğrafları Şekil 5.31’de görülmektedir.



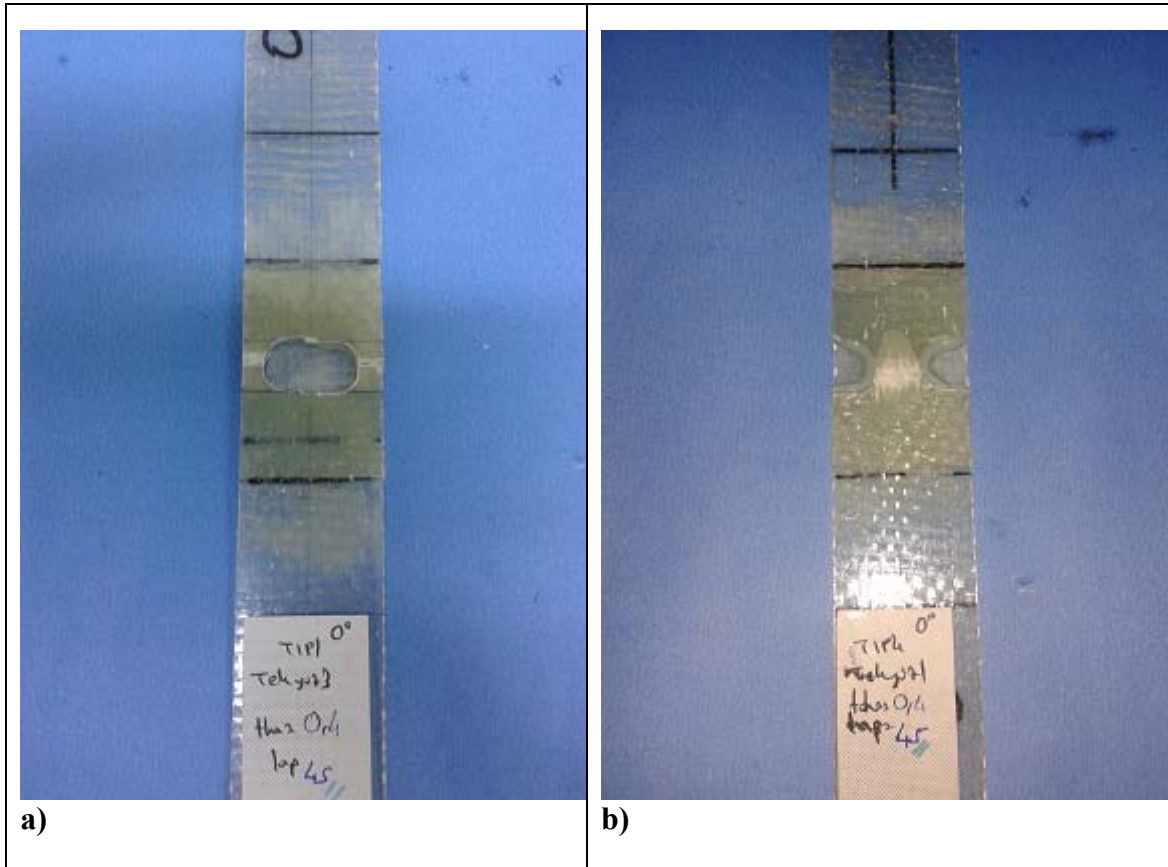
**Şekil 5.31.** a)  $[0^\circ]_8$  Tip1 ve b)  $[0^\circ]_8$  Tip4 çift yüz Lap=30 mm yamalı levhaların hasara uğradıkları andaki şekil değişimleri.

$[0^\circ]_8$  numunelerde çift ve tek yüz yamalı numunelerin en büyük hasar yükleri birbirlerine çok yakındır. Açılı numunelerde ise çift yüz yama en büyük hasar yükünü çok daha fazla arttırmıştır.

Çentiksiz numunelere göre en küçük düşüş oranına sahip tipler tek yüz yama tamirıyla çentikli levhalara göre beraberinde en küçük artış oranını sağlamıştır.

Tek yüz yama uygulamalarında bütün levhalar içerisinde en büyük hasar yükü değerini  $[0^\circ]_8$  Tip3; en küçük hasar yükü değerini  $[45^\circ]_8$  Tip4 vermiştir.

$[0^\circ]_8$  Lap=45 mm Tip1 ve Tip4 tek ve çift yüz yama uygulaması yamasız modellere kıyasla hasar yükünü iki katı kadar bir oranda arttırmıştır. Hasar sonrası Lap=45 mm Tip1 ve Tip4 tek yüz yamalı levhaların fotoğrafları Şekil 5.32’de görülmektedir.

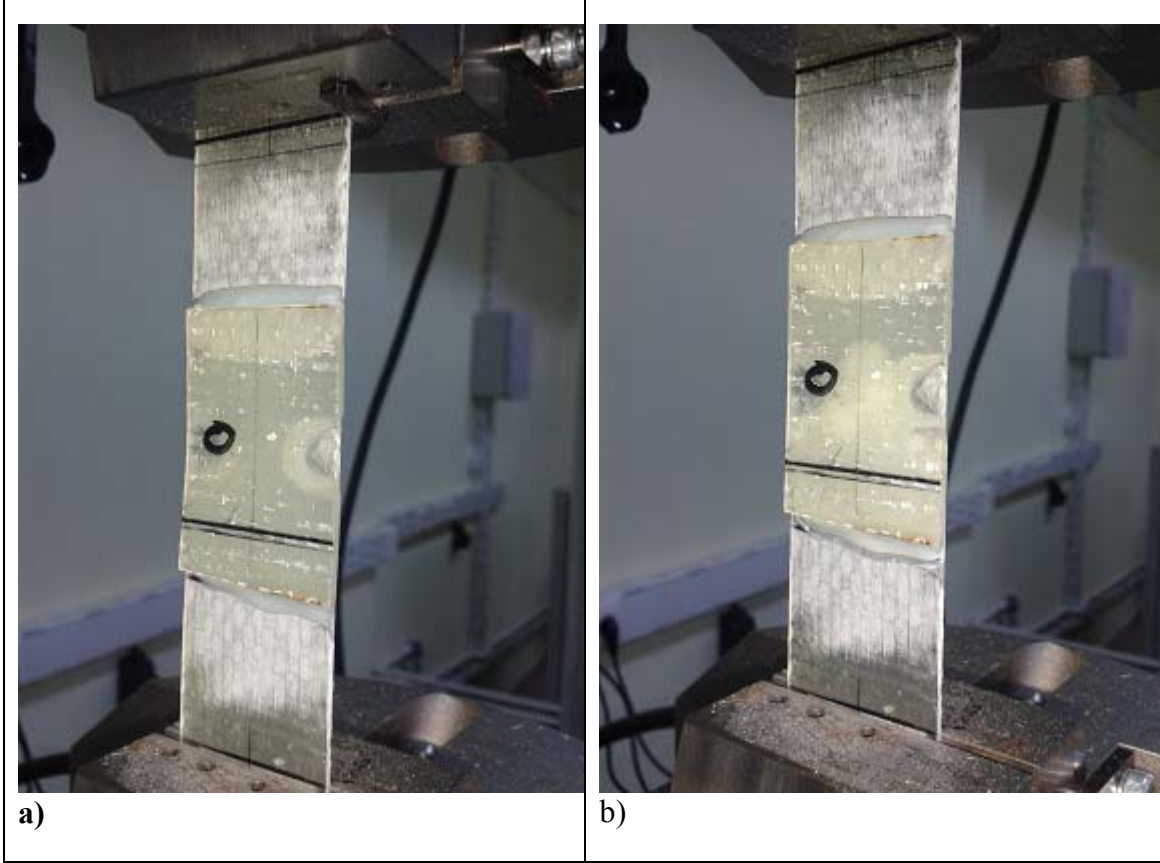


**Şekil 5.32.**  $[0^0]_8$  tek yüz Lap=30 mm yamalı a) Tip1 b) Tip4 levhaların hasara uğradıkları andaki şekil değişimleri.

$[0^0]_8$  Lap=60 mm Tip2 çift yüz yama uygulaması en büyük hasar yükünü tek yüz yama uygulamasının aşağısına çekmiştir. Büyük yama kullanımıyla yamasız modellere göre hasar yükünde en büyük artış Tip4’de; en düşük artış Tip3’de elde edilmiştir.

Kullanılan parametreler her çentik tipinde aynı etkiye sahip değildir. Genel olarak tek yüzlerde Lap=60 mm yama uygulaması Lap=45 mm yama uygulamasına göre daha verimli, Lap=30 mm yama uygulamasına göre daha verimsizdir. Çift yüzlerde ise tam tersi Lap=45 mm yama uygulamaları Lap=60 mm yama uygulamalarından daha verimlidir. Tip1 ve Tip4’de sırasıyla çentiğin büyük olmasından kaynaklı çift yüz büyük yama uygulaması daha başarılıdır ve bu yüzden bu tip çentiklerde daha büyük yama kullanımı çift yüz olacak şekilde tavsiye edilebilir. Büyük yama kullanımı Tip3 gibi levhanın tam ortasında ve küçük çentiğe sahip numunelerde hasar yükünü küçük yamalara kıyasla düşürmüştür.

Şekil 5.33.'de görüldüğü üzere büyük yama kullanımının en büyük faydası kademeli soyulmasından dolayı kırılma gerçekleşmeden önce hasarı gözleme ve önlem alabilme imkânı vermesidir. Yamanın her iki uç kısmından da ayrı ayrı hasarın ilerlemesi izlenebilmektedir.

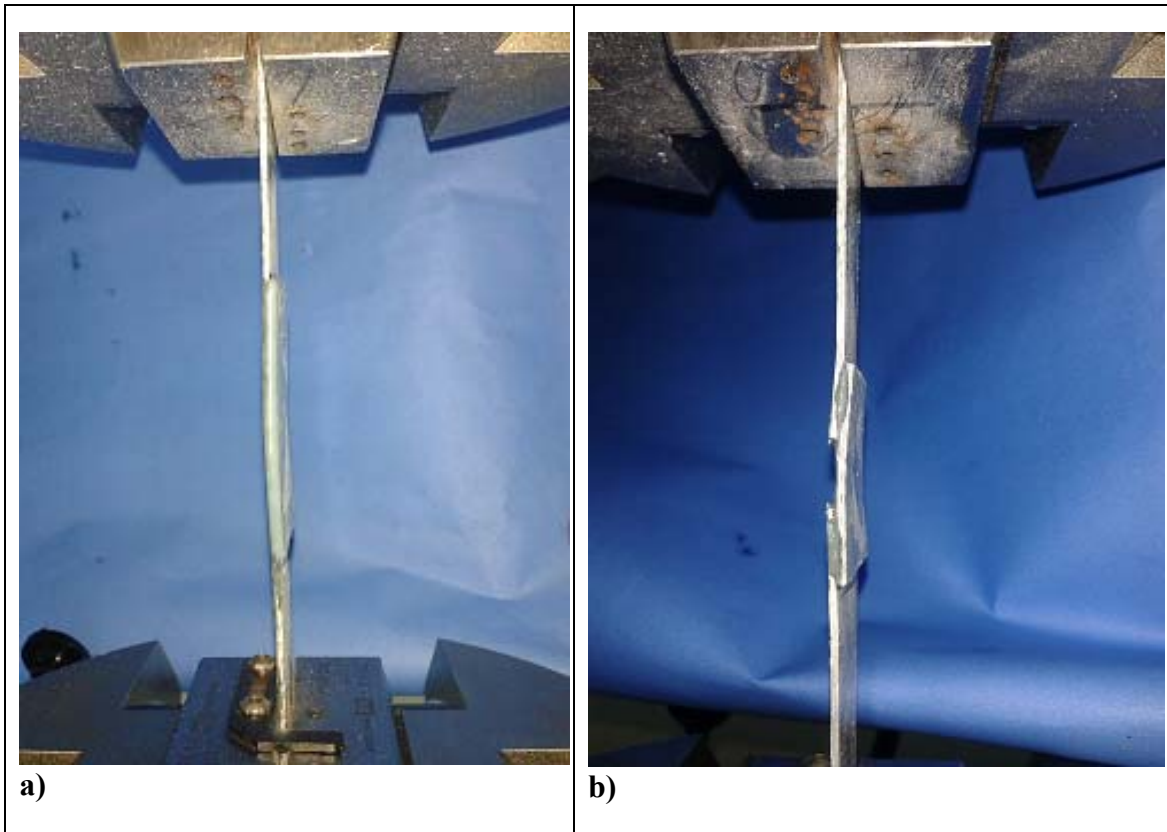


**Şekil 5.33.**  $[0^0]_8$  Tip3 tek yüz Lap=60 mm yamalı numunelerin **a)** Hasar başlangıcı görüntüsü **b)** Hasarın ilerlemiş görüntüsü.

Literatürde (Khojin, 2006) eğilme oluşumunun soyulmayı tetiklediğinden dolayı en büyük hasar yükünü düşürdüğü söylenmektedir. Yapılan gözlemler ve deney sonuçlarına göre eğilme oluşumunun literatürün tam tersi bir şekilde mukavemete olumlu etkilerinin olduğu tespit edilmiştir.

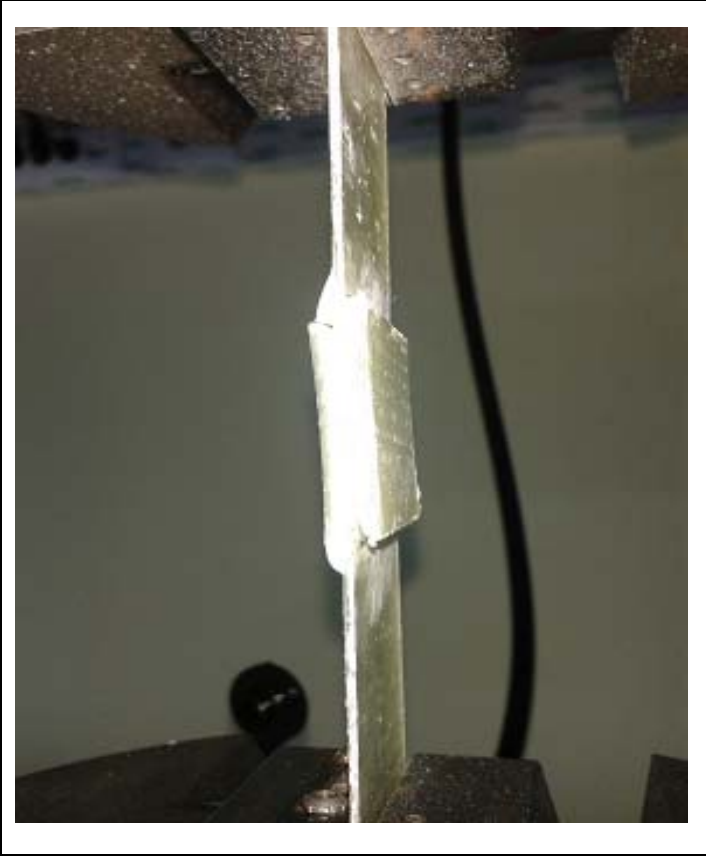
Tek bindirmeli bağlantılarda eğilme oluşumu gözlenmiştir. Eğilmenin yama yönüne doğru iç bükey oluşmasından dolayı uçlardaki soyulma gecikmiş ve daha yüksek mukavemet elde edilmiştir. Eğilmenin yapıştırma bağlantılarında performansı arttırmasından dolayı eğilme oluşumunu engelleyici tasarımlar tercih edilmemelidir.

Tek yüz Lap=60 mm yama tamiratının uygulandığı  $[0^0]_8$  numunelerde eğilme etkisi yama uzunluğuyla ters orantılı bir şekilde azaldığından dolayı mukavemette beklenen artış söz konusu olamamıştır. Şekil 5.34’de kırılmanın başladığı anda çekilen fotoğraflarda büyük ve küçük yamalarda eğilme oluşumunu görmekteyiz. Büyük yamada eğilme oluşumu küçük yamaya kıyasla daha azdır. Yama boyutunun artması, iyileştirme alanını artırarak mukavemeti artırmanın yanında eğilmeyi azalttığından dolayı mukavemette bir miktar düşüşe sebep olmuştur. Çentiği kritik bölgede olmayan ve çentik boyutu diğerlerine göre az olan Tip3’de iyileştirme alanına çok fazla ihtiyaç olmadığından eğilme etkisi mukavemeti çok daha fazla etkilemiştir ve büyük düşüşlere sebebiyet vermiştir. Tek yüz  $[0^0]_8$   $Tha=0.4$  Lap=30 deney numunelerinden elde edilen en büyük hasar yükü ortalama 11860 N iken tek yüz Tip3  $[0^0]_8$   $Tha=0.4$  Lap=60 levhalarında hasar yükü 10763 N’u bulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre büyük ve kritik yerlerde olan çentik tiplerinde tamirat yaparken büyük yama tercih edilebilir. Ters numuneler için küçük yamalar daha fazla iyileştirme imkânı sağlayacaktır.



**Şekil 5.34.** Yük bindiği anda  $[0^0]_8$  tek yüz **a)** Lap=60 mm yamalı numunelerde eğilme oluşumu, **b)** Lap=30 mm yamalı numunelerde eğilme oluşumu.

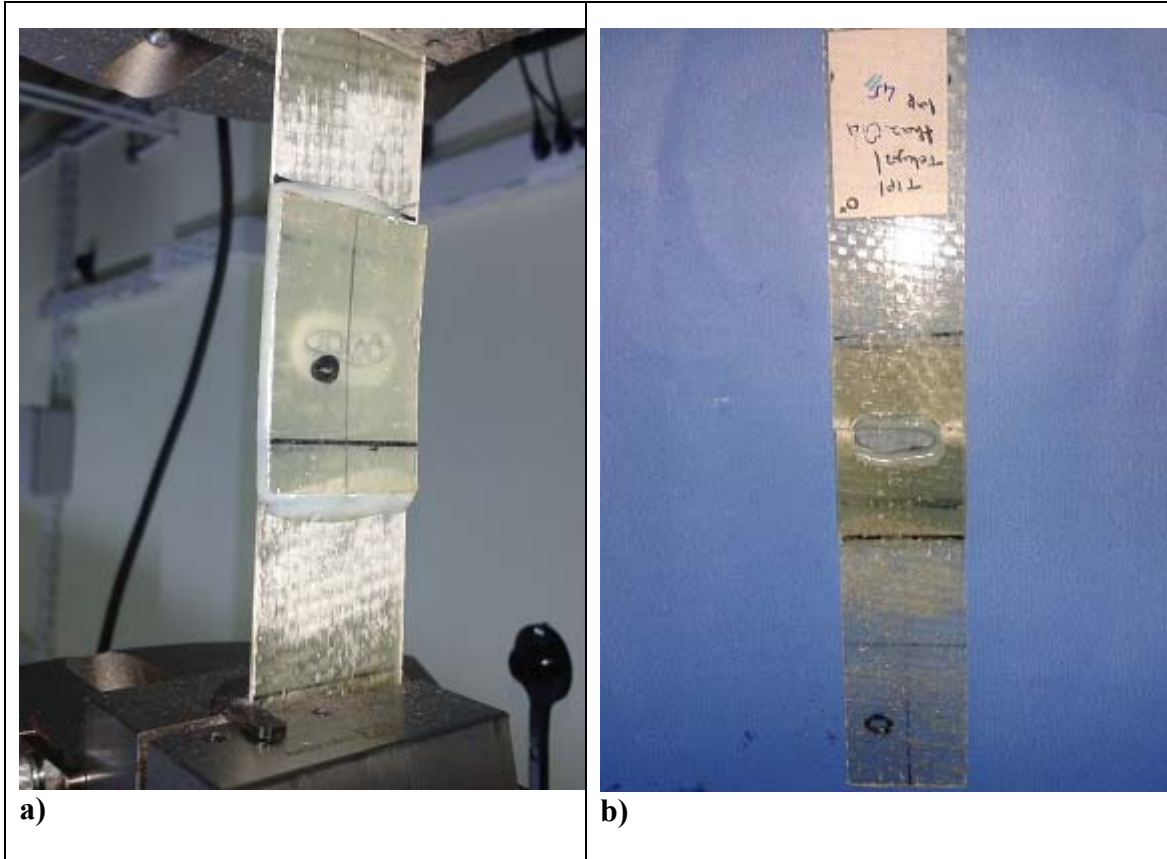
Şekil 5.35’de görüldüğü gibi ilk soyulmanın başladığı yamanın aksi yönünde diğer yamada soyulma gerçekleşiyor. Ani olarak İçinden sıyrılıp gelen birkaç numune hariç bütün numunelerde bunu gözlemlememiz mümkündür. Bunun sebebi eğilme etkisiyle açıklanabilir. Çünkü ilk soyulmaya başlayan yamanın soyulmayan tarafı yamanın ortasına yakın yerinden itibaren eğilme etkisine devam etmekte ve hasar görmeyen yamanın aksi yönüne çekmektedir. Buna karşılık gelen yamanın uç kısmı aksi eğilmeden ötürü soyulmaya gitmektedir. Eğer ilk soyulan yamanın varlığı olmasaydı ikinci soyulan yamanın eğilme etkisi devam edecek ve soyulma daha da gecikecekti.



Şekil 5.35. Tam kırılma öncesi  $[0^0]_{10}$  çift yüz Lap=30 mm yamalı numunelerde soyulma

Şekil 5.35’de aynı zamanda hasar eğrilerindeki anlık yük düşüşlerinin sebebi de görülebilmektedir. Çift yüz yamalarda soyulma genelde bir yamada başlayıp, daha sonra diğer yamaya atladığından hasar eğrilerine anlık yük düşüşü olarak yansımaktadır. Ama bu kırılmalardan sonra hasar yükü artmamış sadece hasarın tam oluşmasından önce görsel bilgi vermiştir.

Yukarıda bahsedilen eğilme yama ilişkisinin benzeri tek yüz yamaların hasar ilerleyişlerinde de görülebilmektedir. Tek yüz yama uygulamalarında yamanın bir tarafı belli bir miktar soyulduktan sonra soyulan taraftan değil de diğer taraftan ani kırılma gerçekleşmektedir.

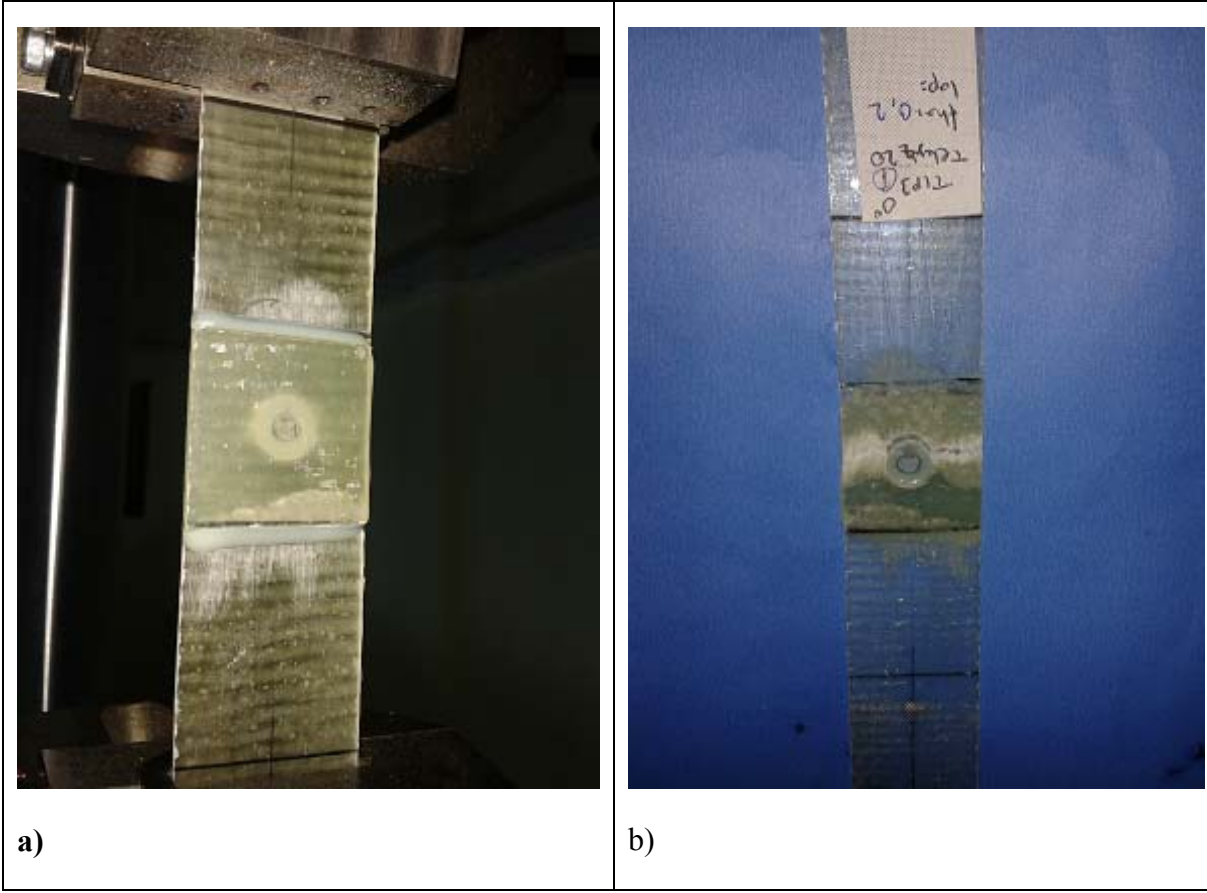


**Şekil 5.36.**  $[0]_8$  tek yüz Lap=45 mm yamalı numunelerin a) Tam kırılma öncesi görüntüsü.

b) Kırılmadan sonra görüntüsü

Büyük yama kullanımının en büyük faydası kademeli soyulmasından dolayı kırılma gerçekleşmeden önce hasarı gözlemlene ve önlem alınabilme imkânı vermesidir. Şekil 5.36 a) soyulmanın başladığı yeri ve Şekil 5.36 b) ilk soyulmanın başladığı yönün aksi tarafta tam soyulma ve kırılmanın varlığını göstermektedir.

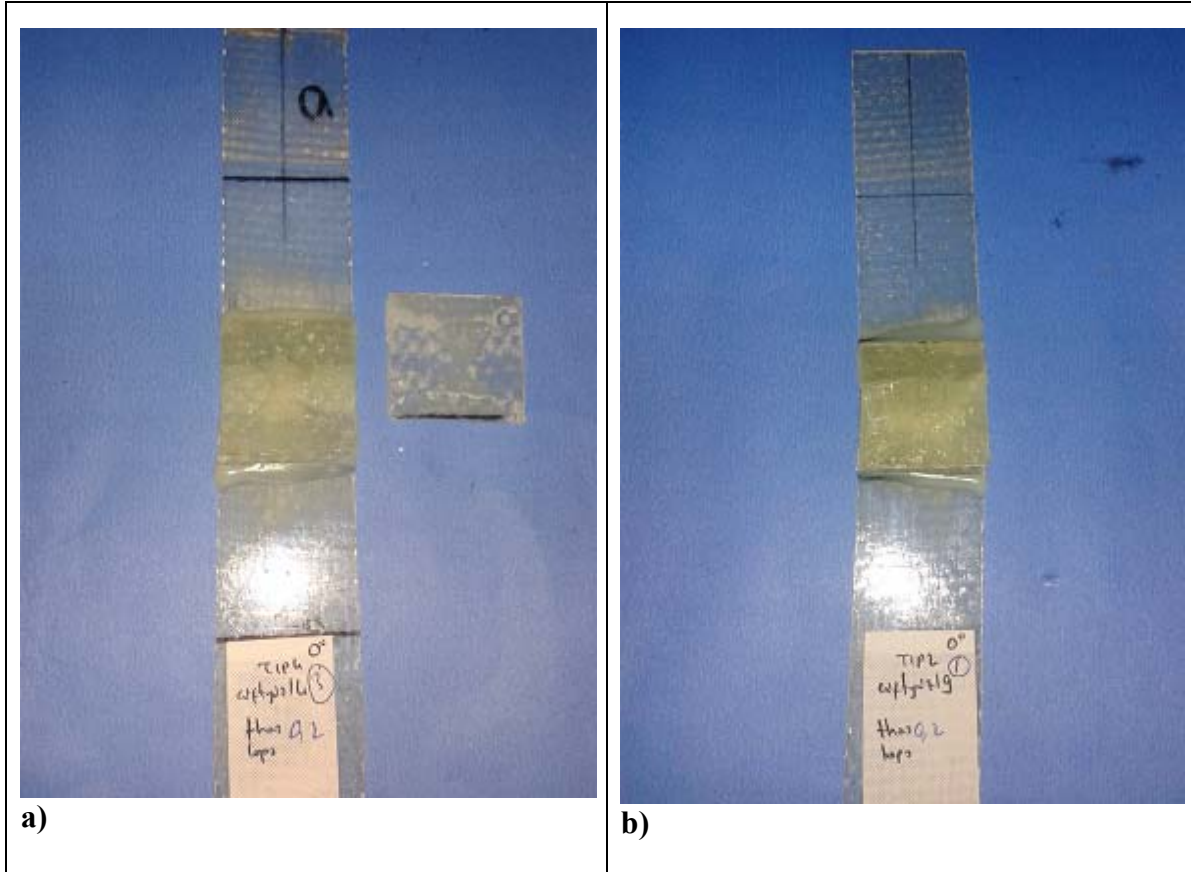
Benzeri olay Lap=30 mm'lik tek yüz yamada da görülmektedir. Önce soyulmaya başlayan taraf değil hiç soyulmayan taraftan kırılma gerçekleşmektedir. Şekil 5.37 a) ve b) sırasıyla levhalara yük bindikten sonra ve kırılma sonrası hasarı vermektedir.



Şekil 5.37. a) Yük bindikten sonra  $[0^0]_8$  tek yüz  $L=30$  mm b) Kırılmadan sonra  $[0^0]_8$  tek yüz  $Lap=30$  mm yamalı numunelerin görünüşü.

Yapıştırıcının fazla kalın olması yamaya gerilme transferini azaltmış ve yamanın verimini düşürmüştür. Şekil 5.38'de görüldüğü gibi ince olması ise yamaya yük transferini yapmış fakat yapıştırıcı hasarı riskini arttırmıştır (Achour, 2003). Çift yüz yama uygulamalarında yapıştırıcı kalınlığı artışıyla beraber ani hasar düşüşleri artmaktadır.





Şekil 5.38. a)/b)  $[0^0]_8$  çift yüz  $Tha=0.2$  mm yapıştırıcı hasarı

Her tipin tek yüz hasar yükleri ortalaması düşünüldüğünde en büyük hasar yükü  $Tha=0.4$  mm'de; en düşük hasar yükü  $Tha=1.0$  mm'de görülmüştür. Tek yüz  $Tha=0.2$  mm ve  $Tha=0.4$  mm uygulamaları arasındaki hasar yükü farkı 4 N gibi küçük bir değerdedir. Yani tek yüz yama uygulamasında  $Tha=0.2$  mm veya  $Tha=0.4$  mm olmasının hasar yükü üzerinde çok etkili olmadığı söylenebilir.

Bütün tiplerin çift yüz hasar yüklerinin ortalama değeri  $Tha=1.0$  mm'de en düşük;  $Tha=0.2$  mm'de en yüksek değerdedir. Yapıştırıcı kalınlığının artışıyla diğer tiplere kıyasla Tip3 hasar yükü daha az düşüş göstermiştir. Tip3 tek yüz yama uygulamalarında çentik boyutu küçük ve riskli bölgede olmadığından yapıştırıcı kalınlığı diğer tiplerdeki gibi hasar yükü ve ilerleyişini belirgin bir şekilde etkilememiştir.

Yapıştırıcı kalınlığı tek ve çift yüzleri birbirlerine yakın şekilde etkilemiştir. Genel olarak grafiklere bakıldığında yapıştırıcı kalınlığı arttıkça tek ve çift yüz yamalı numunelerin en büyük hasar yüklerindeki düşüş görülebilmektedir. Aynı zamanda

yapıştırıcı kalınlığı artışıyla beraber tek ve çift yüzünden yamaların en büyük hasar yükleri birbirlerine yaklaşmaktadır. Her ve ark. (2011) Yapıştırıcı kalınlığı arttığında gerilme yoğunluğu faktörünün azalacağını, yapıştırıcının kayma modülü artarsa gerilme yoğunluğu faktörünün yükseleceğini ve yamanın yapıştırıcıdan daha etkili olacağını vurgulamıştır. Elde edilen sonuçlar farklı tiplerin farklı yapıştırıcı kalınlıklarında farklı hasar ilerleyişi ve davranışı sergileyeceğini göstermektedir.

### 5.3. Sonuç ve Değerlendirme

- Küçük boyutlu çentiklerde kenar çentik orta çentikten daha tehlikelidir.
- Büyük boyutlu çentiklerde orta çentik kenar çentiğe göre daha tehlikelidir.
- Büyük ve kenar çentiklerde çift yüz büyük yama kullanımı hasar yükünü diğerlerinden daha fazla oranda arttırmıştır.
- Yapıştırıcı kalınlığı artışı küçük ve orta çentikli plakaların hasar yükünü diğerlerine göre daha düşük oranlarda azaltmıştır.
- Büyük tek yüz yamalar eğilmeyi azalttığından dolayı küçük yamalara kıyasla bazı tiplerde hasar yükünü düşürmüştür.
- Bütün numunelerde genel olarak fiber takviye açısının açının artmasıyla hasar yükü düşmüş bunun yanında uzama ve kırılma süreleri artmıştır
- Açılı levhaların birçoğunda çift yüz yama uygulamasıyla hasar yükleri çentiksiz numunelerin de üzerine çıkmıştır. Bu durumda hasarın levhanın tamamına dağılması gibi bir problem oluşmaktadır.
- $[0^0]_8$  numunelerde hasar ani bir kırılma ile gerçekleşirken diğer takviye açıları ise uzama ile birlikte hasar gerçekleşmektedir.
- Bütün numunelerde yama hasarsız bir şekilde ayrılmıştır. Bu durum yamanın fiber takviye açısı veya mekanik özelliklerinin seçiminden daha çok yama yapıştırıcı ve yapışan ara yüzey uyumunun önemli olduğunu göstermektedir.
- Yama boyutu arttıkça plakalarda kademeli kırılma artmaktadır. Bu durum tam kırılma öncesi görsel bilgi alabilmek açısından önem arz etmektedir.
- $[0^0]_8$  levhalarda çift yüz yama uygulaması tek yüz yamaya kıyasla bazı çentik tiplerinde hasar yükünü düşürebilmektedir. Bu yüzden açılı levhalardan farklı olarak  $[0^0]_8$  çift yüz yama seçimi daha dikkatli yapılmalıdır.

- Fiber takviye açısı değişimi  $[0^0]_8$  levhalara göre %43 ile %58 arasında değişen oranlarda hasar yükünü düşürmüştür.
- Levhalara açılan çentikler çentiksiz levhalara göre %40 ile %78 arasında değişen oranlarda hasar yükünü düşürmüştür.
- Tek yüz yama işleminde en yüksek hasar yükü Lap=30 mm Tip3 için elde edilmiştir. Çift yüz yama işleminde en yüksek hasar yükü Lap=45 mm Tip4 için elde edilmiştir.
- Yama uzunluğu artışıyla en büyük hasar yükünde yamasız numunelere kıyasla %317'e varan oranlarda artış gerçekleşmiştir.
- Yapıştırıcı kalınlığının değişimi ele alındığında en düşük değer  $Tha=0.8$  mm uygulamasında tek yüz Tip4 için elde edilmiştir.



**6. KAYNAKLAR**

- Achour, T., Bouiadjra, Serier, B., Numerical Analysis of the Performances of the Bonded Composite Patch for Reducing Stress Concentration and Repairing Cracks at Notch, *Computational Materials Science* 28 2003; 41–48.
- ASTM-D. 3039-76, 1982.
- Beylergil, B., Yapıştırılarak Bağlantı Sağlanan Kompozit Levhaların Bağlantı Performansının Arttırılması, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, 2010.
- Bouiadjra, B.B., Rezgani, L., Ouinas, D., Belhouari, M., Ziadi, A., Numerical Analysis of the Notch Effect and the Behaviour of Notch Crack in Adhesively Bonded Composite Laminates, *Computational Materials Science* 38 2007; 759–764.
- Bouiadkra, B.B, Fekirini, H., Serier, B., Benguediab, M., Numerical Analysis of the Beneficial Effect of the Double Symmetric Patch Repair Compared to Single One In Aircraft Structure, *Computational Material Science* 38 2007; 824-829.
- Campilho, R.D.S.G., Moura, M.F.S.F., Domingues, J.J.M.S., Modelling Single and Double-lap Repairs on Composite Materials, *Composites Science and Technology* 65 2005; 1948–1958.
- Charalambides, M.N., Hardouin, R., Kinloch, A.J., Mathews, F.L., Adhesively-bonded Repairs to Fibre-composite Materials I: Experimental, *Composites Part A* 29A 1998; 1371–1381.
- Charalambides, M.N., Kinloch, A.J., Mathews, F.L., Adhesively-bonded Repairs to Fibre-composite Materials II: Finite Element Modelling, *Composites Part A* 29A 1998; 1383–1396.
- Clyne, B., *Mechanics of Composite Materials*, University of Cambridge, Mechanics, (Version 2.1), Cambridge University Press, 1996.
- Drummond, J.L., Lin L., Turki, L.A.A., Hurley, R.K., Fatigue Behaviour of Dental Composite Materials, Elsevier, *Journal of Dentistry* 37 2009; 321 – 330.
- Freissinet S., 2011, <http://www.1001crash.com/index-page-composite-lg-2.html>
- Gonzalez, J.C., Gomez J.F., Valle e.g., Effect of Adhesive Thickness and Concrete Strength on FRP-Concrete Bonds, *Journal of Composites for Construction* 2012; DOI: 10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000303.
- Her, S., Chao, M., Adhesively Bonded Patch Repair of Composite Laminates, *Journal of Adhesion Science and Technology* 2011; 25 :2569–2585.

- Her, S.C., Chao, M., Adhesively Bonded Patch Repair of Composite Laminates, *Journal of Adhesion Science and Technology* 25 2011; 2569–2585.
- Her, S.C., Stress Analysis of Adhesively-bonded Lap Joints, Elsevier, *Composite Structures* 47 1999; 673-678.
- Hufnbach, W., Grüber, B., Gottwald, R., Lepper, M., Zhou, B., Analytical and Experimental Analysis of Stress Concentration in Notched Multilayered Composites with Finite Outer Boundaries, *Mechanics of Composite Materials* 2005; Vol. 46, No. 5.
- In Engineering, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, IMechE, 151/86, 161-168, 1986.
- Kannan, V.K., Murali, V., Rajadural, a., Rao, N., Finite Element Analysis and Notched Tensile Strength Evaluation of Center-Hole 2D Carbon/Carbon Laminates, *Advanced Composite Materials* 20 2011; 289–300.
- Keller T., Castro, J.D., Schollmayer. M., Adhesively Bonded and Translucent Glass Fiber Reinforced Polymer Sandwich Girders, *Journal of Composites for Construction* 2004; DOI: 10.1061/(ASCE)1090-0268(2004)8:5(461).
- Khashaba, U.A., Selmy, A.I., Sonbaty I.A.E., Megahed, M., Behavior of Notched and Unnotched  $[0/\pm 30/\pm 60/90]_s$  GFR/EPOXY Composites Under Static and Fatigue Loads, *Composite Structures* 81 2007; 606–613.
- Klusak, J., Profant T., Kotoul, M., Conditions for Crack Initiation in an Orthotropic Bi-Material Note, *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, 2012; 19:302–307.
- Krishnan, A., Xu, L.R., An Experimental Study on the Crack Initiation from Notches Connected to Interfaces of Bonded Bi- Materials, *Engineering Fracture Mechanics* 111 2013; 65–76.
- Loctite Worldwide Design Handbook, 1988.
- Mallick, P., Fiber Reinforced Composites, Department of Mechanical Engineering University of Michigan-Deaborn, Michigan, 1993.
- Ouinan D., Achour, B., Buckling Analysis of Laminated Composite Plates  $[(h/_h)]$  Containing an Elliptical Notch, *Composites: Part B* 55 2013; 575-579.

- Ouinas, D., Sahnoune, m., Bebderdouche, N., Bouiadjira, B.B., Stress Intensity Factor Analysis for Notched Cracked Structure Repaired by Composite Patching, *Materials and Design* 30 2009; 2302–2308.
- Panigrahi, S.K., Zhang, Y.X., Investigation of Damage Growth in Single Lap Joints of Composite Laminates, *Journal of Adhesion Science and Technology* 25 2011; 1223–1244.
- Qin, L., Zhanng, Z., Feng, Z., Li, X., Wang, Y., Wang, Miao, H., He, L., Gong, X., Full-field Analysis of Notch Effects of 3D Carbon/carbon Composites, *Journal Material Science* 2013: 48:3454–3460.
- Rao M.V., Rao K.M., Raju. V.R.C., Murthy, V.B.K., Raju, V.V.S., Three-Dimensional Finite Element Analysis of Adhesively Bonded Single Lap Joints in Laminated FRP Composites Subjected to Thermal Loading with C-F End Conditions 2008; 0973-4589 Volume 3; pp. 187–198.
- Rao, M.V., Rao, K.M., Raju, R.C., Murthy, V.B., Raju V.V.S., Analysis of Adhesive Bonded Single Lap Joints in Hybrid Composites Subjected to Transverse Load With LC-US End Conditions, *International Journal of Theoretical and Applied Mechanics* 2009; Volume 4 Number 1; 39–48.
- Rao, M.V., Rao, K.M., Raju, R.C., Murthy, V.B., Raju V.V.S., Analysis of Adhesively Bonded Single Lap Joint in Laminated FRP Composites Subjected to Transverse Load, *International Journal of Mechanics and Solids* 2008; Volume 3; Number 1; 75–86.
- Reza, A., Shishesaz, N., Tahan, K.N., The Effect of Viscoelasticity on Creep Behavior of Double-Lap Adhesively Bonded Joints, *Latin American Journal of Solids and Structures* 11(2014);035-050.
- Salehi-Khojin, A., Thoreson A.R., Zhong W., Stone J.J., Gan, Y.X., The Effect of Patch Geometry on the Static and Fatigue Behaviors of Defective Aluminum Panels Repaired with a Composite Patch, *Journal of Adhesion Science and Technology* 2006; Vol. 20, No. 6, pp. 537–554.
- Soutis, C., Lee, j., Scaling Effects in Notched Carbon Fibre/epoxy Composites Loaded in Compression, *Journal Material Science* 2008; 43:6593–6598.

- Soutis, C., Zu, F.Z., Design and Performance of Bonded Patch Repairs of Composite Structures, Department of Aeronautics, Imperial College of Science, Technology and Medicine, London 1997; Proc Instn Mech Engrs Vol 211 Part G.
- Taib, A.A., Achiou, S., Gordon, S., Boukehili, H., Bonded Joints with Adherends. Part 1. Effect of Specimen Configuration, Adhesive Thickness, Fillet and Adherend Stiffness on Fracture, International Journal of Adhesion and Adhesives 26 2006; 226-236.
- Temiz, V., İtü Ders Notları, 2003.
- Tomita, Y., Tamaki, T., Morioka, K., Effect of Fiber Strength on Notch Bending Fracture of Unidirectional Long Carbon Fiber-Reinforced Composites, Materials Characterization 41 1998; 123-135.
- Tomita, Y., Tempaku, M., Effect of Fiber Strength on Tensile Fracture of Unidirectional Long Carbon Fiber-Reinforced Epoxy Matrix Composites, Materials Characterization 38 1997;91-96.
- Toudeshky, H.H., Effects of Composite Patches on Fatigue Crack Propagation of Single-side Repaired Aluminum Panels, Composite Structures 76 2006; 243–251.
- Tsouvalis, N.G., Mirisiotis L.S., Experimental Investigation of the Static Behaviour of a Hole Drilled Steel Plate Reinforced with a Composite Patch, Shipbuilding Technology Laboratory, School of Naval Architecture and Marine Engineering, National Technical University of Athens, 15780 Athens, , 2007 The Authors. Journal compilation Strain (2008) 44, 133–140, Greece.
- Clyne, B., Mechanics of Composite Materials, University of Cambridge, Mechanics, Version 2.1, 1996
- Turan, K., Çözülebilir Bağlantılı Kompozit levhaların Mekanik Davranışlarının Analizi, Fırat Üniversitesi, Doktora Tezi, 2009.
- Vijayakumar, R.L., Bhat, M.R., Murthy C.R.L., Non Destructive Evaluation of Adhesively Bonded Carbon Fiber Reinforced Composite Lap Joints With Varied Bond Quality, Department of Aerospace Engineering, Indian Institute of Science, Bangalore-560012, India.



Wake, W.C., Adhesion and the Formulation of Adhesives, Structural Adhesives, Hardcover, London, 1976.

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Abdullah ÇELİK

Doğum Yeri : Malatya

E-posta : apo44\_1986@hotmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU

2012- 2014 Yüksek Lisans Dicle Üniversitesi Makina Mühendisliği  
Mekanik Ana Bilim Dalı

2013 Erasmus Politechnika University Mechanical Engineering  
Faculty / POLAND

2007-2011 Lisans Marmara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi  
Makina Mühendisliği

2004-2006 MYO Gaziemir Uçak Gövde Mekanik MYO

### İŞ TECRÜBESİ

2006 – Hava Kuvvetleri Helikopter Mekanik Kont.