



**T.C.**  
**KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DİKİŞLİ BİRİM HÜCRE YAPISINDA ÇEKİRDEK  
İÇEREN ÖZGÜN SANDVIÇ YAPILAR  
GELİŞTİRİLMESİ**

**NESLİHAN HAYTA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KAHRAMANMARAŞ 2019**

**T.C.**  
**KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DİKİŞLİ BİRİM HÜCRE YAPISINDA**  
**ÇEKİRDEK İÇEREN ÖZGÜN SANDVIÇ YAPILAR**  
**GELİŞTİRİLMESİ**

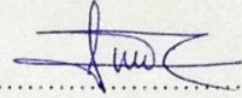
**NESLİHAN HAYTA**

**Bu tez,**  
**Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalında**  
**YÜKSEK LİSANS**  
**derecesi için hazırlanmıştır.**

**KAHRAMANMARAŞ 2019**

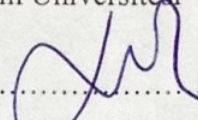
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğrencisi Neslihan HAYTA tarafından hazırlanan “Dikişli Birim Hücre Yapısında Çekirdek İçeren Özgün Sandviç Yapılar Geliştirilmesi” adlı bu tez, jürimiz tarafından 12/07/2019 tarihinde **oy birliği** ile Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Gaye KAYA (DANIŞMAN)



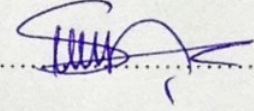
Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Erdem SELVER (ÜYE)



Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Selçuk POYRAZ (ÜYE)



Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Adıyaman Üniversitesi

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylıyorum.

Prof. Dr. Mustafa YAZICI

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



## TEZ BİLDİRİMİ

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

Neslihan HAYTA

Bu çalışma Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

Proje No: 2017/7-174 YLS

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

# DİKİŞLİ BİRİM HÜCRE YAPISINDA ÇEKİRDEK İÇEREN ÖZGÜN SANDVIÇ YAPILAR GELİŞTİRİLMESİ (YÜKSEK LİSANS TEZİ)

NESLİHAN HAYTA

## ÖZET

Bu çalışmada, katmanlı polipropilen (PP) çuval dokuma kumaşlar, dikiş yöntemi ile birleştirilerek sandviç kompozitler için geometrik hücreli özgün çekirdek yapılar geliştirilmiştir. Geliştirilen çekirdek yapılar kullanılarak üretilen sandviç kompozitlerin, eğme, basma ve darbe davranışları incelenerek, hasar dayanımları belirlenmiştir. Sandviç kompozitlerin çekirdek yapısında kullanılan bezayağı örgü türündeki PP çuval dokuma kumaş, farklı katman sayılarında (2 kat, 4 kat ve 6 kat), farklı dikiş enlerinde (36 mm-büyük hücre ve 18 mm-küçük hücre) ve farklı dikiş yoğunluğunda (3 adım/cm ve 6 adım/cm) dikilerek kalıplanmıştır. Böylece, ‘rombus’ birim-hücre yapısına sahip çekirdek elde edilmiştir. Geliştirilen çekirdek yapılar, hem düzlemsel hem de düzlem-dışı konumlandırılarak E-cam/epoksi dış yüzeyler ile sandviç kompozitler elde edilmiş ve ticari PP ve alüminyum balpeteği çekirdek yapı içeren sandviç kompozitlerle performansları bakımından karşılaştırılmıştır. Küçük hücreli sandviç kompozitlerin eğme, basma ve darbe dayanımlarının, genel olarak büyük hücreli sandviç kompozitlere kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Kat sayısı ve dikiş yoğunluğu arttıkça, hem büyük hem de küçük hücreli sandviç kompozitlerin dayanımları artmıştır. Bu tez çalışması ile PP çuval dokuma kumaş, tasarımsal bir sandviç çekirdek malzemesine dönüşerek, düşük maliyetle katma değeri yüksek bir ürün geliştirilmiştir. Elde edilen test sonuçları, tez kapsamında geliştirilen sandviç kompozitlerin, ticari olarak kullanılan yapılara fiyat ve performans bakımından alternatif olabileceği, başta rüzgâr türbini kanat malzemesi olmak üzere birçok endüstriyel uygulama alanında kullanılma potansiyeli bulunduğu sonucunu göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Sandviç kompozit, Dikiş, Çekirdek yapı, Hasar toleransı, Basma ve eğme dayanımı

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Temmuz/2019

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Gaye KAYA

Sayfa Sayısı: 99

**DEVELOPMENT OF NOVEL SANDWICH STRUCTURES WITH STITCHED  
UNIT-CELL CORE MATERIALS  
(MASTER THESIS)**

**NESLIHAN HAYTA**

**ABSTRACT**

In this study, layered polypropylene (PP) woven fabrics were combined with stitching method to develop unique core structures with geometric cells for sandwich composites. Bending, compression and impact behavior of sandwich composites produced by using core structures were investigated and damage resistance was determined. Plain weave PP woven fabric is used in the core structure of sandwich composites. The fabric was stitched in different number of layers (2 layers, 4 layers and 6 layers), different stitching widths (36 mm-large cell and 18 mm-small cell) and different stitching density (3 steps/cm and 6 steps/cm) and then molded to obtain sandwich cores having rhombus unit-cell structure. The developed core structures were positioned in both in-plane and out-of-plane directions and sandwich composites were produced with E-glass/epoxy face sheet. The developed sandwich composites are compared with sandwich composites containing commercial PP and aluminum honeycomb core structure in terms of their performance. Bending, compression and impact strengths of small cell sandwich composites were generally higher than those of large cell sandwich composites. As the number of layers and stitch density increased, the strength of both large and small cell sandwich composites increased. PP woven fabric has been converted into a novel design high value added/low cost sandwich core material. The test results showed that the sandwich composites developed within the aim of the thesis could be an alternative to commercially used structures in terms of price and performance, and have the potential to be used in many industrial applications, especially wind turbine blade material.

**Keywords:** Sandwich composite, Stitching, Core structure, Damage tolerance, Compression and flexural strength

Kahramanmaraş Sutcu Imam University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Textile Engineering, July/2019

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Gaye KAYA

Page Numbers: 99

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca temel taşlarım arasına kattığım, ailemden biri olarak gördüğüm, tüm bilgi birikimini bizlere aktarmak için uğraşan danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Gaye KAYA'ya teşekkürlerimi sunarım.

Tekstil Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Yasemin KORKMAZ'a destekleyici yaklaşımından dolayı teşekkürlerimi sunarım. Dr. Öğr. Üyesi Erdem SELVER'e, laboratuvar çalışmalarım esnasındaki desteğinden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışmasının deneysel çalışmalarında kullanılan polipropilen kumaşları tedarik ettiğimiz Ritor Çuval, Gaziantep'e ve dikiş ipliklerini tedarik ettiğimiz Coats firmasına teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her anında hiçbir zaman desteklerini esirgemeyen, hayatım boyunca elde ettiğim başarıların en önemli destekçileri olan annem ve kardeşlerime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Neslihan HAYTA

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa No

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Önemi.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı .....	2
1.3. Çalışmanın Özgün Değeri .....	3
1.4. Çalışmanın Literatüre Katkıları.....	3
1.5. Rüzgâr Enerjisi ve Kullanılan Malzemeler .....	4
1.6. Tekstil Yapısal Kompozitler ve Sandviç Kompozitler .....	7
1.6.1. Tekstil yapısal kompozitler .....	7
1.6.2. Sandviç kompozitler .....	8
1.6.3. Sandviç kompozitlerde bozunma tipleri .....	11
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....	14
3. MATERYAL VE METOT.....	18
3.1. PP Çuval Dokuma Kumaş ve Dikiş İpliği Özellikleri .....	18
3.2. E-Cam Dokuma Kumaş Özellikleri .....	18
3.3. Çekirdek Yapıların Üretimi.....	19
3.3.1. Çekirdek yapıların dikim işlemi .....	19
3.3.2. Çekirdek yapıların kalıplanması .....	20
3.3.3. Çekirdek yapıların birim-hücre geometrisi.....	22
3.4. Dış Yüzey Kompozitlerin Üretimi .....	24
3.5. Sandviç Kompozitlerin Üretimi .....	24
3.6. Sandviç Kompozitlere Uygulanan Testler .....	29
3.6.1. Kumaş çekme dayanımı testi .....	29
3.6.2. Dikiş dayanımı testi .....	30
3.6.3. Kompozit yoğunluğu testi .....	32
3.6.4. Lif miktarı tayini.....	32
3.6.5. Çekme testi .....	33
3.6.6. Eğme testi .....	33
3.6.7. Basma testi.....	35
3.6.8. Darbe testi.....	35
3.6.9. Optik mikroskop analizi .....	36

4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	37
4.1. Kumaş Kopma Dayanımı Test Sonuçları.....	37
4.2. Dikiş Dayanımı Test Sonuçları .....	38
4.3. Kompozit Yoğunluğu ve Kalınlık Sonuçları.....	41
4.4. Lif Miktarı Test Sonuçları.....	44
4.5. Çekme Testi Sonuçları .....	44
4.6. Eğme Testi Sonuçları .....	45
4.6.1. Eğme dayanımı ve modülü.....	45
4.6.2. Çekirdek kayma dayanımı ve dış yüzey gerilmesi .....	54
4.7. Basma Testi Sonuçları.....	56
4.8. Darbe Testi Sonuçları.....	62
4.8.1. Darbe dayanımı ve absorplanan enerji .....	62
4.8.2. Darbe sonrası bozunma .....	76
5. SONUÇLAR.....	87
KAYNAKLAR.....	94
ÖZGEÇMİŞ.....	99

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa No

Çizelge 1.1. Rüzgâr türbini kanat malzemelerinin özellikleri (Uysal, 2008; Berthelot, 1999).....	7
Çizelge 3.1. PP çuval dokuma kumaş ve dikiş ipliğinin özellikleri .....	18
Çizelge 3.2. E-cam dokuma kumaşın özellikleri .....	19
Çizelge 3.3. Çekirdek yapıların birim-hücrelerinin geometrik özellikleri.....	23
Çizelge 3.4. Geliştirilen çekirdek yapı ve sandviç kompozitlerin tanımlanması .....	25
Çizelge 3.5. Uygulanan testler ve kullanılan test standartları .....	29
Çizelge 4.1. Kumaş kopma dayanımı test sonuçları.....	37
Çizelge 4.2. Dikiş dayanımı test sonuçları .....	39
Çizelge 4.3. Düzlemsel çekirdek yapıların kalınlık ve yoğunluk değerleri .....	42
Çizelge 4.4. Düzlem-dışı çekirdek yapıların kalınlık ve yoğunluk değerleri.....	42
Çizelge 4.5. Dış yüzey kompozit ve düzlemsel sandviç kompozitlerin kalınlık ve yoğunluk değerleri.....	43
Çizelge 4.6. Düzlem-dışı sandviç kompozitlerin kalınlık ve yoğunluk değerleri .....	44
Çizelge 4.7. Dış yüzey kompozit ve çekirdek yapıların lif miktarları.....	44
Çizelge 4.8. Dış yüzey kompozit yapının çekme testi sonuçları .....	44
Çizelge 4.9. Düzlemsel sandviç kompozitlerin eğme dayanım ve modül değerleri.....	45
Çizelge 4.10. Düzlem-dışı sandviç kompozitlerin eğme dayanım ve modül değerleri.....	51
Çizelge 4.11. Düzlemsel sandviç kompozitlerin çekirdek kayma dayanımı ve dış yüzey gerilmesi değerleri .....	54
Çizelge 4.12. Düzlem-dışı sandviç kompozitlerin çekirdek kayma dayanımı ve dış yüzey gerilmesi değerleri .....	56
Çizelge 4.13. Düzlemsel sandviç kompozitlerin basma testi sonuçları.....	57
Çizelge 4.14. Düzlem-dışı sandviç kompozitlerin basma testi sonuçları .....	60
Çizelge 4.15. Düzlemsel sandviç kompozitlerin darbe testi sonuçları .....	63
Çizelge 4.16. Düzlem-dışı sandviç kompozitlerin darbe testi sonuçları .....	72

Çizelge 4.17. Düzlemsel sandviç kompozitlerin darbe testi sonrası bozunma ölçüm sonuçları ..... 76

Çizelge 4.18. Düzlem-dışı sandviç kompozitlerin darbe testi sonrası bozunma ölçüm sonuçları ..... 83



## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

Şekil 1.1. Türkiye’deki rüzgâr santralleri yıllık elektrik üretimi (URL-1).....	5
Şekil 1.2. Türkiye’de rüzgâr ile elektrik üretiminin toplam tüketimi karşılama oranı (URL-1).....	5
Şekil 1.3. Yatay eksenli rüzgâr türbini kanadı, bölgeleri ve kanat kesiti (Kaya ve Koç, 2015).....	6
Şekil 1.4. Modern rüzgâr türbin kanadı (URL-2).....	7
Şekil 1.5. Sandviç kompozit şematik görüntüsü (Ratwani, 2010). ....	8
Şekil 1.6. Farklı çekirdek malzeme örnekleri ile üretilen sandviç kompozitlerin şematik görüntüsü (Ratwani, 2010).....	9
Şekil 1.7. Bal peteği çekirdek yapı (URL-4).....	10
Şekil 1.8. Sandviç yapılarıdaki genel bozunma tipleri (Ratwani, 2010). ....	12
Şekil 2.1. Tübüler birim hücre yapısında PP çekirdek (a), PP/PP sandviç kompozit (b) (Cabrea ve ark., 2008). ....	15
Şekil 2.2. Çekirdek kesimi (a), kürleşmiş çekirdek yapı (b), sandviç kompozitin bozunma davranışı (c) (Xu ve ark., 2016).....	16
Şekil 2.3. Dikişin şematik gösterimi (a), sandviç kompozit kesit görüntüsü (b) (Lascoup ve ark., 2006). ....	16
Şekil 2.4. Çekirdek dokumanın şematik gösterimi (a), sandviç kompozitin bozunma davranışı (b) (Fan ve ark., 2012). ....	16
Şekil 2.5. Sandviç kompozitin şematik gösterimi (a) ve kesit görüntüsü (b) (George ve ark., 2014).....	17
Şekil 3.1 PP çuval dokuma kumaşın mikroskopik görüntüsü ( $\times 10$ büyütme oranı).....	18
Şekil 3.2. E-cam dokuma kumaşın mikroskopik görüntüsü ( $\times 0.8$ büyütme oranı).....	19
Şekil 3.3 PP çuval dokuma kumaş katmanlarının çizilmesi.....	20
Şekil 3.4. PP çuval dokuma kumaş katmanlarının dikilmesi. ....	20
Şekil 3.5. Çekirdek yapının dikim işlemi, (a); dikiş makinesi, (b); dikim esnasındaki görüntü, (c); dikilmiş katmanlı yapı. ....	20
Şekil 3.6. Çekirdek yapının kalıplanma aşamaları .....	22
Şekil 3.7. 36 mm ve 18 mm dikiş enlerindeki çekirdek yapı (6 kat) görüntüleri .....	22
Şekil 3.8. Rombus çekirdek yapının birim-hücre geometrisi. ....	23

## Sayfa No

Şekil 3.9. Birim-hücre geometrik ölçümleri.....	23
Şekil 3.10. Dış yüzey kompozitlerin üretim aşamaları.....	24
Şekil 3.11. Sandviç kompozitlerin yapılandırılma görüntüleri.....	25
Şekil 3.12. Düzlemsel ve düzlem-dışı çekirdek yapıların görüntüleri .....	27
Şekil 3.13. Ticari PP ve alüminyum balpeteği çekirdek yapıların görüntüleri.....	28
Şekil 3.14. Düzlemsel ve düzlem-dışı sandviç kompozitlerin görüntüleri.....	28
Şekil 3.15. Ticari PP ve alüminyum balpeteği çekirdek yapılar kullanılarak üretilen sandviç kompozitlerin görüntüleri.....	28
Şekil 3.16. Kumaş çekme dayanımı test numunelerinin hazırlık ve test görüntüleri .....	30
Şekil 3.17. Dikiş dayanımı test numunelerinin hazırlık görüntüleri.....	30
Şekil 3.18. Dikiş dayanımı test numunesi .....	31
Şekil 3.19. Kumaş numunelerinin dikiş dayanımı test görüntüleri .....	31
Şekil 3.20. Kompozit yoğunluğu testi .....	32
Şekil 3.21. Çekme testi esnasında numune görüntüleri.....	33
Şekil 3.22. Eğme testi esnasında numune görüntüleri.....	34
Şekil 3.23. Basma testi esnasında numune görüntüleri .....	35
Şekil 3.24. Darbe test cihazı ve test numunesinin çerçeveye yerleşimi .....	36
Şekil 3.25. Darbe sonrası hasar analizi ölçümleri ve çökme derinliği ölçüm cihazı.....	36
Şekil 3.26. Optik mikroskop.....	36
Şekil 4.1. Kumaş kopma dayanımı testi yük-uzama eğrileri, (a); çözü, (b); atkı .....	37
Şekil 4.2. Kumaşların kopma dayanımı testi sonrasındaki kırılma görüntüleri .....	38
Şekil 4.3. Kumaşların kopma dayanımı testi sonrasındaki mikroskobik kırılma görüntüleri (x7 büyütme) .....	38
Şekil 4.4. Çözgü yönündeki dikiş dayanımı testi yük-uzama eğrileri, (a); 3 adım/cm, (b); 6 adım/cm.....	40
Şekil 4.5. Atkı yönündeki dikiş dayanımı testi yük-uzama eğrileri, (a); 3 adım/cm, (b); 6 adım/cm.....	40

Şekil 4.6. Kumaşların dikiş dayanımı testi sonrasındaki mikroskobik kırılma görüntüleri (x7 büyütme) .....	41
Şekil 4.7. Çekme testi yük-uzama eğrisi .....	45
Şekil 4.8. Düzlemsel sandviç kompozitlerin eğme testi sonuçları, (a); eğme yükü, (b); eğme dayanımı, (c); eğme modülü .....	48
Şekil 4.9. Dış yüzey kompozitin eğme dayanımı-deformasyon eğrisi .....	48
Şekil 4.10. Düzlemsel sandviç kompozitlerin eğme dayanımı-deformasyon eğrileri, (a); L hücre-3 adım/cm, (b); L hücre-6 adım/cm, (c); S hücre-3 adım/cm, (d); S hücre-6 adım/cm dikiş yoğunluğu .....	49
Şekil 4.11. Düzlemsel sandviç kompozitlerin eğme testi sonrası kırılma görüntüleri .....	50
Şekil 4.12. Düzlem-dışı sandviç kompozitlerin eğme testi sonuçları, (a); eğme yükü, (b); eğme dayanımı, (c); eğme modülü .....	51
Şekil 4.13. Düzlem-dışı sandviç kompozitlerin eğme dayanımı-deformasyon eğrileri, (a); 3 adım/cm, (b); 6 adım/cm, (c); RS-PP, RS-ALL, RS-ALS .....	52
Şekil 4.14. Düzlemsel sandviç kompozitlerin eğme testi sonrası kırılma görüntüleri .....	53
Şekil 4.15. Düzlemsel sandviç kompozitlerin eğme testi sonuçları, (a); çekirdek kayma dayanımı, (b); dış yüzey gerilmesi .....	55
Şekil 4.16. Düzlem-dışı sandviç kompozitlerin eğme testi sonuçları, (a); çekirdek kayma dayanımı, (b); dış yüzey gerilmesi .....	56
Şekil 4.17. Düzlemsel sandviç kompozitlerin basma testi sonuçları, (a); basma dayanımı, (b); basma modülü .....	57
Şekil 4.18. Düzlemsel sandviç kompozitlerin basma dayanımı-deformasyon eğrileri, (a); L hücre-3 adım/cm, (b); L hücre-6 adım/cm, (c); S hücre-3 adım/cm, (d); S hücre-6 adım/cm dikiş yoğunluğu .....	58
Şekil 4.19. Düzlemsel sandviç kompozitlerin basma testi sonrası kırılma görüntüleri.....	59
Şekil 4.20. Düzlem-dışı sandviç kompozitlerin basma testi sonuçları, (a); basma dayanımı, (b); basma modülü .....	60
Şekil 4.21. Düzlem-dışı sandviç kompozitlerin basma dayanımı-deformasyon eğrileri, (a); 3 adım/cm, (b); 6 adım/cm, (c); RS-PP, RS-ALL, RS-ALS .....	61
Şekil 4.22. Düzlem-dışı sandviç kompozitlerin basma testi sonrası kırılma görüntüleri ....	62
Şekil 4.23. Düzlemsel sandviç kompozitlerin darbe testi maksimum kuvvet değerleri.....	64
Şekil 4.24. Düzlemsel sandviç kompozitlerin darbe testi absorplanan enerji-deformasyon değerleri.....	65

Şekil 4.25. Düzlemsel sandviç kompozitlerin kuvvet-zaman-enerji eğrileri, (a); 2KS-3L ve 2KS-3S (20J), (b); 2KS-3L ve 2KS-3S (60J), (c); 4KS-3L ve 4KS-3S (20J), (d); 4KS-3L ve 4KS-3S (60J), (e); 6KS-3L ve 6KS-3S (20J), (f); 6KS-3L ve 6KS-3S (60J).....	66
Şekil 4.26. Düzlemsel sandviç kompozitlerin kuvvet-deformasyon eğrileri, (a); 2KS-3L ve 2KS-3S (20J), (b); 2KS-3L ve 2KS-3S (60J), (c); 4KS-3L ve 4KS-3S (20J), (d); 4KS-3L ve 4KS-3S (60J), (e); 6KS-3L ve 6KS-3S (20J), (f); 6KS-3L ve 6KS-3S (60J).....	67
Şekil 4.27. Düzlemsel sandviç kompozitlerin kuvvet-zaman-enerji eğrileri, (a); 2KS-6L ve 2KS-6S (20J), (b); 2KS-6L ve 2KS-6S (60J), (c); 4KS-6L ve 4KS-6S (20J), (d); 4KS-6L ve 4KS-6S (60J), (e); 6KS-6L ve 6KS-6S (20J), (f); 6KS-6L ve 6KS-6S (60J).....	69
Şekil 4.28. Düzlemsel sandviç kompozitlerin kuvvet-deformasyon eğrileri, (a); 2KS-6L ve 2KS-6S (20J), (b); 2KS-6L ve 2KS-6S (60J), (c); 4KS-6L ve 4KS-6S (20J), (d); 4KS-6L ve 4KS-6S (60J), (e); 6KS-6L ve 6KS-6S (20J), (f); 6KS-6L ve 6KS-6S (60J).....	70
Şekil 4.29. R6KS-6S sandviç kompozitin kuvvet-deformasyon eğrisi, (a); 20J, (b); 60J... 71	
Şekil 4.30. Düzlem-dışı sandviç kompozitlerin darbe testi maksimum kuvvet değerleri ... 72	
Şekil 4.31. Düzlem-dışı sandviç kompozitlerin darbe testi absorplanan enerji-deformasyon değerleri.....	73
Şekil 4.32. Düzlem-dışı sandviç kompozitlerin kuvvet-zaman-enerji eğrileri, (a); R6KS-3Lve R6KS-3S (20J), (b); R6KS-3Lve R6KS-3S (60J), (c); R6KS-6Lve R6KS-6S (20J), (d); R6KS-6Lve R6KS-6S (60J), (e); RS-PP, RS-ALL ve RS-ASS (20J), (f); RS-PP, RS-ALL ve RS-ASS (60J) .....	74
Şekil 4.33. Düzlem-dışı sandviç kompozitlerin kuvvet-deformasyon eğrileri, (a); R6KS-3Lve R6KS-3S (20J), (b); R6KS-3Lve R6KS-3S (60J), (c); R6KS-6Lve R6KS-6S (20J), (d); R6KS-6Lve R6KS-6S (60J), (e); RS-PP, RS-ALL ve RS-ASS (20J), (f); RS-PP, RS-ALL ve RS-ASS (60J) .....	75
Şekil 4.34. Düzlemsel sandviç kompozitlerin darbe testi sonrası üst yüzey (20J) ve alt yüzey (60J) çökme derinliği değerleri .....	77
Şekil 4.35. Düzlemsel sandviç kompozitlerin darbe testi sonrası üst yüzey (20J) ve alt yüzey (60J) deformasyon eni-boyu .....	78
Şekil 4.36. 2 katlı düzlemsel sandviç kompozitlerin darbe testi sonrası bozunma görüntüleri .....	79
Şekil 4.37. 4 katlı düzlemsel sandviç kompozitlerin darbe testi sonrası bozunma görüntüleri .....	81

Şekil 4.38. 6 katlı düzlemsel sandviç kompozitlerin darbe testi sonrası bozunma görüntüleri .....	82
Şekil 4.39. Düzlem-dışı sandviç kompozitlerin darbe testi sonrası üst yüzey (20J) ve alt yüzey (60J) çökme derinliği değerleri .....	84
Şekil 4.40. Düzlem-dışı sandviç kompozitlerin darbe testi sonrası üst yüzey (20J) ve alt yüzey (60J) deformasyon eni-boyu .....	84
Şekil 4.41. Düzlem-dışı sandviç kompozitlerin darbe testi sonrası bozunma görüntüleri ..	86



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<b>A</b>	: Rombus alanı
<b>a</b>	: Taban kenar uzunluğu
<b>adım/cm</b>	: Santimetredeki dikiş adım sayısı
<b>ASTM</b>	: Amerikan Standartlar Kurumu
<b>b</b>	: Numune eni
<b>b</b>	: Sandviç eni
<b>c</b>	: Çekirdek kalınlığı
<b>c</b>	: Kompozit yoğunluğu
<b>cm</b>	: Santimetre
<b>cN/tex</b>	: İplik mukavemeti
<b>d</b>	: Numune kalınlığı
<b>D</b>	: Numunenin merkezindeki maksimum deformasyon
<b>d</b>	: Sandviç kalınlığı
<b>ε</b>	: Deformasyon
<b>E</b>	: Dikiş verimliliği
<b>E</b>	: Eğilme modülü
<b>F</b>	: Lif yoğunluğu
<b>F<sub>b</sub></b>	: Kumaş kopma kuvveti
<b>g</b>	: Gram
<b>g/cm<sup>3</sup></b>	: Yoğunluk birimi
<b>g/m<sup>2</sup></b>	: Kumaşın birim alan ağırlığı
<b>h</b>	: komşu olmayan iki kenar arasındaki dikey uzaklık
<b>ISO</b>	: Uluslararası Standartlar Kurumu
<b>IWTSC</b>	: Integrated woven textile sandwich composite
<b>kg</b>	: Kilogram
<b>kg/m<sup>3</sup></b>	: Yoğunluk birimi
<b>L</b>	: Destek mesafesi
<b>L</b>	: Dikiş eni 36 mm olan çekirdek yapının birim-hücre
<b>m<sup>2</sup></b>	: Metrekare
<b>mm</b>	: Milimetre
<b>mm/dak</b>	: Test hızı
<b>mm<sup>2</sup></b>	: Milimetrekare

<b>MW</b>	: Mega Watt
<b>N</b>	: Newton
<b>NFRDI</b>	: Nanjing Fiberglass Research and Design Institute
<b>P</b>	: Yk
<b>PET</b>	: Polietilen tereftalat
<b><math>P_{max}</math></b>	: Maksimum yük
<b>PP</b>	: Polipropilen
<b>PU</b>	: Poliüretan
<b>PVC</b>	: Polivinilklorür
<b>S</b>	: Destek mesafesi
<b>S</b>	: Dikiş eni 18 mm olan çekirdek yapının birim-hücresi
<b>S</b>	: Eğme dayanımı
<b>S<sub>s</sub></b>	: Dikiş dayanımı
<b><math>t</math></b>	: Dış yüzey kompozit kalınlığı
<b>tel/cm</b>	: Santimetredeki tel sayısı
<b>tex</b>	: İplik lineer yoğunluğu
<b>tur/m</b>	: Metredeki iplik bükümü
<b>UK</b>	: Birleşik Krallık
<b>w</b>	: Kompozit ağırlığı
<b>W</b>	: Lif ağırlığı
<b>Z</b>	: Saç yönlü iplik bükümü
<b><math>\sigma</math></b>	: Dış yüzey gerilimi
<b><math>F_s^{ult}</math></b>	: Çekirdek kayma dayanımı
<b>°C</b>	: Derece Celcius
<b>3D</b>	:  boyutlu

# 1. GİRİŞ

## 1.1. Çalışmanın Önemi

Tekstil yapısal kompozitler, mühendislik uygulamalarında, çok sayıda yapısal parçanın üretiminde kullanılmaktadır. Bunun nedeni, tekstil yapısal kompozitlerin hafiflik, yüksek dayanım ve modül değerleri, yüksek yorulma direnci ve korozyon direncinin yanı sıra, kompleks geometrik şekillerdeki parçaların üretimine imkân vermesidir.

Elektrik enerjisi, gerek günlük yaşamın idame ettirilmesi, gerekse endüstriyel ve teknolojik bakımdan vazgeçilmez bir ihtiyaçtır. Ayrıca enerji, ülkelerin kalkınmasında önemli bir faktördür. Bu nedenle ülkelerin gelişmişlik seviyeleri belirlenirken üretim ve tüketim yapılan enerji miktarlarının tamamı göz önünde bulundurulmaktadır. Dünya genelinde ve ülkemizde de yenilenemeyen enerji kaynağı tüketimi yaygındır. Rüzgâr enerjisi; doğal, yenilenebilir, temiz ve sonsuz bir kaynaktır. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı resmi verilerine göre; Türkiye'nin tahmin edilen rüzgâr enerjisi potansiyeli yaklaşık 48.000 MW'tır. 2016 yılı sonu itibarıyla işletmede olan lisanslı rüzgâr enerji santrallerinin kurulu gücü ise 5.751,3 MW'tır. Bu kaynağın değerlendirilmesi, hem ülkemiz hem de insanlık açısından oldukça önemlidir. 2023 hedefi, rüzgâr kurulu gücünde 20.000 MW'a ulaşmaktır. Bu amaçla, çeşitli teşvik mekanizmaları ile yatırımcıların bu alana yönlendirilmesi ile ilgili çalışmalar yürütülmektedir. Burada, yerli türbin üretimi ile ilgili dışa bağımlılığın önüne geçmek adına atılacak adımlar çok önemlidir. Enerjide bağımsız ve daha güçlü bir konuma gelmenin yollarından birisi de, özellikle bu alana hitap eden özgün malzemelerin geliştirilmesini zaruri kılmaktadır.

Ülkemizin coğrafi konumu ve yapısı, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılabilirliği bakımından oldukça önemlidir ve rüzgâr enerjisi düşük maliyetle çevre kirliliğinden uzaklaşarak elektrik üretiminde, günümüzde giderek yaygınlaşmaktadır. Rüzgâr türbini kanatlarından en büyük beklenti; uzun sürede dayanıklılığını koruması, aerodinamik olarak türbinin enerji verimliliğine ilave katkı sağlaması, tüm dış etkenlere karşı bütünlüğünü ve yüzey kalitesini kaybetmemesidir. Bu özellikleri sağlamak için de rüzgâr türbinlerinin önemli kısımları tekstil yapısal kompozitlerden üretilmektedir. İki tabaka arasına, farklı bir formdaki farklı bir malzemenin yerleştirilmesi ile elde edilen yapılara sandviç kompozitler adı verilir. Rüzgâr türbini kanatlarının bazı yapısal kısımları sandviç kompozittir. Sandviç kompozitler, mekanik performanslarının yanı sıra hafifliklerinden dolayı, gittikçe artan bir

ilgiye sahiptir. Ancak, hafiflik denildiğinde bunun sandviç kompozitin doğasından gelen bir özellik olarak algılanması doğru değildir. Burada, sandviç kompozitin maruz kalacağı yükleme durumlarına uygun tasarım öğelerini barındıran bir mühendislik yaklaşımı söz konusudur. Çekirdek, sandviç kompozitin mekanik özelliklerinin büyük ölçüde kazandırıldığı bileşendir. Sandviç kompozitlerde kullanılan çekirdek kısmı, kompozit malzemenin atalet momentini ve eğilme dayanımını artırmaktadır. Çekirdek ve dış yüzey bileşenlerinin kombinasyonu, birçok uygulama alanı için enerji tasarrufunun sağlandığı, daha hızlı ve daha efektif çözümler üretilmesi mümkündür. Örneğin; rüzgâr enerjisinde megawatt başına rekabet edebilir fiyatlarla ulaşılması, taşımacılıkta konteynır veya tır yapılarının daha fazla yük taşıyabilecek ve yakıt tasarrufu sağlayabilecek hafiflikte tasarlanması gibi. Diğer bazı malzeme karakteristiklerinin yanı sıra, kullanım alanına uygun çekirdek malzeme seçimleriyle, sandviç kompozitlere örneğin; termal yalıtım, düşük su absorpsiyonu, ses ve dielektrik özellikler kazandırabilir. Rüzgâr türbini kanatlarındaki sandviç kompozitlerde, çekirdek malzeme olarak yaygın şekilde PVC (polivinilklorür) ve PET (polietilen tereftalat) köpük, balsa ağacından yapılmış çeşitli kalınlıklardaki levhalar veya alüminyum, Nomex ve PP (polipropilen) gibi malzemelerden üretilen balpeteği görümlü yapılar kullanılmaktadır. Bahsi geçen çekirdek malzemelerin ortak özelliği ise, yüksek maliyetli olmalarıdır.

Düşük maliyetle çevre kirliliğinden uzaklaşarak gerçekleştirilecek elektrik üretimi, beraberinde bu teknolojilere uygun daha etkili ve ekonomik malzemelerin geliştirilmesi ihtiyacını doğurmaktadır. Araştırmaların ekonomiklik boyutu, harcıâlem malzemelerin ileri teknoloji ürünlere dönüştürülmesi esasına dayanan çalışmalara ivme kazandırmıştır. Günümüzde çevresel etkileri azaltmaya hizmet eden, düşük maliyetli/yüksek performanslı ürünlerin geliştirilmesi önemli bir gereksinimdir.

## **1.2. Çalışmanın Amacı**

Bu çalışmada, katmanlı PP çuval dokuma kumaşlar, dikiş yöntemi ile birleştirilerek sandviç kompozitler için geometrik hücreli özgün çekirdek yapılar geliştirilmiştir. Geliştirilen çekirdek yapılar kullanılarak üretilen sandviç kompozitlerin, eğme, basma ve darbe davranışları incelenerek, hasar dayanımları belirlenmiştir. Bu tez çalışması ile PP çuval dokuma kumaş, tasarımsal bir sandviç çekirdek malzemesine dönüşerek ve düşük maliyetle katma değeri yüksek bir ürün geliştirilmiştir.

### 1.3. Çalışmanın Özgün Değeri

Tez çalışması genel anlamda bakıldığında;

- PP çuval dokuma kumaştan, dikiş yöntemleri ile geometrik hücreli özgün çekirdek yapılar geliştirilmesi ve böylece sıradan ürünlerin bilinen yöntemlerle teknolojik ürünlere dönüştürülmesinin sağlanması bakımından özgündür.
- Geliştirilecek sandviç kompozitlerin rüzgâr enerjisi yanında farklı endüstrilerde (otomotiv, denizcilik, inşaat, havacılık gibi) kullanılma potansiyelinin bulunması ve böylece birden fazla kullanım alanına hitap eden bir ürün ortaya çıkartılması bakımından özgündür.
- Türkiye'nin, teknik tekstil anlamında en fazla üretim/ihracat yaptığı big-bag amaçlı PP çuval dokuma kumaşın, katma değeri daha yüksek bir ürüne dönüştürülmesi ve böylece teknik tekstil esaslı yatırımların bir üst segmente taşınmasına teşvik edici bir rol oynaması bakımından özgündür.

Tez çalışması teknik anlamda bakıldığında;

- Literatürde sandviç kompozitlere yönelik olarak, katmanlı dokuma kumaşın dikiş yöntemleri ile birleştirilmesi esasına dayanan çekirdek yapı üretimi bulunmamaktadır. Bu proje kapsamında geliştirilecek olan çekirdek yapılar tamamen özgündür.
- Geliştirilecek çekirdek yapıların hem düzlemsel (in-plane) hem de düzlem-dışında (out-of-plane) çift yönlü bir kullanım imkânı sunması ve böylece farklı kullanım alanlarına hitap etme potansiyelinin yüksek olması bakımından özgündür.
- Bu yöntem ile geliştirilecek sandviç çekirdek yapılar, hem ucuz hem de yüksek performans özelliklerine sahip olması ve en önemlisi de tasarım esnekliği sağlaması bakımından özgündür.

### 1.4. Çalışmanın Literatüre Katkıları

Mevcut alüminyum, Nomex veya PP balpeteği çekirdek yapıların sahip olduğu eksiklikler şunlardır;

- Yüksek fiyat (Nomex balpeteği: 498 TL/m<sup>2</sup>, Alüminyum balpeteği: 530 TL/m<sup>2</sup>, PP balpeteği: 207 TL/m<sup>2</sup>)
- Balpeteği yapılarda, hücre duvarlarının yapıştırılması ve dolayısıyla özellikle eğme ve basma esaslı yüklerde bu yapılaşma noktalarında oluşan delaminasyon esaslı bozunmaların gerçekleşmesi ve yapı bütünlüğünün kaybedilmesi.

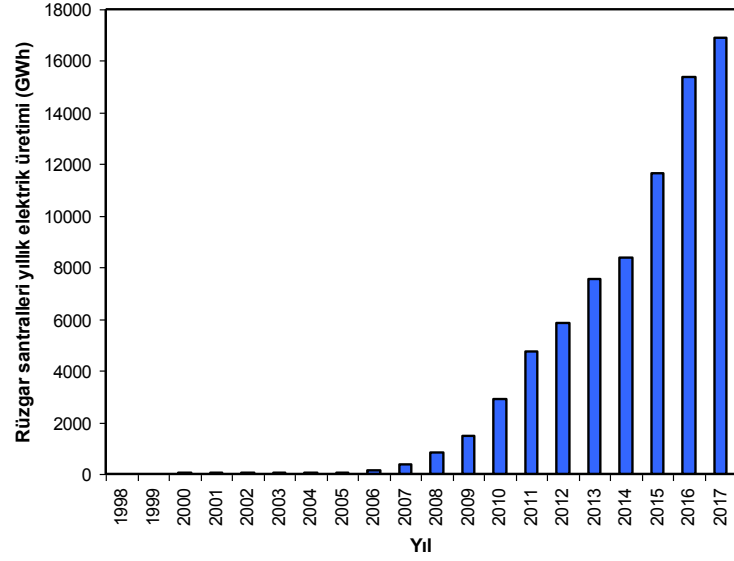
- Yükleme durumunda maruz kalınan etkiye uygun çekirdek yapı tasarımına uygun olmaması.

Bu tez çalışmasında geliştirilen çekirdek yapıların sağlayacağı katkılar ve çözüm getireceği hususlar şunlardır;

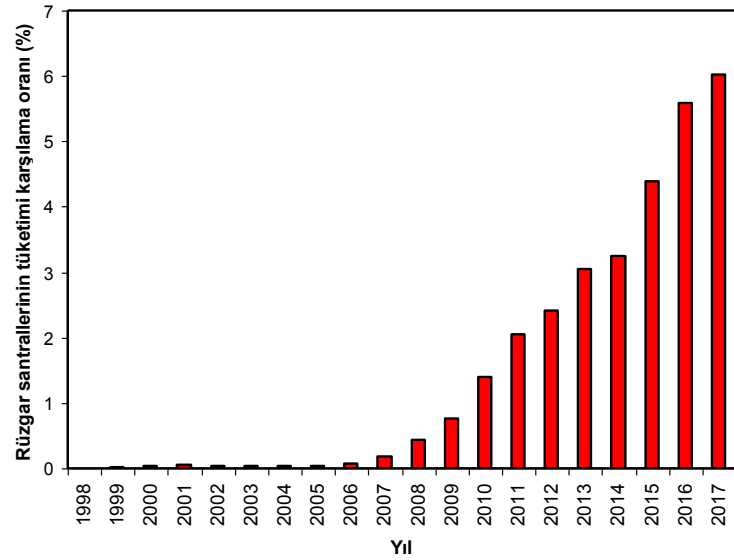
- Düşük maliyet (PP çuval dokuma kumaşın kg fiyatı 11.82 TL'dir. 1 m<sup>2</sup> 4 kat kumaş kullanılarak düzlem-dışı 1 m<sup>2</sup> çekirdek yapı üretmek mümkündür. Buna dikiş ipliği, enerji ve işçilik maliyetleri de eklendiğinde maksimum 20 TL/m<sup>2</sup>'lik bir maliyet söz konusudur. Bu da; tez kapsamında geliştirilen çekirdek yapının, alüminyum balpeteği çekirdekten 27, Nomex balpeteği çekirdekten 25 ve PP balpeteği çekirdekten 10 kat daha düşük fiyata sahip olduğunu ortaya koymaktadır).
- Dokuma kumaş gibi, yapısal parametrelerinde (lif tipi, sıklık, doku tipi, iplik numarası vb.) değişiklik yapmanın mümkün olduğu bir malzeme kullanılarak, yükleme durumuna uygun ve hatta hibrit çekirdek yapıların geliştirilmesi mümkündür. Bu da büyük ölçüde bir tasarım esnekliği sağlamaktadır.

### **1.5. Rüzgâr Enerjisi ve Kullanılan Malzemeler**

Ülkemizin coğrafi konumu ve yapısı, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılabilirliği bakımından oldukça önemlidir. Düşük maliyetle çevre kirliliğinden uzaklaşarak elektrik üretimi günümüzde giderek yaygınlaşmaktadır. Türkiye'de ilk rüzgâr santrali 1998 yılında İzmir'de kurulmuştur. Bugün tükettiği enerjinin yaklaşık %6.02'sini rüzgâr santrallerinden karşılayan ülkemizde bulunan 172 Rüzgâr Enerji Santrali ile 2016 yılında 15.369.548.000 kilovatsaat elektrik üretimi yapılmıştır. 1998 yılından 2017 yılına kadar rüzgâr ile elektrik üretimi bilgileri Şekil 1.1'de verilmiştir. Buradan görüleceği gibi, yıllar içinde rüzgâr enerjisinden elde edilen elektrik üretiminde önemli bir artış meydana gelmiştir. 1998- 2017 döneminde rüzgâr ile elektrik üretiminin toplam tüketimi karşılama oranı ise Şekil 1.2'de gösterilmiştir. 2017 yılı için ülkemizde %6.02 olan bu rakam Almanya'da %11'i bulmaktadır (URL-1).



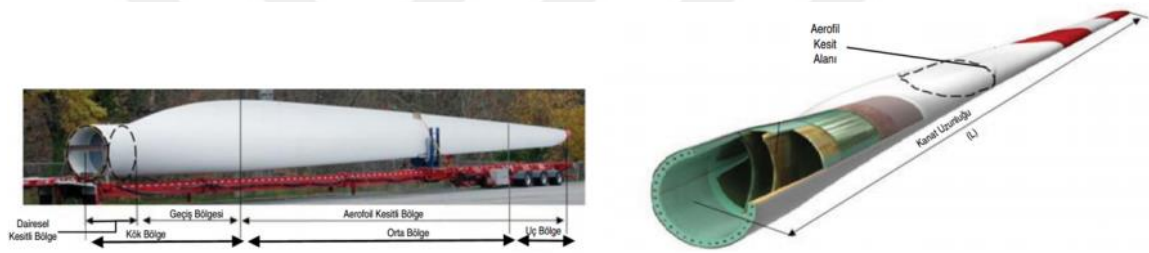
Şekil 1.1. Türkiye'deki rüzgâr santralleri yıllık elektrik üretimi (URL-1).



Şekil 1.2. Türkiye'de rüzgâr ile elektrik üretiminin toplam tüketimi karşılama oranı (URL-1).

Rüzgâr türbini kanatlarından en büyük beklenti; uzun sürede dayanıklılığını koruması, aerodinamik olarak türbinin enerji verimliliğine ilave katkı sağlaması, tüm dış etkenlere karşı bütünlüğünü ve yüzey kalitesini kaybetmemesi gibi özelliklerdir. Bu özellikleri sağlamak için de rüzgâr türbinlerinin önemli kısımları tekstil esaslı kompozit malzemelerden üretilmektedir. İki tabaka arasına, farklı bir formdaki farklı bir malzemenin yerleştirilmesi ile elde edilen yapılara sandviç kompozitler adı verilir. Rüzgâr türbini kanatları da sandviç yapıda imal edilen kompozit ürünlerdendir (Billur ve ark., 2017; Karabağ, 2011; Kaya ve Koç, 2015). Teknolojik gelişimin hızla ilerlemesi ile sektördeki

tüm firmaların ürettiği türbinlerin alt standartları iyice yükselmiş ve kanatların tasarımı, malzemesi ve üretim şekli önem kazanır olmuştur. Artık günümüzde rüzgâr türbini kanatlarının, türbin verimliliğinde önemli oranda etkisi olduğu kabul edildiğinden, mühendislik ve teknolojik olarak önemli yatırımlar yapılmakta ve sürekli gelişim/değişim yaşanmaktadır (Karabağ, 2011). Rüzgâr türbini kanatları, rüzgârın kinetik enerjisini alıp mekanik enerjiye dönüştürerek şafta ileten bileşendir. Rüzgâr türbin kanatları aerodinamik ve yapısal fonksiyonuna göre; kök bölge, orta bölge ve uç bölge olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır (Şekil 1.3). Kanat kök bölgesi, kanat bağlantı noktası ile kanadın aerofoil (kanat profili) şeklini aldığı kısım arasında kalan bölge olup, kanadın en fazla zorlanmaya maruz kalan bölgesidir. Bu kısmın başlarında; kanat dairesel bir kesit alanına sahiptir. Kanat orta bölgesi, kanadın güç üretiminde en önemli bölge olup, bu kısmın tasarımında aerodinamik parametreler göz önünde bulundurulmaktadır (Schubel ve Crossley, 2012).

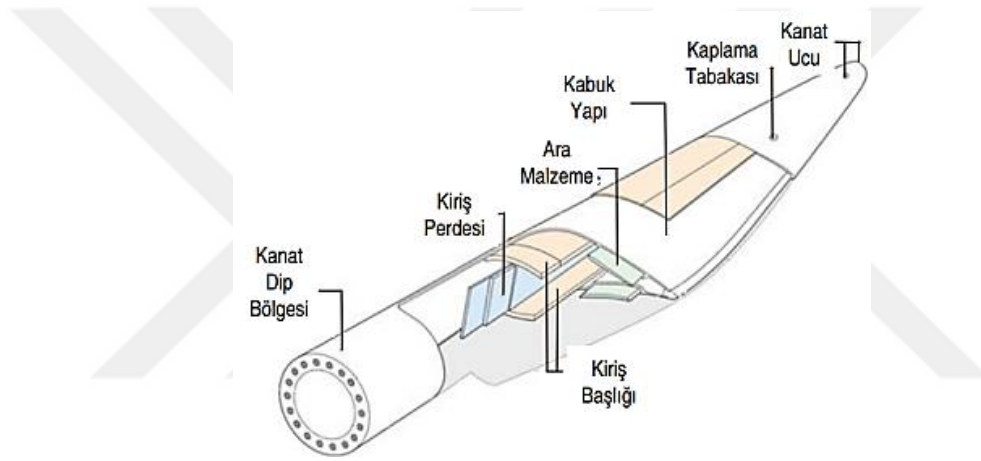


Şekil 1.3. Yatay eksenli rüzgâr türbin kanadı, bölgeleri ve kanat kesiti (Kaya ve Koç, 2015).

Günümüzde küçük boyutlardaki rüzgâr türbin kanatlarında çelik ve alüminyum, büyük rüzgâr türbin kanatlarında ise cam ve karbon lifi takviyeli kompozitler yaygın olarak kullanılmaktadır. Rüzgâr türbin kanatlarında kullanılan bazı malzemelerin bazı mekanik özellikleri Çizelge 1.1’de verilmiştir (Uysal, 2008; Berthelot, 1999). Çizelge 1.1’de, rüzgâr türbin kanadı imalatı için en uygun malzemelerin kompozitler olduğu görülmektedir. Rüzgâr türbini, ekonomik olması ve istenilen özellikleri sağlaması nedeniyle E-Cam lifi daha çok tercih edilmektedir (Uysal, 2008). Modern rüzgâr türbin kanatlarında (Şekil 1.4), kanat kök bölgesi ile kanat dış yapısı cam elyaf ya da karbon elyaf takviyeli epoksi kompozit malzemelerden, iç destek yapı olarak bilinen kiriş perdesi ile kiriş başlığı ise sandviç kompozit malzemelerden imal edilmektedir. Sandviç kompozitlerde matris ve takviye malzemelerinin yanında, çekirdek (core) malzemeler de kullanılmakta olup, bu malzemeler kanadın eğilme dayanımını ve rijitliğini arttırmaktadır (URL-3).

Çizelge 1.1. Rüzgâr türbin kanat malzemelerinin özellikleri  
(Uysal, 2008; Berthelot, 1999).

	Özgül ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	Kopma mukavemeti (MPa)	Elastik modül (GPa)
Çelik	7,85	52	210
Alüminyum alaşımı (AlZnMgCu)	2,7	480	70
Alüminyum alaşımı (AlMg <sub>5</sub> )	2,7	236	70
Cam elyaf/epoksi kompozit	1,7	420	15
Karbon elyaf/epoksi kompozit	1,4	550	44
Ağaç (sitka spruce)	0,38	65	8



Şekil 1.4. Modern rüzgâr türbin kanadı (URL-2).

## 1.6. Tekstil Yapısal Kompozitler ve Sandviç Kompozitler

### 1.6.1. Tekstil yapısal kompozitler

Tekstil yapısal kompozitler, 1940'lı yıllardan bu yana, özellikle termoset esaslı polimerlerdeki gelişmelere bağlı olarak, havacılıktan otomotive birçok endüstriyel alanda kullanılmaya başlanmıştır. Bunun nedeni; hafiflik, yüksek dayanım ve modül değerleri, yüksek yorulma direnci ve korozyon direncinin yanı sıra, kompleks geometrik şekillerdeki parçaların üretimine imkan vermesidir (Hoa, 2009).

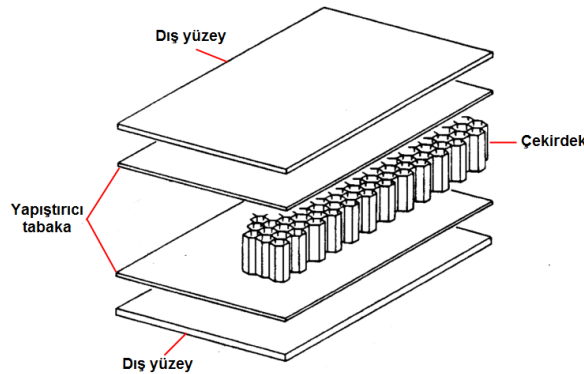
Kompozit malzemelerde, yüksek spesifik özelliklere makul fiyatlarda ulaşma isteğinin çeşitli endüstriyel uygulama alanları için giderek artması, cam/PP lif esaslı kompozit yapılarla ilgili çok sayıda araştırmaların önünü açmıştır (Thomason, 2002; Thomason, 2007; Bureau ve ark., 2002; Bureau ve ark., 2004; Vina ve ark., 2011; Seo ve ark., 2000; Hamada ve ark., 2000). Cam lifleri, fiyat/performans analizi yapıldığında, yüksek dayanım ve

uzama değerleri bakımından iyi mekanik özellikler sunmaktadır. Ancak, karbon liflerine kıyasla cam liflerinin modül değerleri daha düşüktür ve lif/matris ara-yüz özellikleri incelendiğinde, cam liflerinin daha düşük bir yapışma özelliği sergilediği ve bunun da statik mekanik özellikleri düşürdüğü ifade edilmektedir (Mader, 1990; Kim ve Sham, 2000; Sorrentino, 2015).

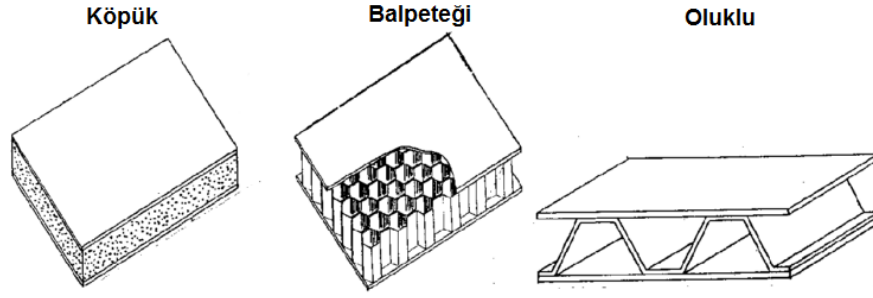
Atkı ve çözüğü adı verilen iki iplik grubunun dik açıda birbiriyle kesişmesi ve bağlantılar yapması neticesinde oluşan dokuma kumaş, daha dayanıklı (stabil) bir davranış göstermektedir. Bu özellik, dokuma kumaşlara teknik kullanım alanlarında üstün özellikler sağlamaktadır (Baser, 1998). Dokuma kumaşta mekanik özelliklerin, çözüğü ve atkı yönündeki lif oranlarının değiştirilmesiyle modifiye edilmesi mümkündür. Diğer yandan, kumaş katmanlarının kompozit yapıdaki yerleşimi de birçok mekanik özelliğe etki etmektedir. Bu şekilde elde edilen dokuma kumaşların kompozit üretiminde kullanılmalarıyla ilgili literatürde çok sayıda çalışma mevcuttur (Ullah ve ark., 2015; De Carvalho ve ark., 2012; Ishikawa ve Chou, 1982; Naik ve Shembekar, 1992a, 1992b; Whitcomb, 1991; Blacketter ve ark., 1993; Dasgupta ve ark., 1994; Kollegal ve ark., 2000; Whitcomb ve ark., 1996, 1999, 2001; Chapman ve Whitcomb, 1995).

### 1.6.2. Sandviç kompozitler

İki tabaka arasına, farklı bir formdaki farklı bir malzemenin yerleştirilmesi ile elde edilen yapılara sandviç kompozitler adı verilir. Sandviç kompozitler; ince, sert ve sağlam dış yüzey ve bu dış yüzeylerin arasında kalın ve düşük yoğunluklu bir çekirdek malzemeden oluşur (Şekil 1.5). Çekirdek malzeme olarak köpük, alüminyum, Nomex ve PP gibi hammaddelerden üretilebilen bal peteği görünümlü malzemeler veya oluklu yapılar kullanılmaktadır (Şekil 1.6). Çekirdek malzeme, dış yüzeye yapıştırıcı bir tabaka ile birleştirilir (Ratwani, 2010).



Şekil 1.5. Sandviç kompozit şematik görüntüsü (Ratwani, 2010).



Şekil 1.6. Farklı çekirdek malzeme örnekleri ile üretilen sandviç kompozitlerin şematik görüntüsü (Ratwani, 2010).

Sandviç kompozitlerin ihtiva ettiği üç bileşenin tanım ve özellikleri aşağıda verilmiştir (URL-3);

- **Dış yüzey**

Dış yüzeyler, çekirdek malzemenin üst ve alt kısmında bulunan lamine yapılardır. Dış yüzey, sandviç yapının çekme ve basma esaslı yüklerini taşır. Lokal eğilme rijitliği genellikle göz ardı edilebilecek kadar düşüktür.

- **Çekirdek**

Çekirdek yapının fonksiyonu, dış yüzeyleri destekleyerek içe veya dışa bükülmelerini önleyecek uygun pozisyonun korunmasıdır. Bu fonksiyonun yerine getirilmesi için çekirdek yapının sahip olması gereken önemli özellikler bulunmaktadır. Çekirdek yapı, dış yüzeyler arasındaki uygun mesafeyi koruyacak ve dış yüzeylerin birbiri üzerinde kaymasını önleyecek sertlikte olmalıdır. Çekirdek yapının kayma esaslı yüklere karşı zayıf özellikte olması durumunda, dış yüzeyler birlikte hareket edemez hale gelir ve böylece sandviç yapı dayanımından kaybeder. Sandviç yapıda çekirdek, oldukça kompleks gereksinimleri yerine getirme işlevine sahiptir. Sadece farklı yönlerde dayanım göstermesi veya düşük yoğunlukta olması yeterli değildir. Genel olarak, bükülme (buckling), yalıtım, nem absorpsiyonu, yaşlanma dayanımı gibi bazı spesifik beklentiler de söz konusudur.

- **Yapıştırıcı tabaka**

Sandviç yapıda dış yüzey ve çekirdek arasındaki bütünlüğün sağlanması ve korunması için, yapıştırıcı tabakanın kayma esaslı yükleri dış yüzey ve çekirdek arasında transfer etmesi gerekmektedir. Yapıştırıcı, kayma ve çekme esaslı gerilmeleri karşılayabilecek yeterlikte olmalıdır. Birleşim yerindeki beklentileri netleştirmek zor olmakla birlikte, en basit ifadeyle, yapıştırıcı çekirdekle aynı kayma gerilmesini karşılayabilmelidir (URL-3).

Sandviç kompozitler aşağıdaki avantajlara sahiptir;

- Yüksek eğilme dayanımı,
- Mekanik yorulmaya karşı yüksek dayanım,
- Mekanik bağlantı noktası olmamasından dolayı, çatlak başlangıç birimlerinin oluşmaması (Ratwani, 2010).

Sandviç yapılar, bileşenlerinin sağladığı yüksek dayanım özelliklerinden dolayı yüksek performans gerektiren uygulamalarda tercih edilmektedir. Örneğin, eğilme testinde, sandviç yapının her iki tarafındaki dış yüz, ince, sert ve dayanıklı yapısıyla düzlemsel yükleri karşılarken; çekirdek yapı ise, kalın, hafif ve daha zayıf yapısıyla kayma yükünü karşılamaktadır. Ancak, sandviç yapıların darbe yükü altında hasar toleransları genel olarak düşüktür. Düşük enerjili darbe esaslı yükler özellikle dikkate alınmalıdır. Çünkü bu tip darbe yükleri sandviç kompozitlerin mekanik dayanımlarının düşmesine neden olmaktadır. Sandviç yapıların en çok etkilenen mekanik özelliği basma dayanımıdır. Tipik bir sandviç yapıda, yapının performans ve fonksiyonunu etkileyen ve göz önünde bulundurulması gereken en önemli üç parametre; dış yüzey, çekirdek ve dış yüzey ve çekirdek arasındaki yapışma özelliğidir (Yang, 2015).

Bal peteği çekirdek kullanılarak çok hafif ve mukavemetli sandviç kompozitler elde edilebilir. Bal petekli sandviç yapılar, özellikle darbe sonucu ortaya çıkan enerjinin absorbe edildiği yüksek mekanik dayanım gerektiren alanlarda kullanılır. Bal petekli yapı, çok ince tabakaların şekillendirilmesi sonucu elde edilen hücrelerin birleştirilmesi ile oluşturulur. Bu tür yapılar, bal arılarının doğal olarak yaptıkları bal petekleri ile birebir benzerlik göstermektedir (URL-4; Chandradass ve ark., 2008). Şekil 1.7'de, bal peteği çekirdek yapıya örnek gösterilmiştir (URL-4).

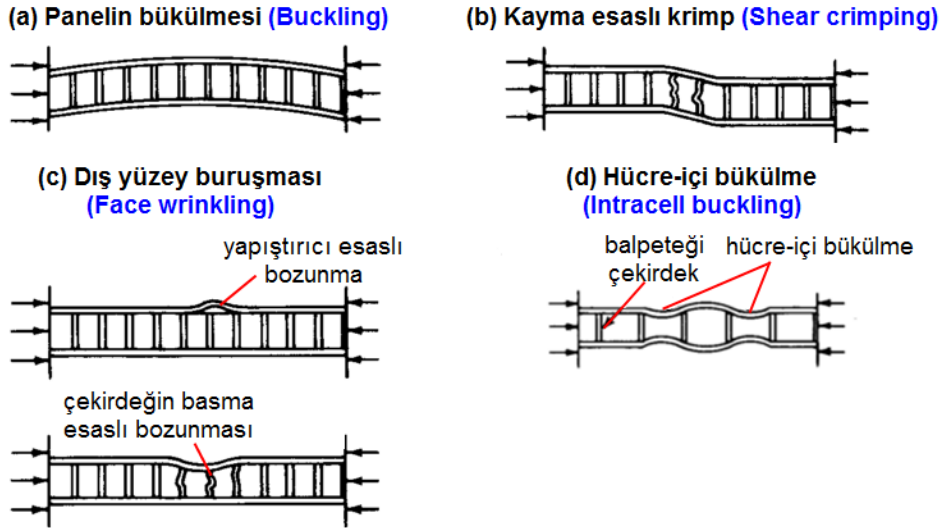


Şekil 1.7. Bal peteği çekirdek yapı (URL-4).

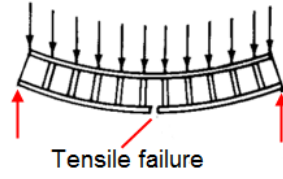
Bal peteği çekirdek yapı olarak genellikle, alüminyum, Nomex ve PP malzemeler kullanılmaktadır. PP; düşük fiyat, yüksek spesifik özellikler ve yeniden kullanım özelliklerinden dolayı, oldukça yaygın bir kullanıma sahiptir (Brandrup ve ark., 1999; Schafer ve ark., 2015). Termoplastik polimerlerin uzama özellikleri, genel olarak termoset polimerlere kıyasla daha yüksektir. Bu da, darbe esaslı yüklere maruz kalması durumunda, termoplastik esaslı kompozitlerin darbe dayanımını arttırmakta ve hasar miktarını azalmaktadır. PP bal peteği çekirdekli sandviç yapılar, hafiftir, korozyona dayanıklıdır, yüksek mukavemetlidir, ses ve ısı yalıtım özelliği yüksektir, -30/+80 C aralığında deforme olmaz, kolay kesilir, kaynak işlemi yapılabilir, yapıştırılabilir, kimyasallara, deniz suyuna, mantar ve bakterilere ve atmosferik koşullara dayanımı yüksektir. PP bal peteği çekirdekli sandviç yapıların darbe dayanımları yüksektir, şok darbe etkilerini absorbe eder, metal bal petekleri gibi “mekanik hafızası” yüksek olmadığından şekil verildiğinde aldığı formu korurlar (URL-5).

### 1.6.3. Sandviç kompozitlerde bozunma tipleri

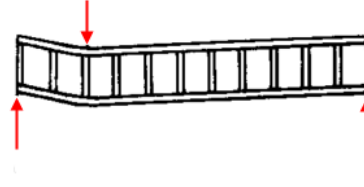
Sandviç kompozitlerdeki bozunma, tek parça kompozitlerden farklı gerçekleşmektedir. Sandviç yapılarıdaki genel bozunma tipleri, Şekil 1.8’de gösterildiği gibi sandviç yapının tasarımına ve çekirdek malzemeye bağlıdır (Ratwani, 2010).



(e) Dış yüzeyin çekme esaslı bozunması (**Tensile failure**)



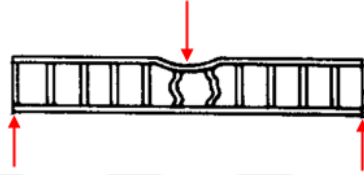
(f) Kayma esaslı enine bozunma (**Transverse shear failure**)



(g) Çekirdeğin eğme esaslı ezilmesi (**Flexural crushing**)



(h) Çekirdeğin bölgesel ezilme davranışı (**Local crushing**)



Şekil 1.8. Sandviç yapılardaki genel bozunma tipleri (Ratwani, 2010).

(a) **Buckling:** Genel olarak, panel kalınlığının veya çekirdek rijitliğinin yetersiz olmasından kaynaklanır.

(b) **Shear crimping:** Buckling neticesinde gerçekleşir. Çekirdek malzemenin düşük kayma modülünden veya yapıştırıcının düşük kayma dayanımından kaynaklanır.

(c) **Face wrinkling:** İçeride veya dışarıda gerçekleşen bu davranış, çekirdek malzemenin basma direnci veya yapıştırıcının çekme dayanımının yetersiz olmasından kaynaklanır.

(d) **Intracell buckling:** Hücresel yapılı çekirdek malzeme içeren sandviç kompozitlerde, ince dış yüzey veya büyük birim hücre boyutundaki çekirdek malzeme kullanılması durumlarında gerçekleşir. Bu bozunma davranışı, komşu hücrelere doğru ilerleyerek, dış yüzey buruşması ile sonuçlanır.

(e) **Tensile failure in facing:** Bu bozunma davranışı, yetersiz panel kalınlığı, yetersiz dış yüzey kalınlığı veya yetersiz dış yüzey dayanımından kaynaklanır.

(f) **Transverse shear failure:** Yetersiz çekirdek kayma dayanımı veya yetersiz panel kalınlığından kaynaklanır.

(g) **Flexural crushing of core:** Yetersiz çekirdek basma dayanımından kaynaklanır.

**(h) Local crushing of core:** Çekirdek malzemenin basma dayanımının yetersiz olmasından kaynaklanır (Ratwani, 2010).

Bir sandviç yapı, üretimi ve kullanımı esnasında maruz kaldığı yükleme durumlarına karşı dayanım gösterebilecek özelliklerde tasarlanmalıdır. Ayrıca, kullanım esnasındaki koşullarda yapı bütünlüğünü koruyabilmelidir. Sandviç tasarımında göz önünde bulundurulması gereken parametreler şunlardır;

- Dış yüzeyler, uygulanan yüklere bağlı olarak ortaya çıkan çekme, basma ve kayma esaslı gerilimlere dayanım göstermelidir.
- Çekirdek yapı, uygulanan yüklere bağlı olarak ortaya çıkan kayma esaslı gerilimlere karşı yeterli rijitlikte olmalıdır.
- Çekirdek yapı, yük altında sandviç yapının bütünüyle bükülmesini (buckling) önleyebilecek yeterli kayma modülüne sahip olmalıdır.
- Çekirdek hücreleri, dış yüzeylerin uyguladığı yük altında hücre içi bükülmeyi önlemesi için yeteri kadar küçük olmalıdır.
- Çekirdek yapı, dış yüzeylerin normal doğrultusunda uygulanan yüklerden veya eğme esaslı basma gerilimlerinden kaynaklanan ezilmelere karşı yeterli basma dayanımına sahip olmalıdır.
- Sandviç yapı, uygulanan yük altında aşırı deformasyona uğramaması için yeterli eğilme ve kayma rijitliğine sahip olmalıdır. Sandviç yapı bileşenleri, kullanım koşullarında yapısal bütünlüklerini koruyabilmelidir (Ratwani, 2010; URL-3).

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Sandviç kompozitlerde kullanılan oluklu ve balpetekli çekirdek yapılar üzerine yapılan bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir:

Shi ve ark. (2014), alüminyum bal peteğini karbon ve Kevlar® kumaşların arasına yerleştirerek kompozitler üretmiş ve bu yapıların performanslarını sadece alüminyum içeren yapılarla kıyaslamıştır. Kumaşların alüminyum çekirdekle birleştirilmesi için epoksi bazlı reçine kullanılmıştır. Yapılan testlerde, eğilme dayanımının ve enerji absorpsiyonunun büyük oranda (yaklaşık %365) arttığı görülmüştür.

Akatay ve ark. (2015), havacılık sanayinde kullanılabilir alüminyum bal peteği/cam lifi sandviç yapılar üreterek bu yapıların darbe ve darbe sonrası basma dayanımını ölçmüştür. Yapılan tekrarlı darbeler sonucu, penetrasyonun tekrar sayısı ile arttığı ve düşük enerjilerde daha fazla darbe sayısına ihtiyaç olduğu görülmüştür.

Meo ve ark. (2005), Nomex bal peteğini çekirdek ve farklı kat sayısındaki karbon kumaşları da dış yüzeyde kullanarak epoksi reçineli kompozitler üretmiştir. Üretilen kompozitlerin darbe dayanımları farklı enerjiler altında ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre bal peteği sandviç kompozitin, yapıdaki dış karbon malzemedan 8 kat daha fazla enerji absorbe ettiği görülmüştür.

Gustin ve ark. (2005), karbon veya Kevlar® kumaşların dış yüzeyde ve bal peteği/poliüretan köpüğün çekirdekte olduğu kompozit yapılar üretmiştir. Üretilen yapıların darbe, darbe sonrası basma ve çekme mukavemetleri ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerde, dış yüzeyin Kevlar® veya hibrid Kevlar®/karbon yapıda olmasının darbe ve darbe sonrası mukavemet değerlerini artırdığı görülmüştür.

Shahdin ve ark. (2009), çekirdek malzeme olarak düzensiz cam lifi, bal peteği ve köpük kullanırken, dış yüzey olarak da cam dokuma kumaşlar kullanarak sandviç yapılar üretmiştir. Bal peteği ve köpük içeren kompozitlerin, cam lifi çekirdekli olanlardan daha hafif olduğu görülmüştür. Basma ve eğilme test sonuçlarına göre ise; bal peteği ve köpük içeren sandviçlerin daha yüksek değerlere sahip olduğu görülmüştür.

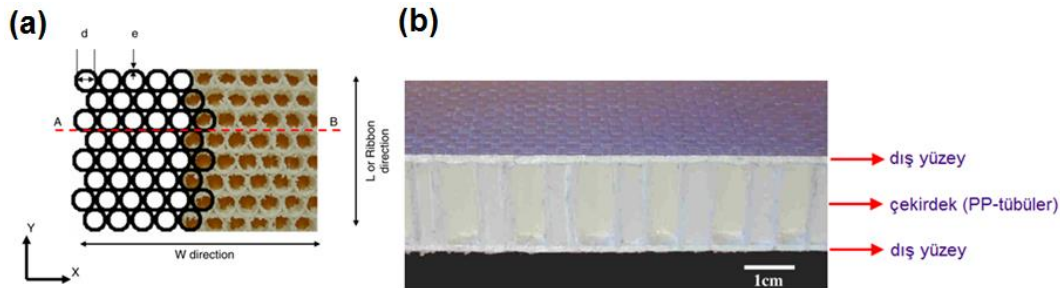
Nagasankar ve ark. (2015), PP bal peteği çekirdek üzerine tek yönlü cam kumaşlar yerleştirerek ön yapılar oluşturmuşlardır. Farklı lif yönleri ve farklı kalınlıkta balpetekleri

kullanılarak kıyaslamalar yapılmıştır. Oluşan yapılar epoksi reçine ile infüzyon yapılarak sandviç kompozitlere dönüştürülmüştür. Elde edilen kompozit yapıların sönümlenme (damping) özellikleri incelenmiştir. Test sonuçlarına göre sandviç yapıların sönümlenme özelliğinin saf cam/epoksi kompozitlerden yüksek çıktığı görülmüştür.

Tan ve Akil (2012), alüminyum plakaları PP bal peteği yapıların üstüne ve altına yerleştirilerek epoksi bazlı kompozitler üretmişlerdir. Üretilen kompozitlerin düşük enerjili darbe dayanımları ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre darbe enerji seviyesi arttıkça absorbe edilen enerji miktarının arttığı görülmüştür. Darbe sonrası incelemelerde ise delaminasyon ve kalıcı deformasyon görülmüştür.

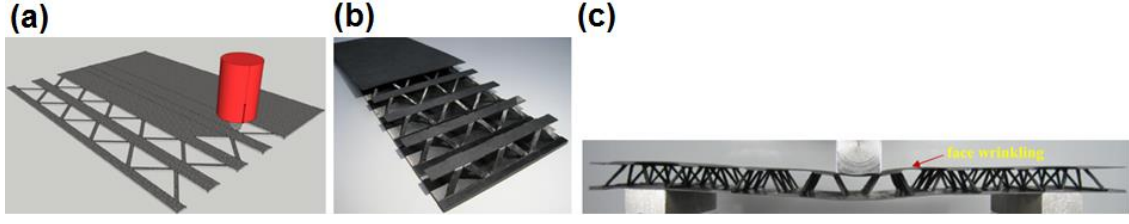
Farklı çekirdek yapı tasarımları içeren sandviç yapılara ait bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir:

Cabrea ve ark. (2008), tübüler birim hücre yapısında PP çekirdekleri yine PP dış yüzey ile birleştirilerek sandviç kompozit (Şekil 2.1) üretmiştir. Aynı çekirdek yapılar E-cam/PP hibrit iplikten bezayağı dokuma dış yüzeyler kullanılarak üretilen sandviç kompozitler ile performans özellikleri bakımından kıyaslanmıştır. %100 PP sandviç kompozitlerin daha sünek bir davranış sergilediği ve eğilme dayanımlarının E-Cam/PP yapılara kıyasla daha düşük olduğu ifade edilmiştir.



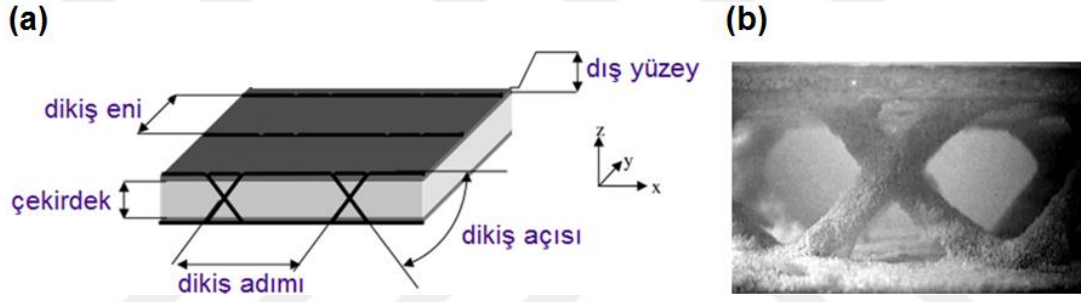
Şekil 2.1. Tübüler birim hücre yapısında PP çekirdek (a), PP/PP sandviç kompozit (b) (Cabrea ve ark., 2008).

Xu ve ark. (2016), dalgalı kiriş yapısında çekirdek içeren sandviç kompozitler üretmiştir. Tek yönde doğrultulanmış karbon/epoksi prepregler Şekil 2.2a'da gösterildiği gibi kesildikten sonra, tasarlan kalıp ile kurlenmiştir (Şekil 2.2b). Eğilme esaslı yükleme durumunda orta kısmının kenarlara kıyasla daha zayıf olduğu ve bozunma tipinin dış yüzey buruşması (face wrinkling) esaslı meydana (Şekil 2.2c) geldiği ifade edilmiştir.



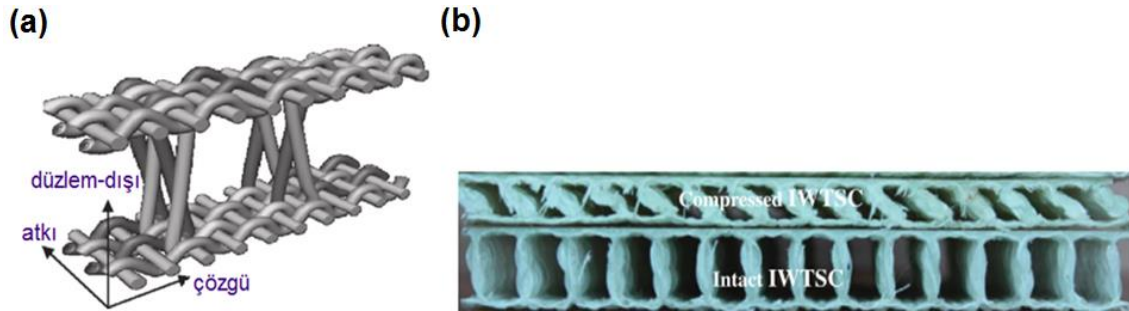
Şekil 2.2. Çekirdek kesimi (a), kûrleşmiş çekirdek yapı (b), sandviç kompozitin bozunma davranışı (c) (Xu ve ark., 2016).

Lascoup ve ark. (2006), çekirdek yapısı PU köpük, dış yüzeyleri ise E-Cam olan sandviç yapıyı, yapının kalınlığı yönünde açılal dikişle birleştirmiştir (Şekil 2.3). Her ne kadar dikiş toplam panel ağırlığını arttıran bir faktör olarak göz önüne alınsa da, dayanım ve modül özelliklerinin dikişsiz panellere kıyasla daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Burada, dikiş adımı ve dikiş eni gibi proses parametrelerinin önemli olduğu vurgulanmıştır.



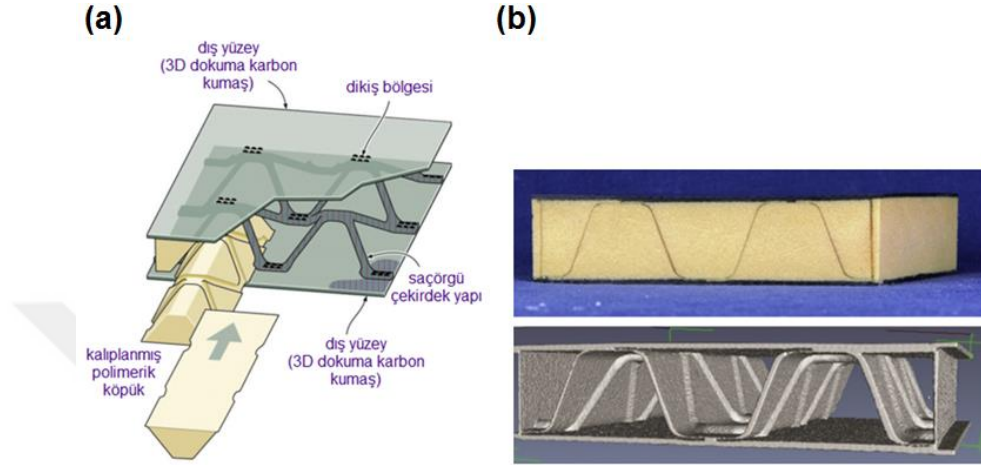
Şekil 2.3. Dikişin şematik gösterimi (a), sandviç kompozit kesit görüntüsü (b) (Lascoup ve ark., 2006).

Fan ve ark. (2012), Nanjing Fiberglass Research and Design Institute (NFRDI) tarafından geliştirilen dokuma esaslı IWTSC (Integrated woven textile sandwich composite) sandviç kompozitlerin (Şekil 2.4) performans özelliklerini belirlemiştir. Buna göre; yapının yük taşıma kapasitesinin birim hücre yoğunluğu ile doğru orantılı olduğu, düzlem-dışı lifin daha sıkı olması durumunda, bunlar arasındaki etkileşimden dolayı sünekliğin ve enerji absorpsiyonunun arttığı ifade edilmiştir.



Şekil 2.4. Çekirdek dokumanın şematik gösterimi (a), sandviç kompozitin bozunma davranışı (b) (Fan ve ark., 2012).

George ve ark. (2014) ait çalışmada, prizmatik şekilli saç örgü yapı ve bunun içerisine yerleştirilen polimerik köpük, sandviç kompozitin çekirdek kısmını oluşturmaktadır. Saç örgü yapı belirli temas noktalarından, dış yüzey olarak kullanılan 3D dokuma karbon kumaşa Kevlar® iplik kullanılarak dikiş ile birleştirilmiştir (Şekil 2.5). Yük altındaki performansları deneysel ve nümerik olarak belirlenmiştir.



Şekil 2.5. Sandviç kompozitin şematik gösterimi (a) ve kesit görüntüsü (b) (George ve ark., 2014).

Yukarıda özetlenen literatürden de anlaşılacağı gibi, sandviç kompozitlerde çekirdek yapının doğrudan dikiş ile üretilmesi esasına dayanan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Sandviç kompozitlerde dikiş, dış yüzey ve çekirdek yapı arasındaki kayma esaslı bozunmaların önüne geçmek için, polimerik esaslı yapıştırıcılara kıyasla çok daha güçlü bir birleştirme etkisi oluşturması amacıyla kullanılmıştır.

Sandviç kompozitlerde, dış yüzey ve çekirdeğin dikimi esasına dayanan çok sayıda çalışmaya rastlamak mümkündür. Esasında dikiş, tekstil yapısal kompozitlerin yüke maruz kalması durumunda, delaminasyonun azaltılması ve yapı bütünlüğünün korunarak hasar toleransının artırılması amacıyla kullanılmaktadır. Tez danışmanının, bu alanda çok sayıda çalışması bulunmaktadır (Bilisik ve ark., 2016; Bilisik ve Yolacan, 2012; Bilisik ve Yolacan, 2014a, 2014b, 2014c, 2014d, 2014e, 2014f; Bilisik ve Yolacan, 2015a, 2015b, 2015c). Dikişin önselikle neden olduğu delik boyutunun, yapının düzlemsel ve düzlem-dışı özelliklerini etkilediği, bu delik boyutunu ise iplik çapı, iğne boyutu ve iplik gerginliğinin belirlediği ifade edilmiştir (Weimer ve Mitschang, 2001).

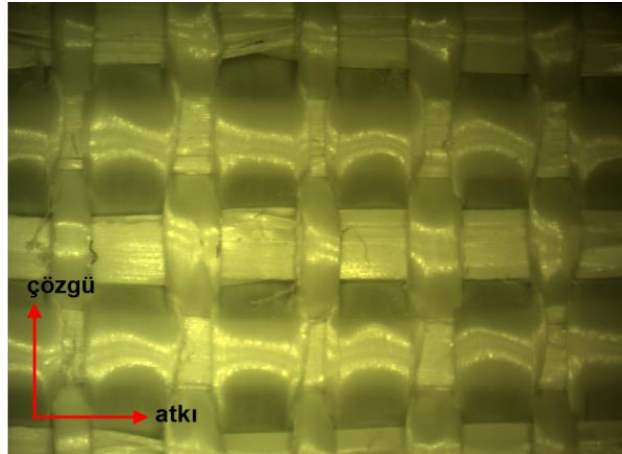
### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.1. PP Çuval Dokuma Kumaş ve Dikiş İpliği Özellikleri

Çalışmada, sandviç kompozitlerin çekirdek yapısında kullanılan bezayağı örgü türündeki PP çuval dokuma kumaş, Ritor Çuval (Gaziantep, Türkiye) tarafından üretilmiştir. Şekil 3.1’de PP çuval dokuma kumaşın mikroskobik görüntüsü verilmiştir. Makine dikişinde, 40 tex %100 PP dikiş ipliği (Coats, Prolene-SS25) kullanılmıştır. Çizelge 3.1’de PP çuval dokuma kumaş ve PP dikiş ipliğinin özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.1. PP çuval dokuma kumaş ve dikiş ipliğinin özellikleri.

Materyal	Doku tipi	Sıklık (tel/cm)		İplik lineer yoğunluğu (tex)		Kopma dayanımı (cN/tex)		Kopma uzaması (%)	
		Çözü	Atkı	Çözü	Atkı	Çözü	Atkı	Çözü	Atkı
PP çuval dokuma kumaş	Bezayağı	9	5	143	238	25,53	37,77	8,66	9,38
		Krimp (%)		Kalınlık (mm)		Gramaj (g/m <sup>2</sup> )			
		Çözü	Atkı	0,85		236			
		5	5						
Materyal	İplik lineer yoğunluğu (tex)	İplik bükümü (tur/m)		Kopma dayanımı (cN/tex)	Kopma uzaması (%)				
PP dikiş ipliği	40	426		58,90	18,63				



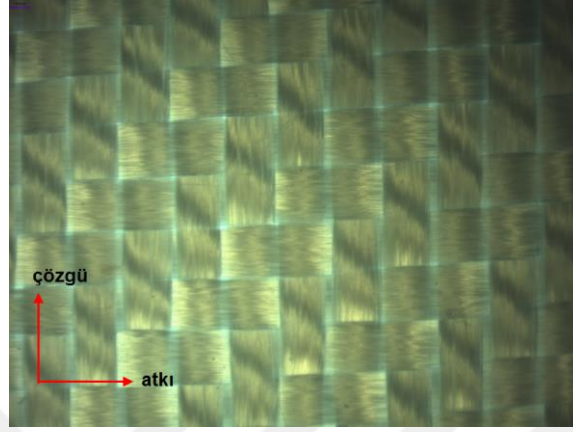
Şekil 3.1. PP çuval dokuma kumaşın mikroskobik görüntüsü ( $\times 10$  büyütme oranı).

#### 3.2. E-Cam Dokuma Kumaş Özellikleri

Sandviç kompozitlerin dış yüzeyinde kullanılan E-cam dokuma kumaşın özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir. E-cam dokuma kumaşın mikroskobik görüntüsü, Şekil 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. E-cam dokuma kumaşın özellikleri.

Doku tipi	Sıklık (tel/cm)		İplik lineer yoğunluğu (tex)		Kalınlık (mm)	Gramaj (g/m <sup>2</sup> )
	Çözü	Atkı	Çözü	Atkı		
Dimi (2/2 Z)	6	6	200	200	0,33	280



Şekil 3.2. E-cam dokuma kumaşın mikroskopik görüntüsü (×0.8 büyütme oranı).

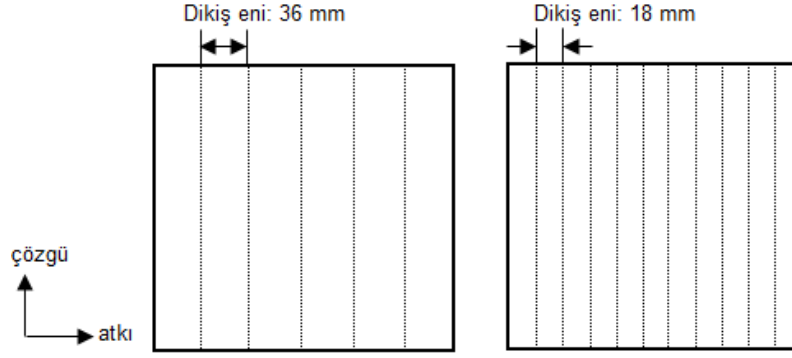
### 3.3. Çekirdek Yapıların Üretimi

#### 3.3.1. Çekirdek yapıların dikim işlemi

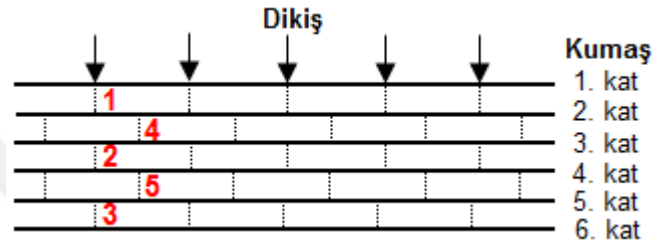
PP çuval dokuma kumaş, 40 × 40 cm boyutlarında kesilerek farklı katman sayılarında (2 kat, 4 kat, 6 kat) dikilmiştir. Düzlemsel kullanımda katman sayısı sandviç kompozitin performansını etkileyecek önemli bir parametre olarak öngörüldüğünden, farklı katman sayılarındaki çekirdek yapılar, yalnızca düzlemsel kullanımda dikkate alınmıştır. Düzlemsel kullanımda ise, yalnızca 6 kat kumaş dikiş ile birleştirilmiştir.

Her bir kumaş katmanı, dikiş eni 36 mm ve 18 mm olacak biçimde, çözgü yönüne paralel olarak çizilmiştir (Şekil 3.3). Dikiş eni 36 mm olan çekirdek yapının birim-hücreleri 'L', dikiş eni 18 mm olan çekirdek yapının birim-hücreleri ise 'S' olarak tanımlanmıştır. Çekirdek yapının birim-hücre yerleşimine göre, dikim işleminde takip edilmesi gereken sıralama önem arz etmektedir. Şekil 3.4'te, 6 katlı çekirdek yapının dikim işlemine örnek verilmiştir. 6 katlı çekirdek yapının dikim prosesi 5 aşamadan oluşmaktadır. Buna göre;

- **1. adım:** 1. ve 2. katların dikilmesi;
- **2. adım:** 3. ve 4. katların dikilmesi;
- **3. adım:** 5. ve 6. katların dikilmesi.
- **4. adım:** 2. ve 3. katların dikilmesi.
- **5. adım:** 4. ve 5. katların dikilmesi.

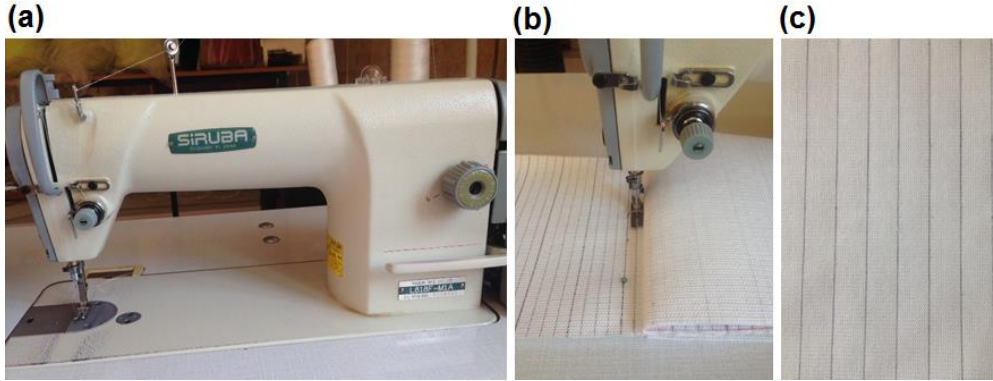


Şekil 3.3. PP çuval dokuma kumaş katmanlarının çizilmesi.



Şekil 3.4. PP çuval dokuma kumaş katmanlarının dikilmesi.

Dikim işleminde düz (kilit) dikiş kullanılmıştır. Dikiş adımı, 3 adım/cm ve 6 adım/cm olarak belirlenmiştir. Dikim işlemi, Siruba, L818F-M1A (Japonya) dikiş makinesinde yapılmıştır (Şekil 3.5).

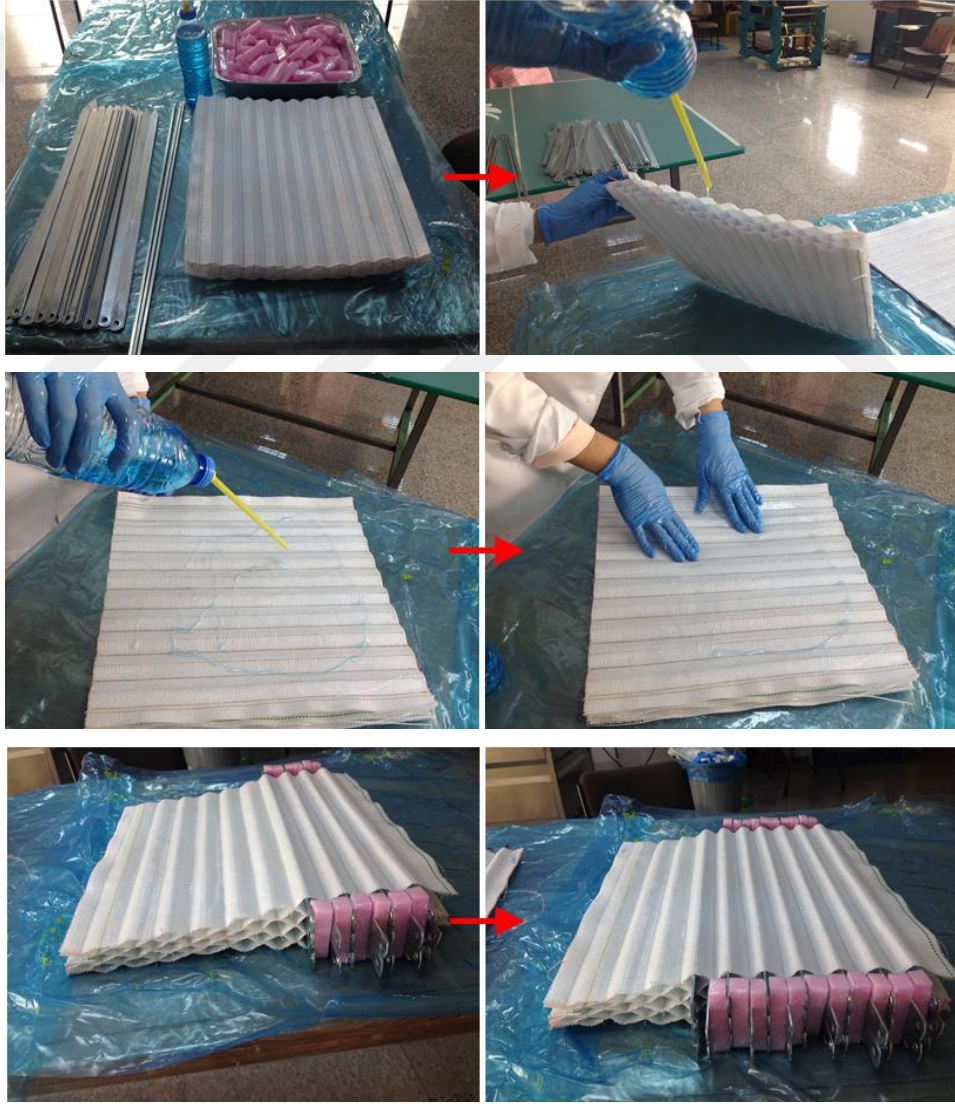


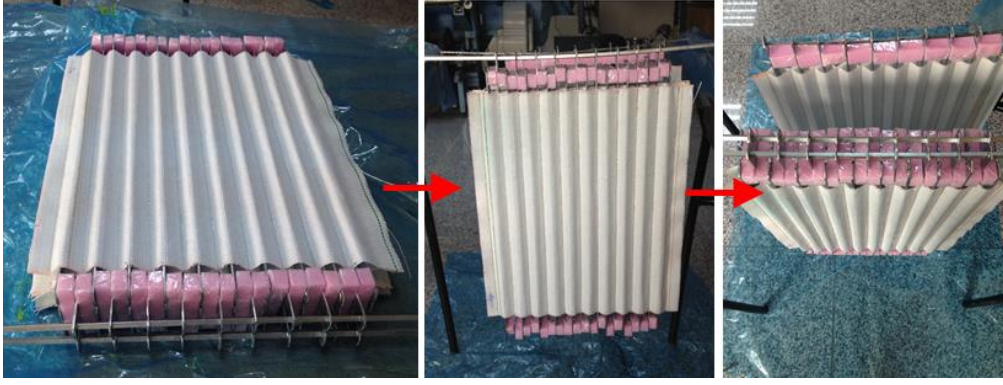
Şekil 3.5. Çekirdek yapının dikim işlemi, (a); dikiş makinesi, (b); dikim esnasındaki görüntü, (c); dikilmiş katmanlı yapı.

### 3.3.2. Çekirdek yapıların kalıplanması

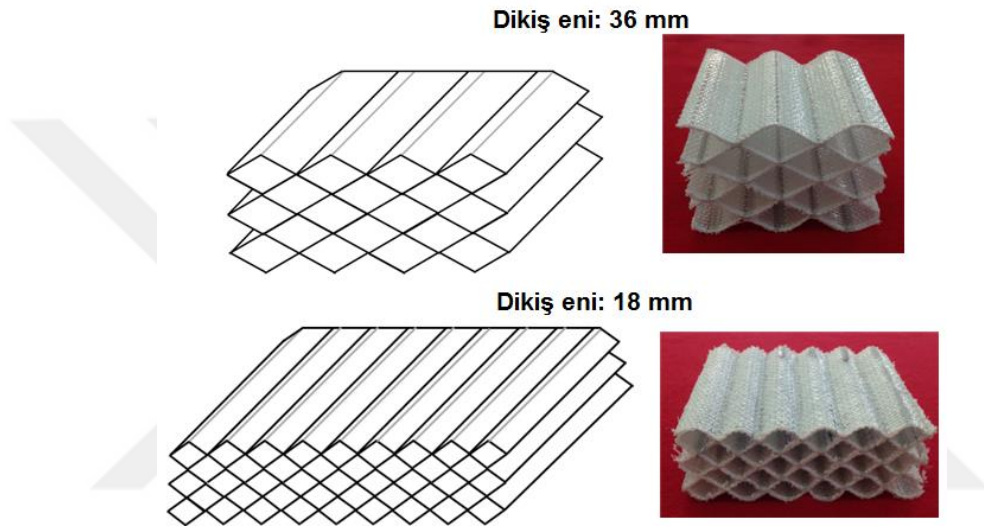
Dikim işlemi gerçekleştirilen yapıya, el-yatırma yöntemi ile epoksi reçine ve sertleştirici (Hexion MGS L285 reçine/Hexion MGS H285 sertleştirici, 100/40) uygulanmıştır. Yapının katmanları arasında oluşan boşluklara metal çubuklar geçirilerek kalıplanmıştır. Metal çubuklar katmanlı yapıdaki boşluklara dik olarak konumlandırılmıştır. Böylece,

'rombus (eşkenar-dörtgen)' birim-hücre yapısına sahip çekirdek elde edilmiştir. Farklı dikiş enindeki (36 mm ve 18 mm) katmanlı yapının kalıplanmasında, farklı ende metal çubuklar kullanılmıştır. Buna göre; dikiş eni 36 mm olan yapı için çubuk boyu 50 cm, eni 1.8 cm ve et kalınlığı 2 mm'dir. Dikiş eni 18 mm olan yapı için çubuk boyu 50 cm, eni 0.9 cm ve et kalınlığı 2 mm'dir. Kalıplama öncesinde, metal çubuklara kalıp ayırıcı (Renlease® QZ 5111, Huntsman, UK) uygulanmıştır. Metal çubukların kaymaması amacıyla, çubuklar arasına sert köpük yerleştirilmiştir. Hücre içine reçine damlamalarını önlemek amacıyla, kalıplanan yapı dikey konumlandırılarak oda sıcaklığında 24 saat bekletilmiştir. Şekil 3.6'da, çekirdek yapının kalıplanması aşamaları halinde verilmiştir. Şekil 3.7'de, 36 mm ve 18 mm dikiş enlerindeki çekirdek yapılar şematik görüntüleri ile birlikte verilmiştir.





Şekil 3.6. Çekirdek yapının kalıplanma aşamaları.

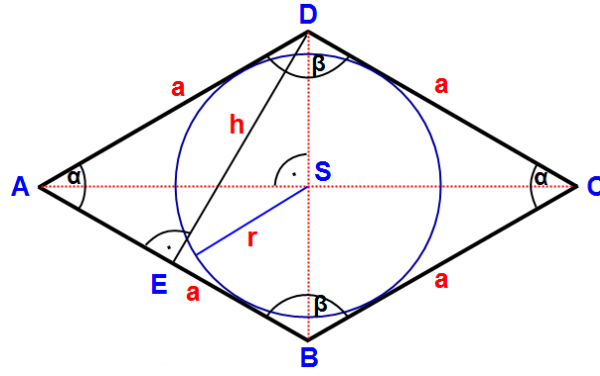


Şekil 3.7. 36 mm ve 18 mm dikiş enlerindeki çekirdek yapı (6 kat) görüntüleri.

### 3.3.3. Çekirdek yapıların birim-hücre geometrisi

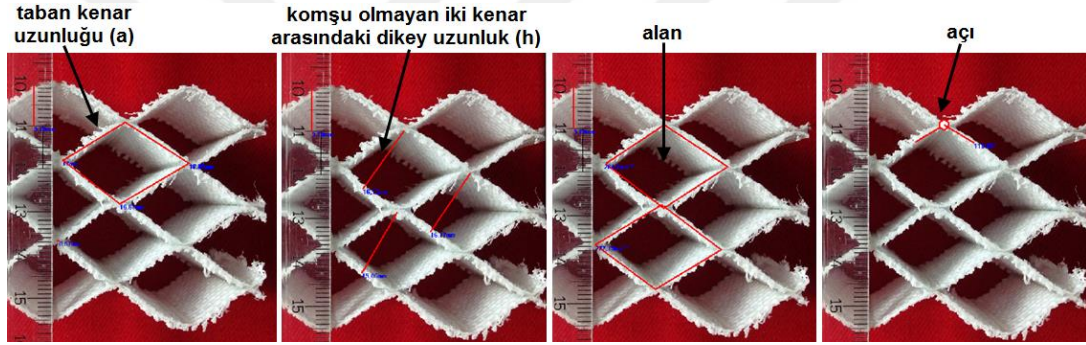
Kalıplanan çekirdek yapının birim-hücresi rombustur (Şekil 3.8). Rombusun geometrik özellikleri şunlardır;

- Köşeleri birleştiren iki çift paralel kenar ve iki köşegen vardır.
- Eşleşik (benzer) üçgenler kullanılarak, rombusun bu köşegenlerin her birine göre simetrik olduğu ispatlanabilir. Dolayısıyla her rombusta, karşı açılar eşittir, köşegenler birbirine diktir ve köşegenler açıortaydır.
- Rombus, bir paralel kenarın tüm özelliklerine sahiptir. Karşı kenarlar paraleldir, bitişik açılar bütünlerdir, iki köşegen birbirini ikiye böler, orta noktadan geçen herhangi bir doğru, alanı ikiye böler ve kenar uzunluklarının karelerinin toplamı köşegenlerin karelerinin toplamına eşittir.



Şekil 3.8. Rombus çekirdek yapının birim-hücre geometrisi.

Geliştirilen çekirdek yapıların birim-hücre yapısının geometrik özellikleri, dijital fotoğraflar üzerinden görüntü analiz sistemi (Bs200Doc, Türkiye) ile incelenmiştir. Şekil 3.9’da, görüntü analiz sisteminde yapılan ölçümler tanımlanmıştır.



Şekil 3.9. Birim-hücre geometrik ölçümleri.

Rombusun birim hücre alanı, aşağıda verilen alan formülü kullanılarak (3.1) hesaplanmış ve alan değeri ayrıca görüntü analizi yazılımında yapılan alan ölçümleri ile doğrulanmıştır. Çizelge 3.3’te, çekirdek yapıların birim-hücresinin geometrik özellikleri verilmiştir.

$$A = a \times h \quad (3.1)$$

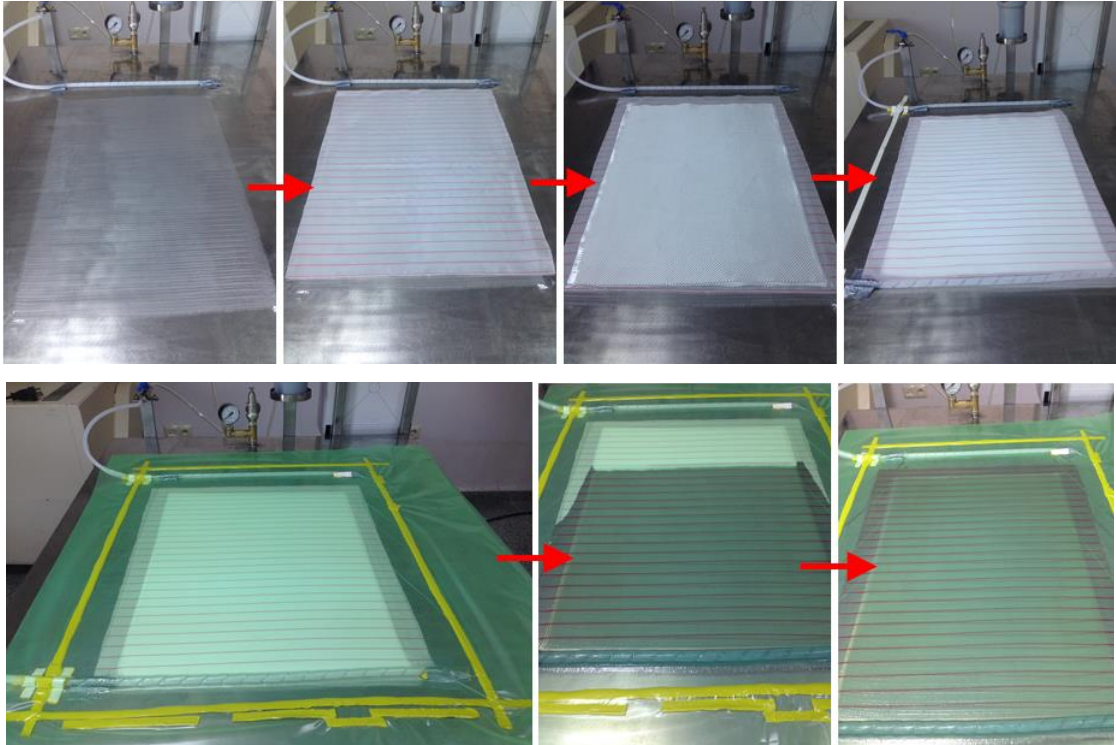
Burada; A: rombus alanı ( $\text{mm}^2$ ), a: taban kenar uzunluğu (mm), h: komşu olmayan iki kenar arasındaki dikey uzaklık (mm).

Çizelge 3.3. Çekirdek yapıların birim-hücresinin geometrik özellikleri.

Hücre tipi	Dikiş eni (mm)	Taban kenar uzunluğu, a (mm)	Yükseklik, h (mm)	Alan ( $\text{mm}^2$ )	$\alpha$ (°)	B (°)
L	36	$17,31 \pm 0,77$	$16,05 \pm 0,17$	$277,49 \pm 0,48$	$78,33 \pm 0,62$	$116,63 \pm 1,80$
S	18	$8,06 \pm 0,51$	$8,17 \pm 0,24$	$63,90 \pm 2,64$	$90,35 \pm 1,73$	$91,82 \pm 0,85$

### 3.4. Dış Yüzey Kompozitlerin Üretimi

Dış yüzey kompozit üretimi için,  $50 \times 70$  cm boyutundaki 6 kat E-Cam dokuma kumaş  $[0^\circ]_6$  hazırlanmıştır. Epoksi reçine ve sertleştirici (Hexion MGS L160 reçine/Hexion MGS H160 sertleştirici, 100/25) kullanılarak, ısıtmalı vakum masasında vakum infüzyon yöntemine (VARTM) göre üretim gerçekleştirilmiştir. Vakum masasının üzerine kalıp ayırıcı (Renlease® QZ 5111, Huntsman, UK) uygulanmıştır. Daha sonra sırasıyla, infüzyon filesi, soyma kumaşı ve katlı E-cam dokuma kumaş yerleştirilmiştir. Katlı E-cam dokuma kumaşın üzerine soyma kumaşı kapatılarak, sırasıyla infüzyon filesi ve vakum naylonu serilmiştir. Vakum hortumu ve spiral hortumlar yerleştirilmiştir. Sızdırmazlık bantları ile kapatılan sistemde, kaçak kontrolü yapılmış ve daha sonra epoksi reçine verilmiştir. Yeterli ıslanma sağlandığında vakum çıkışı kapatılmıştır. Sıcaklık  $80^\circ\text{C}$ 'ye ayarlanarak 1 saat kürleşme sağlanmıştır. Üretilen dış yüzey kompozitler, sandviç yapı üretimi için elmas uçlu testere ile (Pro-Max, PM-72051) uygun boyutlarda kesilmiştir. Şekil 3.10'da, dış yüzey kompozitlerin üretim aşamaları verilmiştir.

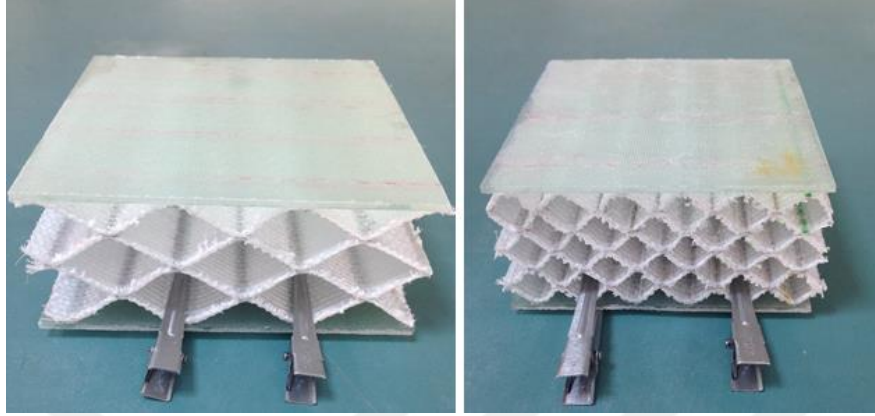


Şekil 3.10. Dış yüzey kompozitlerin üretim aşamaları.

### 3.5. Sandviç Kompozitlerin Üretimi

Üretilen çekirdek yapılar ve dış yüzey kompozitler, test boyutlarına uygun olarak kesildikten sonra epoksi reçine (Hexion MGS L285 reçine/Hexion MGS H285 sertleştirici, 100/40) ile yapıştırılmış ve oda sıcaklığında 24 saat bekletilmiştir. İleri kürleşme ise etüvde

80°C’de 1 saatte gerçekleştirilmiştir. Düzlem-dışı konumlandırılacak 6 katlı rombus çekirdek yapı, elmas uçlu testere ile 20 mm kalınlığa sahip olacak biçimde dilimlenmiştir. Şekil 3.11’de sandviç yapıların yapıştırılma görüntüleri verilmiştir.



Şekil 3.11. Sandviç yapıların yapıştırılma görüntüleri.

Belirlenen deneysel çalışma planına göre geliştirilen çekirdek yapılar ve sandviç kompozitler şematik görüntüleri ve tanımları ile birlikte Çizelge 3.4’te verilmiştir. Buna göre; 2 farklı hücre boyutunda (L ve S), 2 farklı dikiş yoğunluğunda (3 adım/cm ve 6 adım/cm), düzlemsel (2 kat, 4 kat ve 6 kat) ve düzlem-dışı (6 kat, 20 mm kalınlık) olmak üzere, toplamda 16 farklı tipte çekirdek yapı geliştirilmiştir. Geliştirilen 16 farklı tipteki çekirdek yapı, 16 farklı tipte sandviç kompozite dönüştürmüştür ve ticari PP ve alüminyum balpeteği çekirdek yapı ve bunlardan üretilen sandviç kompozitlerle kıyaslanmıştır.

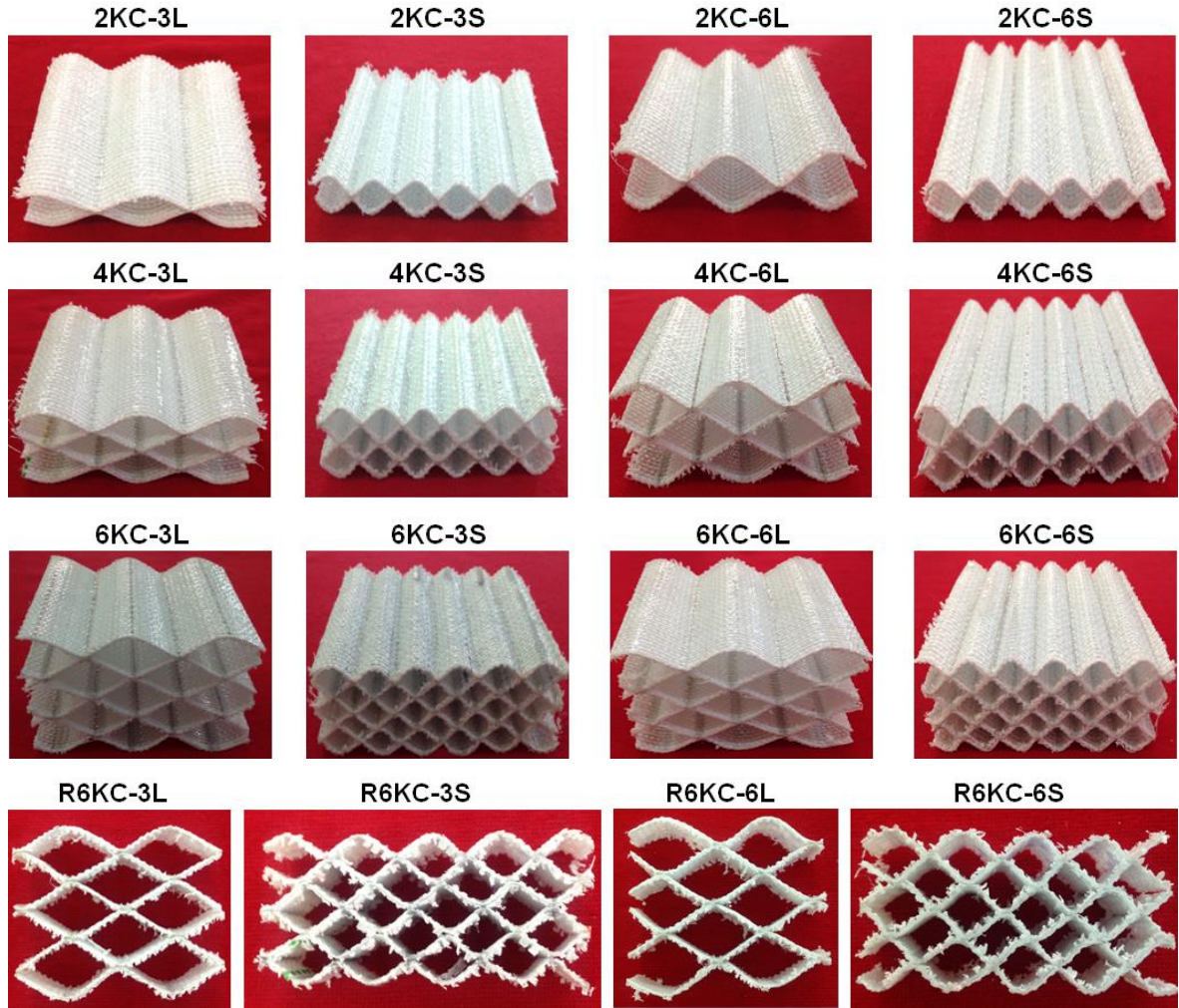
Çizelge 3.4. Geliştirilen çekirdek yapı ve sandviç kompozitlerin tanımlanması.

No	Materyal formu	Numune kodu	Şematik gösterimi	Çekirdek				Dış yüzeyler	
				Kat sayısı	Yerleşim	Dikiş eni	Dikiş yoğunluğu	Kat sayısı	Yerleşim
1	Çekirdek	2KC-3L		2 kat	Düzlemsel	36 mm	3 adım/cm	-	-
2	Çekirdek	2KC-3S		2 kat	Düzlemsel	18 mm	3 adım/cm	-	-
3	Çekirdek	2KC-6L		2 kat	Düzlemsel	36 mm	6 adım/cm	-	-
4	Çekirdek	2KC-6S		2 kat	Düzlemsel	18 mm	6 adım/cm	-	-
5	Çekirdek	4KC-3L		4 kat	Düzlemsel	36 mm	3 adım/cm	-	-
6	Çekirdek	4KC-3S		4 kat	Düzlemsel	18 mm	3 adım/cm	-	-
7	Çekirdek	4KC-6L		4 kat	Düzlemsel	36 mm	6 adım/cm	-	-
8	Çekirdek	4KC-6S		4 kat	Düzlemsel	18 mm	6 adım/cm	-	-

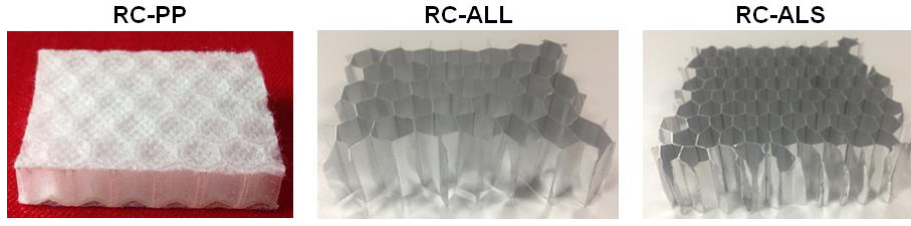
9	Çekirdek	6KC-3L		6 kat	Düzlemsel	36 mm	3 adım/cm	-	-
10	Çekirdek	6KC-3S		6 kat	Düzlemsel	18 mm	3 adım/cm	-	-
11	Çekirdek	6KC-6L		6 kat	Düzlemsel	36 mm	6 adım/cm	-	-
12	Çekirdek	6KC-6S		6 kat	Düzlemsel	18 mm	6 adım/cm	-	-
13	Çekirdek	R6KC-3L		6 kat	Düzlem- dışı	36 mm	3 adım/cm	-	-
14	Çekirdek	R6KC-3S		6 kat	Düzlem- dışı	18 mm	3 adım/cm	-	-
15	Çekirdek	R6KC-6L		6 kat	Düzlem- dışı	36 mm	6 adım/cm	-	-
16	Çekirdek	R6KC-6S		6 kat	Düzlem- dışı	18 mm	6 adım/cm	-	-
17	Çekirdek	RC-PP	Ticari PP	PP bal peteği (Referans numune) (hücre çapı: 8 mm, kalınlık: 10 mm, yoğunluk 90 kg/m <sup>3</sup> )					
18	Çekirdek	RC-ALL	Ticari Alüminyum	Alüminyum bal peteği (Referans numune) (hücre çapı: 12 mm, kalınlık: 20 mm, yoğunluk 40 kg/m <sup>3</sup> )					
19	Çekirdek	RC-ALS	Ticari Alüminyum	Alüminyum bal peteği (Referans numune) (hücre çapı: 8 mm, kalınlık: 20 mm, yoğunluk 60 kg/m <sup>3</sup> )					
20	Sandviç	2KS-3L		2 kat	Düzlemsel	36 mm	3 adım/cm	6 kat	[0°] <sub>6</sub>
21	Sandviç	2KS-3S		2 kat	Düzlemsel	18 mm	3 adım/cm	6 kat	[0°] <sub>6</sub>
22	Sandviç	2KS-6L		2 kat	Düzlemsel	36 mm	6 adım/cm	6 kat	[0°] <sub>6</sub>
23	Sandviç	2KS-6S		2 kat	Düzlemsel	18 mm	6 adım/cm	6 kat	[0°] <sub>6</sub>
24	Sandviç	4KS-3L		4 kat	Düzlemsel	36 mm	3 adım/cm	6 kat	[0°] <sub>6</sub>
25	Sandviç	4KS-3S		4 kat	Düzlemsel	18 mm	3 adım/cm	6 kat	[0°] <sub>6</sub>
26	Sandviç	4KS-6L		4 kat	Düzlemsel	36 mm	6 adım/cm	6 kat	[0°] <sub>6</sub>
27	Sandviç	4KS-6S		4 kat	Düzlemsel	18 mm	6 adım/cm	6 kat	[0°] <sub>6</sub>
28	Sandviç	6KS-3L		6 kat	Düzlemsel	36 mm	3 adım/cm	6 kat	[0°] <sub>6</sub>
29	Sandviç	6KS-3S		6 kat	Düzlemsel	18 mm	3 adım/cm	6 kat	[0°] <sub>6</sub>
30	Sandviç	6KS-6L		6 kat	Düzlemsel	36 mm	6 adım/cm	6 kat	[0°] <sub>6</sub>
31	Sandviç	6KS-6S		6 kat	Düzlemsel	18 mm	6 adım/cm	6 kat	[0°] <sub>6</sub>
32	Sandviç	R6KS-3L		6 kat	Düzlem- dışı	36 mm	3 adım/cm	6 kat	[0°] <sub>6</sub>
33	Sandviç	R6KS-3S		6 kat	Düzlem- dışı	18 mm	3 adım/cm	6 kat	[0°] <sub>6</sub>
34	Sandviç	R6KS-6L		6 kat	Düzlem- dışı	36 mm	6 adım/cm	6 kat	[0°] <sub>6</sub>
35	Sandviç	R6KS-6S		6 kat	Düzlem- dışı	18 mm	6 adım/cm	6 kat	[0°] <sub>6</sub>

36	Sandviç	RS-PP	Ticari PP	PP bal peteği(Referans numune, düzlem-dışı) (hücre çapı: 8 mm, kalınlık: 10 mm, yoğunluk 90 kg/m <sup>3</sup> )	6 kat	[0°] <sub>6</sub>
37	Sandviç	RS-ALL	Ticari Alüminyum	Alüminyum bal peteği (Referans numune, düzlem-dışı) (hücre çapı: 12 mm, kalınlık: 20 mm, yoğunluk 40 kg/m <sup>3</sup> )	6 kat	[0°] <sub>6</sub>
38	Sandviç	RS-ALS	Ticari Alüminyum	Alüminyum bal peteği (Referans numune, düzlem-dışı) (hücre çapı: 8 mm, kalınlık: 20 mm, yoğunluk 60 kg/m <sup>3</sup> )	6 kat	[0°] <sub>6</sub>

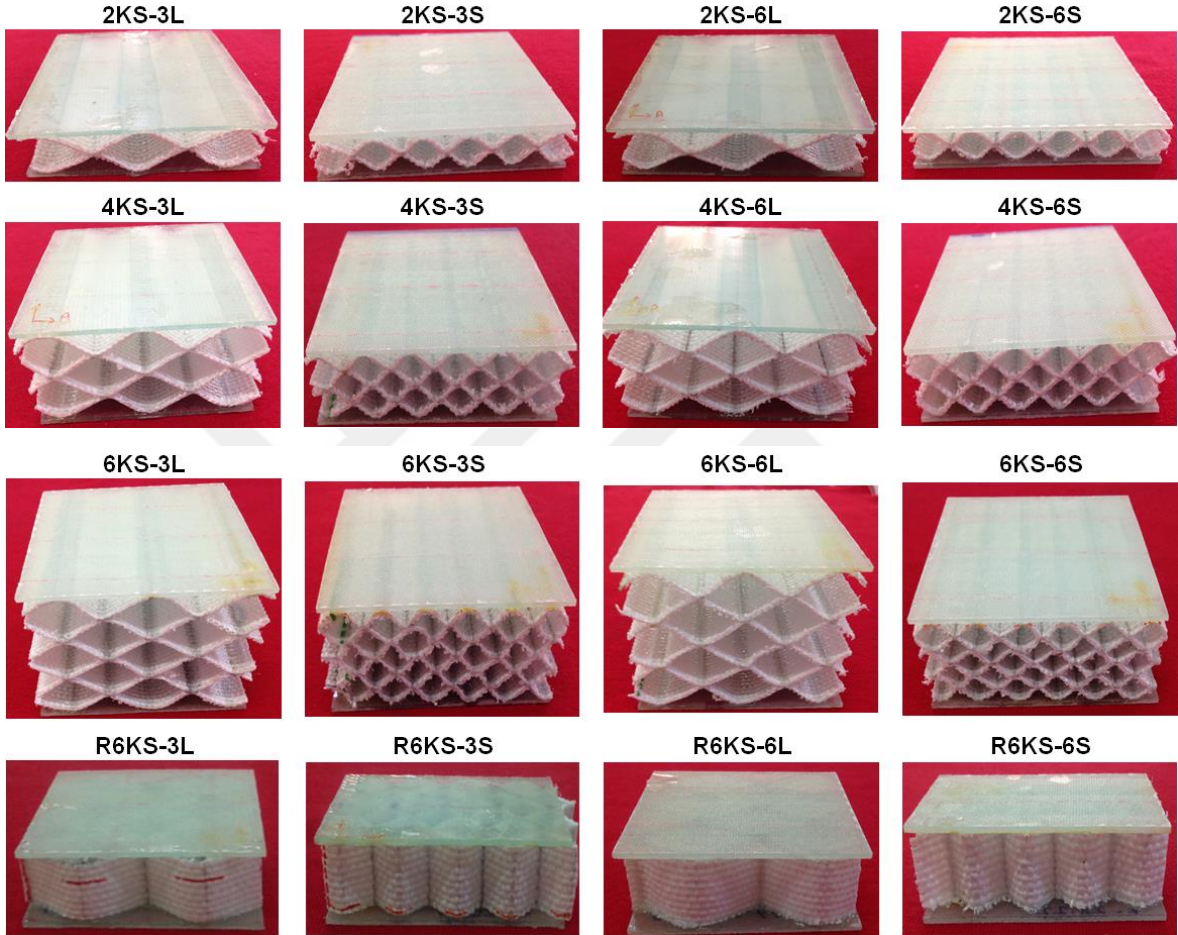
Şekil 3.12’de düzlemsel ve düzlem-dışı çekirdek yapıların görüntüleri ve Şekil 3.13’te, ticari PP ve alüminyum balpeteği çekirdek yapıların görüntüleri verilmiştir. Şekil 3.14’de ise düzlemsel ve düzlem-dışı sandviç kompozitlerin ve Şekil 3.15’te, ticari PP ve alüminyum balpeteği çekirdek yapılar kullanılarak üretilen sandviç kompozitlerin görüntüleri verilmiştir.



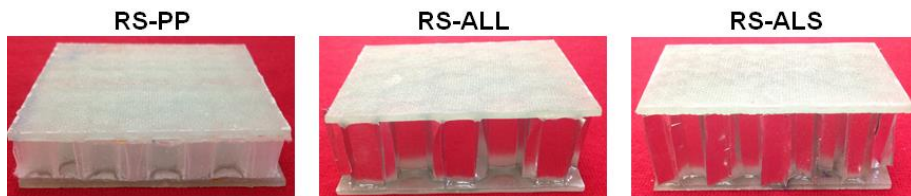
Şekil 3.12. Düzlemsel ve düzlem-dışı çekirdek yapıların görüntüleri.



Şekil 3.13. Ticari PP ve alüminyum balpeteği çekirdek yapıların görüntüleri.



Şekil 3.14. Düzlemsel ve düzlem-dışı sandviç kompozitlerin görüntüleri.



Şekil 3.15. Ticari PP ve alüminyum balpeteği çekirdek yapılar kullanılarak üretilen sandviç kompozitlerin görüntüleri.

### 3.6. Sandviç Kompozitlere Uygulanan Testler

Çizelge 3.5'te, PP çuval dokuma kumaş, çekirdek yapı ve sandviç kompozitlere uygulanan testler ve kullanılan test standartları verilmiştir.

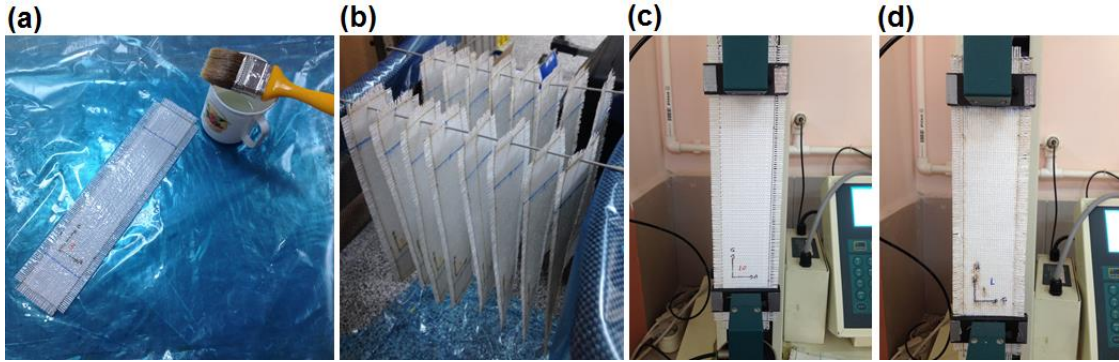
Çizelge 3.5. Uygulanan testler ve kullanılan test standartları.

No	Uygulanan test	Test standardı	Uygulanan materyal
1	Kumaş çekme dayanımı testi	ISO 13934-1: Tensile properties of fabrics- Part 1: Determination of maximum force and elongation at maximum force using the strip method	PP çuval dokuma kumaş
2	Dikiş dayanımı testi	ASTM D1683-17: Standard Test Method for Failure in Sewn Seams of Woven Fabrics	PP çuval dokuma kumaş
3	Kompozit yoğunluğu testi	ASTM D792-13: Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement	Çekirdek, dış yüzey kompozit, sandviç kompozit
4	Lif miktarı tayini	ASTM D3171-15: Standard Test Methods for Constituent Content of Composite Materials	Çekirdek, dış yüzey kompozit
5	Kompozit çekme dayanımı testi	ASTM D3039-12: Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials	Dış yüzey kompozit
6	Eğme testi	ASTM C393-16: Standard Test Method for Core Shear Properties of Sandwich Constructions by Beam Flexure	Dış yüzey kompozit, sandviç kompozit
7	Basma testi	ASTM C365-16: Standard Test Method for Flatwise Compressive Properties of Sandwich Cores	Sandviç kompozit
8	Darbe testi	ASTM D7136-15: Standard Test Method for Measuring the Damage Resistance of a Fiber-Reinforced Polymer Matrix Composite to a Drop-Weight Impact Event	Sandviç kompozit
9	Optik mikroskop analizi	-	PP çuval dokuma kumaş

#### 3.6.1. Kumaş çekme dayanımı testi

PP çuval dokuma kumaşın çözgü ve atkı yönlerindeki çekme dayanımları, mukavemet test cihazı kullanılarak (Hounsfield, H5KS, UK) ISO 13934-1 test standardına göre belirlenmiştir. Kumaş çekme dayanımı testi, kumaşın atkı ve çözgü yönlerinin her birine 5'er tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Numune boyutları 300 × 50 mm, test mesafesi 200 mm ve test hızı 5 mm/dak. olarak ayarlanmıştır. Çekirdek yapıyı oluşturan PP çuval dokuma kumaşın kompozit formunda kullanılmasından dolayı, kumaş çekme dayanımı testi hem kuru hem de epoksi reçine (Hexion MGS L285 reçine/Hexion MGS H285 sertleştirici, 100/40) uygulanan kumaşlara uygulanmıştır. Epoksi reçine, fırça yardımıyla test numunesinin her iki tarafına uygulanarak oda sıcaklığında 24 saat bekletilmiştir. İleri

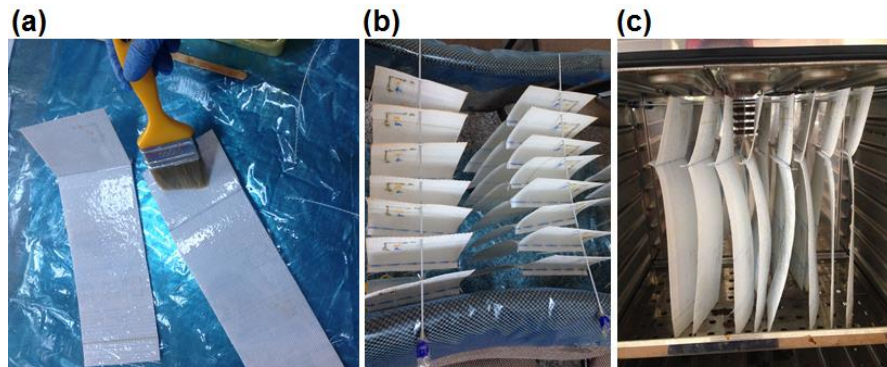
kürleşme ise etüvde 80°C’de 1 saatte gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.16’da, kumaş çekme dayanımı test numunelerinin hazırlık ve test görüntüleri verilmiştir.



Şekil 3.16. Kumaş çekme dayanımı test numunelerinin hazırlık ve test görüntüleri.

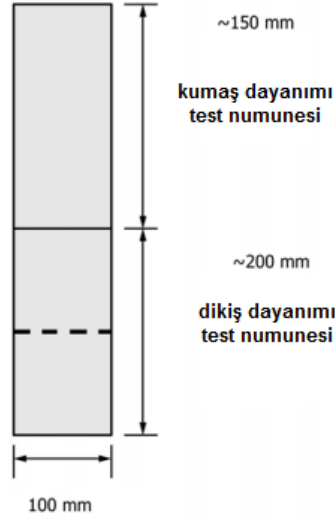
### 3.6.2. Dikiş dayanımı testi

Sandviç kompozitin yüke maruz kalması durumunda, çekirdek yapının dikiş bölgeleri kolon/kiriş görevi göreceğinden, bu bölgelerin dikiş mukavemeti önemlidir. Farklı dikiş adımlarında (3 adım/cm ve 6 adım/cm) dikilen 2 kat PP çuval dokuma kumaşın dikiş mukavemetleri, kuru ve epoksi reçine uygulanmış formlarda, çözgü ve atkı yönlerinde, ASTM D1683-17 standardına göre çekme dayanımı test cihazı (Hounsfield, H5KS, UK) kullanılarak belirlenmiştir. Çekirdek yapıyı oluşturan PP çuval dokuma kumaşın kompozit formunda kullanılmasından dolayı, dikiş dayanımı testi hem kuru hem de epoksi reçine (Hexion MGS L285 reçine/Hexion MGS H285 sertleştirici, 100/40) uygulanan kumaşlara uygulanmıştır. Epoksi reçine fırça yardımıyla test numunesinin her iki tarafına uygulanarak, asılı formda oda sıcaklığında 24 saat bekletilmiştir. İleri kürleşme ise etüvde 80°C’de 1 saatte gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.17’de, dikiş dayanımı test numunelerinin hazırlık görüntüleri verilmiştir.



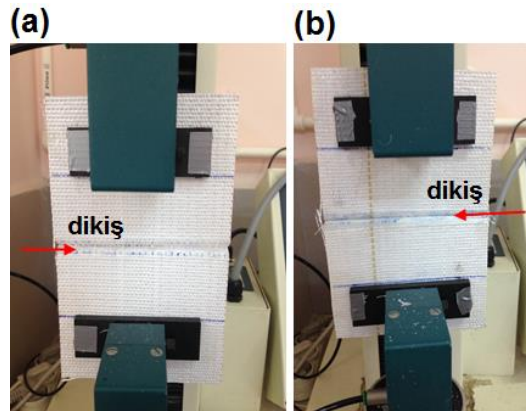
Şekil 3.17. Dikiş dayanımı test numunelerinin hazırlık görüntüleri.

Dikiş dayanımı testi, 5'er tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.18'de gösterildiği gibi, dikişe dik yönde ve toplam 350 mm uzunluk ve 100 mm enindeki numuneler hazırlanmıştır.



Şekil 3.18. Dikiş dayanımı test numunesi.

Hazırlanan numune, kısa kenara paralel yöndeki bir kenardan 100 mm katlanarak, bu katlanan kısım 20 mm'lik mesafeden dikilmiştir. Numune, dikişli kısma 12 mm'lik mesafeden kesilmiştir. Test numunesi, dikişli kısma paralel olarak 100 mm'lik mesafeden kesilerek, dikişli ve dikişsiz olmak üzere iki numune hazırlanmıştır. Test hızı 300 mm/dak. olarak uygulanmıştır. İlk olarak dikişsiz kısım test edilerek kumaş dayanımı belirlenmiş, sonrasında dikiş kayması ve dikiş verimliliğinin belirlenmesi amacıyla dikişli numune test edilmiştir. Şekil 3.19'da, kuru ve epoksili formdaki kumaş numunelerinin dikiş dayanımı test görüntüleri verilmiştir.



Şekil 3.19. Kumaş numunelerinin dikiş dayanımı test görüntüleri.

Dikiş verimliliği, kumaşın dikim esnasındaki hasarını belirleyen ve çözgü-atkı sıklığı, örtme faktörü, kumaş ve dikiş ipliğinin dayanım özellikleri gibi yapısal parametreler ile dikiş tipi ve dikiş yoğunluğu gibi dikiş parametrelerine bağlıdır (Citoglu ve ark., 2011). Dikiş verimliliği aşağıdaki formüle (3.2) göre hesaplanmıştır.

$$E = 100 S_s / F_b \quad (3.2)$$

Burada;  $E$ : dikiş verimliliği (%),  $S_s$ : dikiş dayanımı (N) ve  $F_b$ : kumaş kopma kuvveti (N).

### 3.6.3. Kompozit yoğunluğu testi

Sandviç kompozitlerin yoğunlukları ASTM D792-13 standardına göre 3'er tekrarlı olarak belirlenmiştir. Numuneler,  $3 \times 3$  cm boyutlarında kesilmiş ve hazırlanan numunelerin yoğunlukları, yoğunlukölçer (Precisa) ile belirlenmiştir (Şekil 3.20).



Şekil 3.20. Kompozit yoğunluğu testi.

### 3.6.4. Lif miktarı tayini

Çekirdek yapılar ve dış yüzey kompozitlerin lif miktarları, ASTM D3171-15'na göre 3'er tekrarlı olarak belirlenmiştir. Dış yüzey kompozit numuneleri (GF),  $3 \times 3$  cm boyutlarında kesilmiştir. Test öncesi her bir numune hassas terazide tartılarak ağırlıkları belirlenmiş, daha sonra  $600^{\circ}\text{C}$ 'de 1 saat kül fırınında bekletilen numuneler, soğuması amacıyla desikatöre alınmıştır. Oda sıcaklığına gelen numuneler tartılarak, ağırlık esaslı (3.3) ve hacimsel lif (3.4) miktarları hesaplanmıştır. Çekirdek yapıların lif miktarı ise, kuru ve epoksi uygulanan PP çuval dokuma kumaşların tartılması sonucunda elde edilen değerler ve formül (3.3, 3.4) kullanılarak belirlenmiştir.

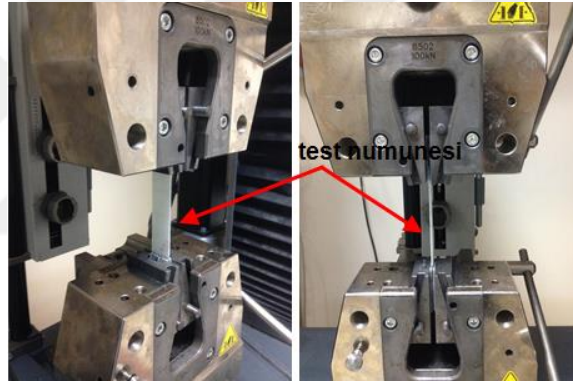
$$\% \text{ Ağırlık Esaslı Lif Hacmi} = (W / w) \times 100 \quad (3.3)$$

$$\% \text{ Hacim Esaslı Lif Hacmi} = [(W / F) / (w / c)] \times 100 \quad (3.4)$$

Burada;  $W$ : Lif ağırlığı (g),  $w$ : Kompozit ağırlığı (g),  $F$ : Lif yoğunluğu ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ),  $c$ : Kompozit yoğunluğu ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

### 3.6.5. Çekme testi

Çekme testi, ASTM D3039-12 test standardına göre ZwickRoell/Z100 test cihazında, çözgü yönünde 3'er tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Numune eni 25 mm, numune boyu 200 mm, test mesafesi 100 mm ve test hızı 2 mm/dak. olarak ayarlanmıştır. Test numunesinin alt ve üst kısımlarına 50 mm'lik mesafede güçlendirme (tabbing) yapılmıştır. Şekil 3.21'de çekme testi esnasında numune görüntüleri verilmiştir. Çekme testi, dış yüzey kompozitlere uygulanmıştır.



Şekil 3.21. Çekme testi esnasında numune görüntüleri.

Çekme dayanımı (3.5) ve çekme modülü (3.6) ASTM D3039-12 test standardına göre hesaplanmıştır.

$$F = P^{\max} / A \quad (3.5)$$

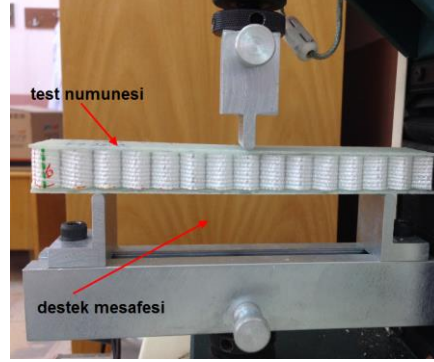
$$E = (\Delta P / \Delta l) (l / bd) \quad (3.6)$$

Burada;  $E$ : Elastik modül (MPa),  $\Delta P / \Delta l$ : Eğrinin lineer bölgesindeki kuvvet-uzama oranı,  $l$ : Çeneler arası mesafe (mm),  $b$ : Numune eni (mm),  $d$ : Numune kalınlığı (mm).

### 3.6.6. Eğme testi

Eğme testi Hounsfield, H5KS, UK test cihazında, ASTM C393-16 test standardına göre 6 mm/dak. test hızında gerçekleştirilmiştir. Numune boyu 200 mm, numune eni 40 mm ve

destek mesafesi 150 mm'dir. Şekil 3.22'de, sandviç kompozitlerin eğme testi esnasındaki görüntüleri verilmiştir. Eğme testi, dış yüzey ve sandviç kompozitlere 3'er tekrarlı olarak uygulanmıştır.



Şekil 3.22. Eğme testi esnasında numune görüntüleri.

Eğme dayanımı (3.7), eğme modülü (3.8) ve deformasyon (3.9) değerleri ASTM D790-90 test standardına göre hesaplanmıştır.

$$S = 3PL / 2bd^2 \quad (3.7)$$

$$E = L^3 m / 4bd^3 \quad (3.8)$$

$$\varepsilon = 6Dd / L^2 \quad (3.9)$$

Burada;  $S$ : eğme dayanımı ( $N/m^2$ ),  $P$ : yük (N),  $L$ : destek mesafesi (m),  $b$ : numune eni (m),  $d$ : numune kalınlığı (m),  $E$ : eğilme modülü ( $N/m^2$ ),  $m$ : yük-uzama eğrisinin eğimi (N/m),  $\varepsilon$ : deformasyon (mm/mm),  $D$ : numunenin merkezindeki maksimum deformasyon (mm).

Çekirdek kayma dayanımı (3.10) ve dış yüzey gerilimi (3.11) ise, ASTM C393-16 test standardına göre hesaplanmıştır.

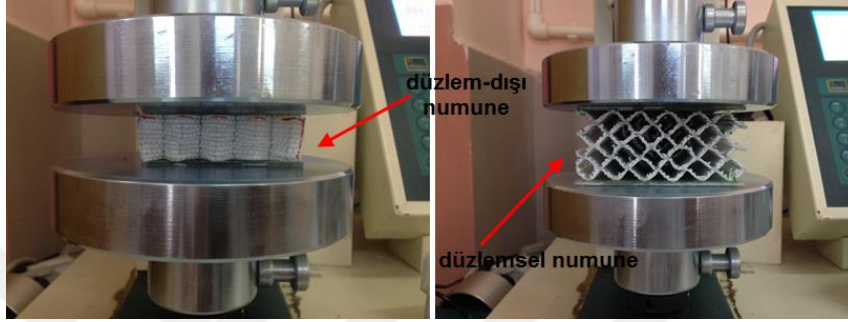
$$F_s^{ult} = \frac{P_{max}}{(d+c)b} \quad (3.10)$$

$$\sigma = \frac{P_{max} S}{2t(d+c)b} \quad (3.11)$$

Burada;  $F_s^{ult}$ : çekirdek kayma dayanımı (MPa),  $P_{max}$ : maksimum yük (N),  $t$ : dış yüzey kompozit kalınlığı (mm),  $d$ : sandviç kalınlığı,  $c$ : çekirdek kalınlığı (mm),  $b$ : sandviç eni (mm),  $\sigma$ : dış yüzey gerilimi (MPa) ve  $S$ : destek mesafesi (mm).

### 3.6.7. Basma testi

Basma testi, Hounsfield, H5KS, UK test cihazında, ASTM C365-16: test standardına göre 2 mm/dak. test hızında gerçekleştirilmiştir. Basma testi, düzlemsel ve düzlem-dışı sandviç kompozitlere 3'er tekrarlı olarak uygulanmıştır. Düzlemsel numunelerin boyutları 80 × 80 mm, düzlem-dışı numunelerin boyutları ise büyük-hücreli yapılarda 60 × 56 mm, küçük-hücreli yapılarda 60 × 36 mm olarak belirlenmiştir. Şekil 3.23'te, sandviç kompozitlerin basma testi esnasındaki görüntüleri verilmiştir.



Şekil 3.23. Basma testi esnasında numune görüntüleri.

Basma dayanımı (3.12) ve basma modülü (3.13) değerleri ASTM C365-16 test standardına göre hesaplanmıştır.

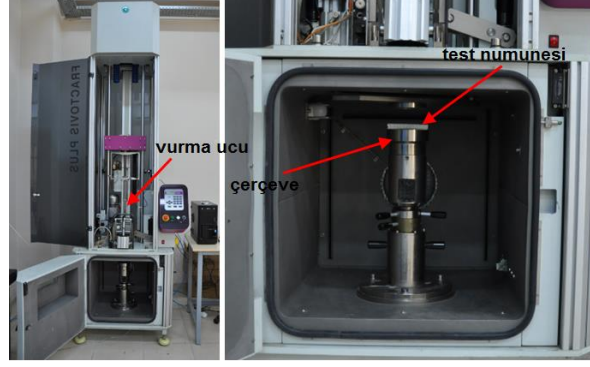
$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (3.12)$$

$$E = \frac{S \times t}{A} \quad (3.13)$$

Burada;  $\sigma$ : basma dayanımı (MPa), P: maksimum yük (N), A: kesit alanı (mm<sup>2</sup>), E: basma modülü (MPa), S: eğrinin lineer bölgesindeki kuvvet-uzama oranı (N/mm), t: çekirdek kalınlığı (mm).

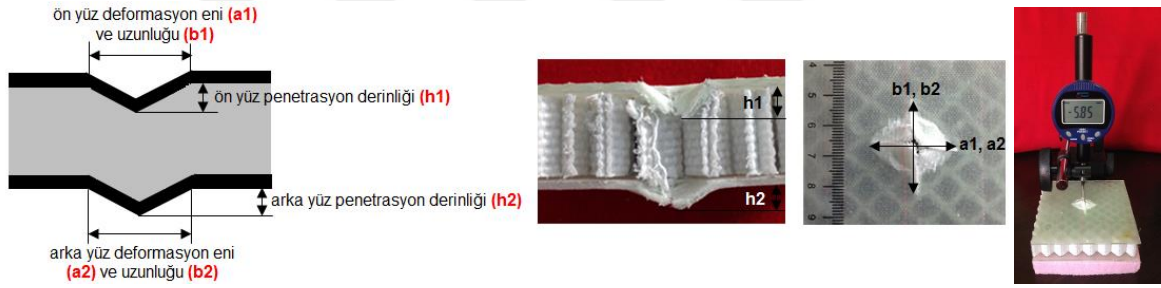
### 3.6.8. Darbe testi

Darbe testi, CEAST 9350 drop test cihazında, ASTM D7136-15 test standardına göre 20J ve 60J olmak üzere iki farklı enerji seviyesinde, her bir test numunesi için 3'er tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Yük hücresi 22 kN'dur. Kütlesi 4.9 kg, çapı 12.7 mm olan yarı-küresel geometride vurma ucu kullanılmıştır. Sandviç kompozitlerin boyutları 100 × 100 mm'dir. Darbe test numuneleri, 40 mm'lik dairesel deliğe sahip, üst ve alt kısmında sıkıştırma düzeneği bulunan çerçevenin arasına yerleştirilmiştir. Darbe test cihazı ve test numunesinin çerçeveye yerleşimi Şekil 3.24'te gösterilmiştir.



Şekil 3.24. Darbe test cihazı ve test numunesinin çerçeveye yerleşimi.

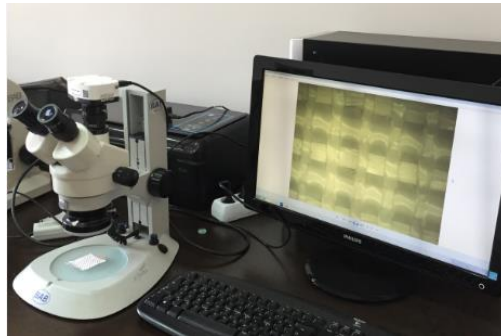
Sandviç kompozitlerin darbe sonrası hasar analizi, ön yüz/arka yüz penetrasyon derinliği, ön yüz/arka yüz deformasyon eni ve ön yüz/arka yüz deformasyon uzunluğu ölçümleri ile yapılmıştır. Şekil 3.25'te, darbe sonrası hasar analizi ölçümleri ve çökme derinliği ölçüm cihazı gösterilmiştir.



Şekil 3.25. Darbe sonrası hasar analizi ölçümleri ve çökme derinliği ölçüm cihazı.

### 3.6.9. Optik mikroskop analizi

PP çuval dokuma kumaşın hasar analizleri kameralı optik mikroskopta (BAB Bs200Doc, Türkiye) farklı büyütme oranlarında alınan görüntüler üzerinden yapılmıştır. Şekil 3.26'da, kameralı optik mikroskop gösterilmiştir.



Şekil 3.26. Optik mikroskop.

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

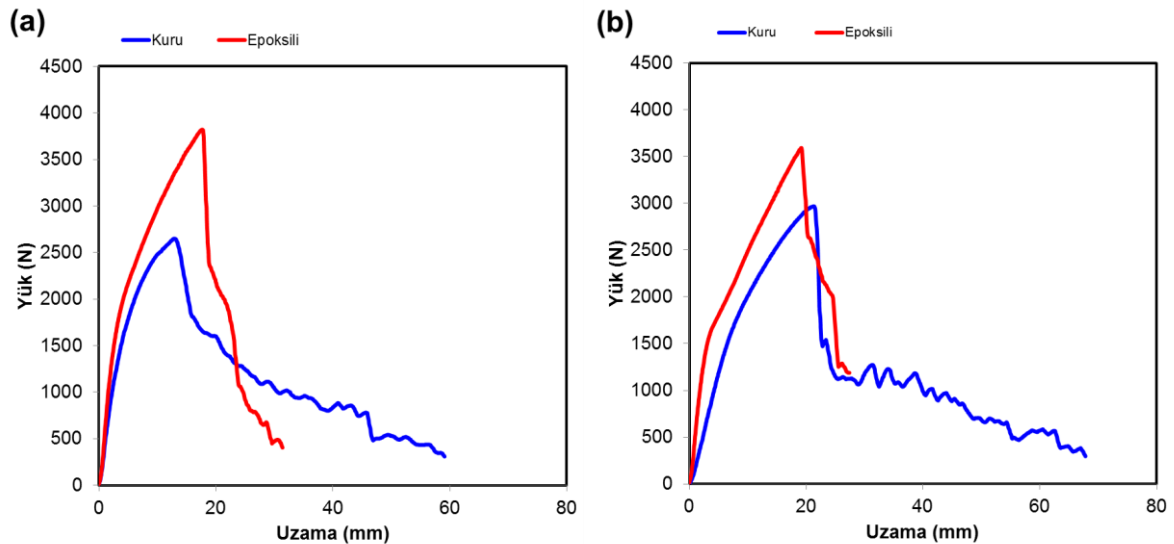
### 4.1. Kumaş Kopma Dayanımı Test Sonuçları

Kuru ve epoksili PP çuval dokuma kumaş numunelerinin çözgü ve atkı yönlerindeki kopma dayanımı test sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir. Hem kuru hem de epoksili PP kumaşta atkı yönündeki kopma dayanımı ve uzamasının çözgü yönüne göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni, çözgü ipliğinin kopma dayanımı ve uzamasının atkı ipliğine kıyasla daha düşük olmasıdır. Epoksi reçine uygulanması, kumaşın kopma dayanımında çözgü yönünde yaklaşık %30, atkı yönünde ise yaklaşık %26’lık bir artış sağlamıştır. Kuru ve epoksili PP kumaş, benzer kopma uzaması göstermiştir.

Çizelge 4.1. Kumaş kopma dayanımı test sonuçları.

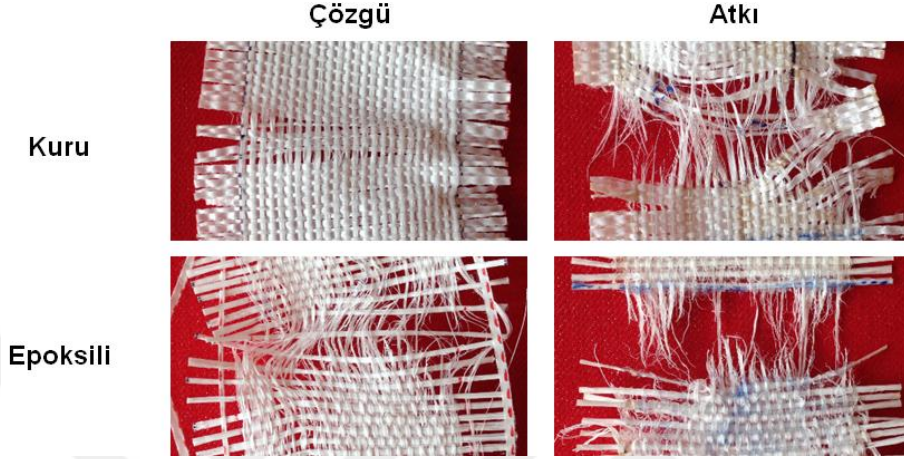
Kumaş tipi	Kopma dayanımı (N)		Kopma uzaması (%)	
	Çözgü	Atkı	Çözgü	Atkı
Kuru	2646 ( $\pm 2,83$ )	2912 ( $\pm 79,20$ )	12,68 ( $\pm 0,21$ )	20,50 ( $\pm 0,92$ )
Epoksili	3752 ( $\pm 96,17$ )	3911 ( $\pm 451,13$ )	15,90 ( $\pm 2,40$ )	20,12 ( $\pm 1,41$ )

Şekil 4.1’de, çözgü ve atkı yönündeki kumaş kopma dayanımı testi yük-uzama eğrileri verilmiştir. Epoksili kumaşın, kuru kumaşa kıyasla hem atkı hem de çözgü yönünde daha rijit bir davranış sergilediği belirlenmiştir.

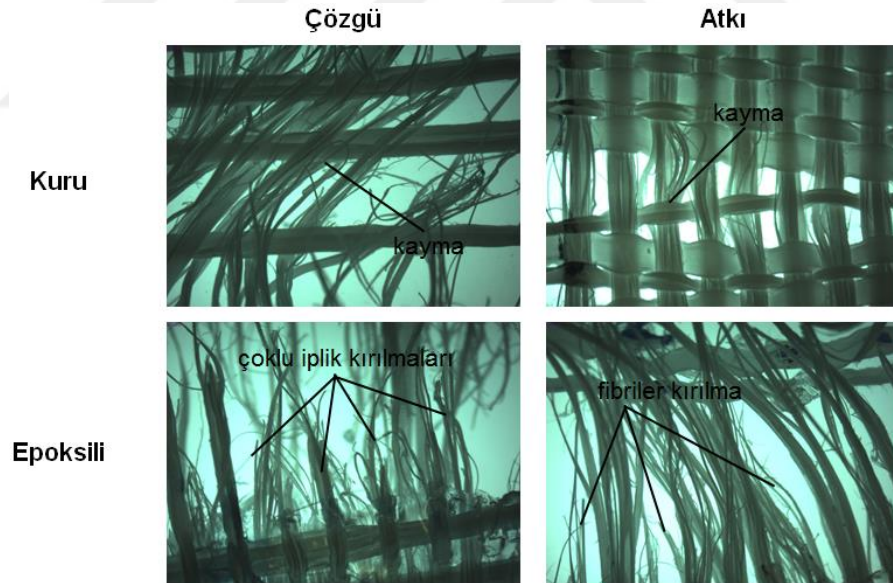


Şekil 4.1. Kumaş kopma dayanımı testi yük-uzama eğrileri, (a); çözgü, (b); atkı.

Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te, çözgü ve atkı yönündeki kuru ve epoksili kumaşların kopma dayanımı testi sonrasındaki kırılma ve mikroskobik kırılma görüntüleri verilmiştir. Kuru kumaşta kopma davranışı kayma esaslı gerçekleşmiş olup, epoksili kumaşta iplik setlerinin epoksi reçine ile sabitlemesinden dolayı gerçekleşen daha kısıtlı kayma, iplik kopuşlarının daha katastrofik ve fibrilasyon esaslı oluşmasına neden olmuştur.



Şekil 4.2. Kumaşların kopma dayanımı testi sonrasındaki kırılma görüntüleri.



Şekil 4.3. Kumaşların kopma dayanımı testi sonrasındaki mikroskobik kırılma görüntüleri (x7 büyütme).

#### 4.2. Dikiş Dayanımı Test Sonuçları

Kuru ve epoksili PP çuval dokuma kumaş numunelerinin çözgü ve atkı yönlerindeki dikiş dayanımı test sonuçları Çizelge 4.2'de verilmiştir. Epoksili kumaşın çözgü ve atkı yönlerindeki dikiş dayanımları, kuru kumaşa kıyasla her iki dikiş yoğunluğunda da (3 adım/cm ve 6 adım/cm) daha yüksektir. Dikiş dayanımı, hem kuru hem de epoksili

kumaşta dikiş yoğunluğu arttıkça artış göstermiştir. Epoksili kumaşın çözgü yönündeki dikiş dayanımı, kuru kumaşın çözgü yönündeki dikiş dayanımına kıyasla 3 adım/cm dikiş yoğunluğunda yaklaşık %70, 6 adım/cm dikiş yoğunluğunda ise yaklaşık %80 daha yüksektir. Epoksili kumaşın atkı yönündeki dikiş dayanımı, kuru kumaşın atkı yönündeki dikiş dayanımına kıyasla 3 adım/cm dikiş yoğunluğunda yaklaşık %28; 6 adım/cm dikiş yoğunluğunda ise yaklaşık %25 daha yüksektir. Epoksi reçine, hem PP kumaşı hem de dikiş ipliğini güçlendirmiştir. Ayrıca, epoksi reçine dikiş ipliğini sabitleyerek kaymasını önlemiş ve dikişin sebep olduğu hasar ise yine epoksi reçine ile doldurulmuştur.

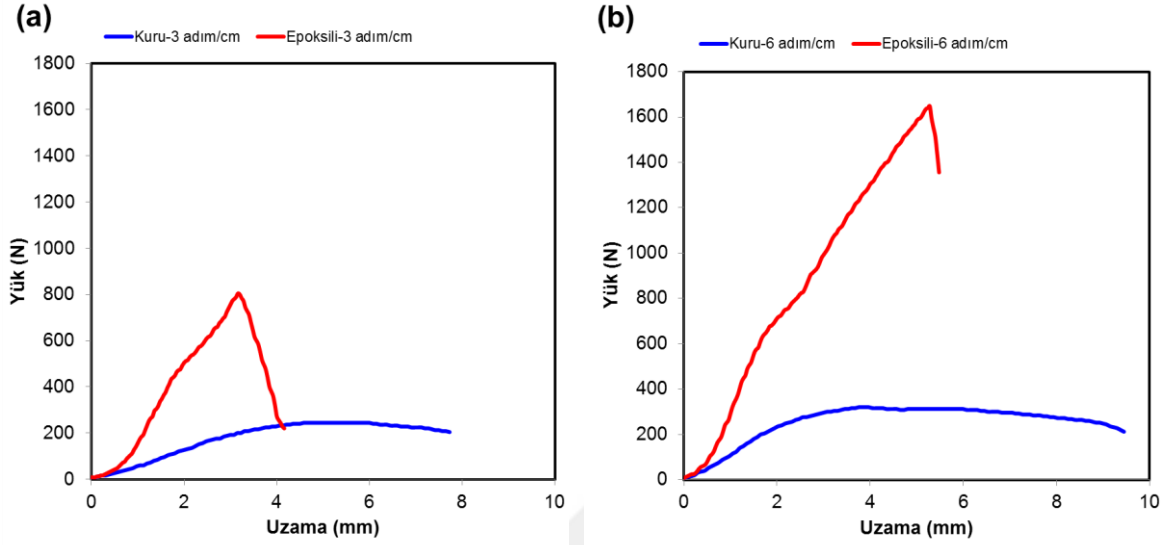
Çizelge 4.2. Dikiş dayanımı test sonuçları.

Kumaş tipi	Test yönü	Dikiş yoğunluğu	Dikiş dayanımı (N)	Dikiş kayma kuvveti (N/mm)	Dikiş verimliliği (%)
Kuru	Çözgü	3 adım/cm	246,0 (±58,20)	2,46 (±0,58)	8,76 (±2,50)
		6 adım/cm	320,7 (±74,70)	3,21 (±0,74)	11,50 (±2,56)
Epoksili		3 adım/cm	807,0 (±107,00)	8,07 (±1,07)	21,40 (±2,56)
		6 adım/cm	1635,0 (±92,60)	16,35 (±0,93)	42,54 (±2,49)
Kuru	Atkı	3 adım/cm	490,0 (±79,50)	5,15 (±0,59)	17,06 (±1,29)
		6 adım/cm	1046,0 (±75,90)	11,78 (±0,78)	41,59 (±3,36)
Epoksili		3 adım/cm	681,0 (±72,50)	6,81 (±0,73)	17,48 (±2,75)
		6 adım/cm	1401,0 (±177,00)	14,01 (±1,77)	36,37 (±5,70)

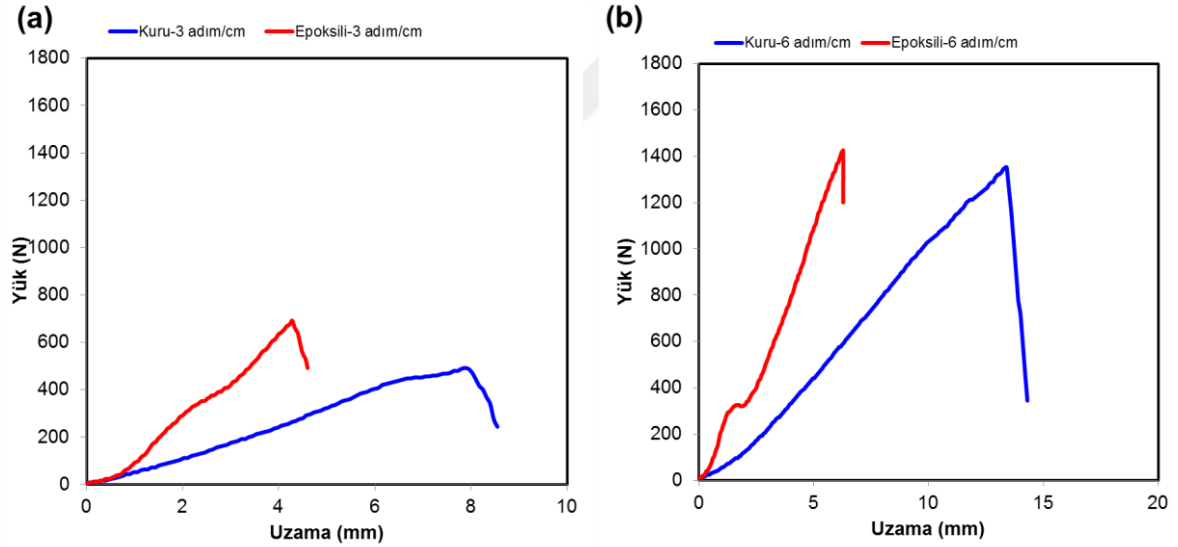
Dikiş kayma kuvveti, hem kuru hem de epoksili kumaşta dikiş yoğunluğu arttıkça artmıştır. Çekme esaslı yük altında, dikiş bölgesindeki dayanım, dikiş yoğunluğu arttıkça artış göstermektedir (Namiranian, 2014). Ayrıca, epoksili kumaşın dikiş kayma kuvveti, kuru kumaşa göre daha yüksektir. Epoksi reçine dikiş ipliğinin hareketini ve kayma davranışını kısıtlamıştır. Dikiş ilmeleri ve kumaşın çözgü/atkı ipliklerinin sabitlenmesinden dolayı, yük altında hareket kabiliyetleri kısıtlanmış, bu da dikiş kayma dayanımının daha yüksek olmasını sağlamıştır. Dikiş verimliliği de, hem kuru hem de epoksili kumaşta dikiş yoğunluğu arttıkça artmıştır. Epoksi reçine, dikiş verimliliğinde artış sağlamıştır. Dikiş dayanımı, dikiş verimliliği göz önünde bulundurularak değerlendirilmelidir. Dikiş verimliliği ise, yalnızca dikiş tipi, dikiş ipliği ve iğneye bağlı olmayıp ayrıca dikiş yoğunluğundan da etkilenmektedir (Gürarda, 2008).

Şekil 4.4 ve 4.5'te sırasıyla, çözgü ve atkı yönündeki dikiş dayanımı testi yük-uzama eğrileri verilmiştir. Çözgü ve atkı yönlerindeki kumaşların her iki dikiş yoğunluğundaki

yük-uzama eğrileri, kuru kumaşın epoksili kumaşa kıyasla daha sünek (ductile) bir davranış sergilediğini göstermiştir.



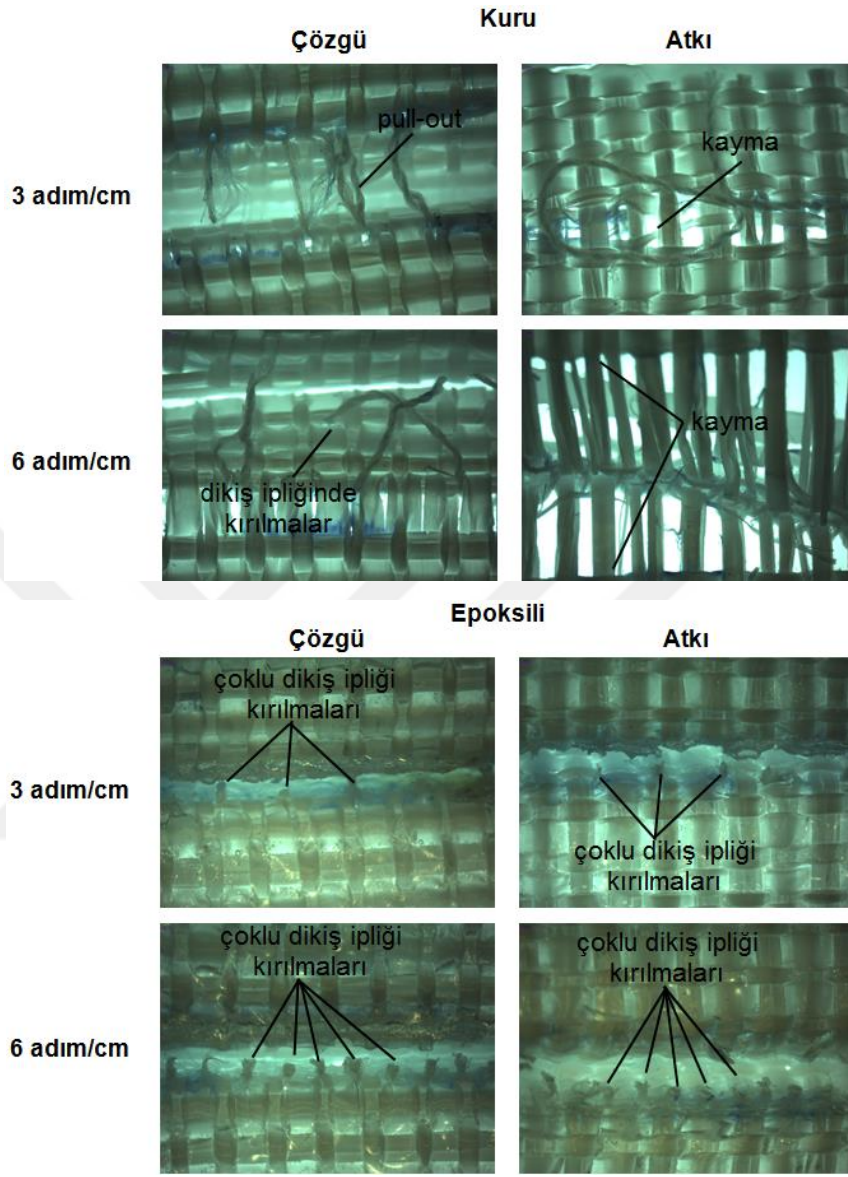
Şekil 4.4. Çözgü yönündeki dikiş dayanımı testi yük-uzama eğrileri, (a); 3 adım/cm, (b); 6 adım/cm.



Şekil 4.5. Atkı yönündeki dikiş dayanımı testi yük-uzama eğrileri, (a); 3 adım/cm, (b); 6 adım/cm.

Şekil 4.6'da, çözgü ve atkı yönündeki kuru ve epoksili kumaşların dikiş dayanımı testi sonrasındaki mikroskobik kırılma görüntüleri verilmiştir. Kuru kumaşta özellikle 6 adım/cm dikiş yoğunluğunda çözgü/atkı ipliklerinde kayma davranışı gözlenmiştir. Bunun yanı sıra dikiş ipliği ilmelerinde pull-out ve lif kırılmaları gerçekleşmiştir. Epoksili kumaşlarda ise, kuru kumaşların aksine çözgü/atkı ipliklerinde herhangi bir kayma

davranışı gözlenmemiştir. Ayrıca, epoksili kumaşların dikiş ilmelerinde pull-out gerçekleşmemiş ve ani çoklu dikiş ipliği kırılmaları gözlenmiştir.



Şekil 4.6. Kumaşların dikiş dayanımı testi sonrasındaki mikroskobik kırılma görüntüleri (x7 büyütme).

#### 4.3. Kompozit Yoğunluğu ve Kalınlık Sonuçları

Çizelge 4.3'te düzlemsel, Çizelge 4.4'te ise düzlem-dışı çekirdek yapıların kalınlık ve yoğunluk değerleri verilmiştir. Düzlemsel çekirdek yapıların kalınlık değerleri, 10,73 mm ile 54,07 mm arasında değişmektedir. Kat sayısı arttıkça, çekirdek yapıların kalınlıkları artmıştır. Aynı kat sayısındaki büyük hücreli çekirdek yapıların kalınlıkları, küçük hücreli çekirdek yapıların kalınlıklarından daha yüksektir. Düzlemsel çekirdek yapıların yoğunluk değerleri ise,  $0,703 \text{ g/cm}^3$  ile  $0,979 \text{ g/cm}^3$  arasında değişmektedir. Genel olarak, aynı kat

sayısındaki küçük hücreli çekirdek yapıların yoğunlukları, büyük hücreli çekirdek yapılarla kıyasla daha düşüktür. Kat sayısı ve dikiş yoğunluğu ile çekirdek yapıların yoğunlukları arasında belirgin bir ilişki bulunmamaktadır.

Çizelge 4.3. Düzlemsel çekirdek yapıların kalınlık ve yoğunluk değerleri.

Kod	Kat sayısı	Dikiş yoğunluğu	Hücre	Kalınlık (mm)	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )
2KC-3L	2 kat	3 adım/cm	L	17,77 (±0,45)	0,958
2KC-3S			S	10,73 (±0,04)	0,868
2KC-6L		6 adım/cm	L	16,77 (±0,42)	0,962
2KC-6S			S	10,98 (±0,05)	0,921
4KC-3L	4 kat	3 adım/cm	L	35,54 (±0,53)	0,926
4KC-3S			S	22,30 (±0,08)	0,948
4KC-6L		6 adım/cm	L	35,96 (±0,32)	0,951
4KC-6S			S	22,31 (±0,31)	0,899
6KC-3L	6 kat	3 adım/cm	L	52,86 (±0,35)	0,931
6KC-3S			S	31,26 (±0,14)	0,871
6KC-6L		6 adım/cm	L	54,07 (±0,57)	0,979
6KC-6S			S	33,21 (±0,87)	0,703

Düzlem-dışı çekirdek yapıların kalınlık değerleri 10,00 mm ile 20,35 mm arasında, yoğunluk değerleri ise 0,400 g/cm<sup>3</sup> ile 0,939 g/cm<sup>3</sup> arasında değişmektedir.

Çizelge 4.4. Düzlem-dışı çekirdek yapıların kalınlık ve yoğunluk değerleri.

Kod	Dikiş yoğunluğu	Hücre	Kalınlık (mm)	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )
R6KC-3L	3 adım/cm	L	18,99 (±0,59)	0,797
R6KC-3S		S	20,35 (±0,71)	0,939
R6KC-6L	6 adım/cm	L	19,62 (±0,76)	0,930
R6KC-6S		S	19,01 (±0,86)	0,812
RC-PP	-	-	10,00	0,900
RC-ALL	-	-	20,00	0,400
RC-ALS	-	-	19,00	0,600

Çizelge 4.5'te dış yüzey kompozit ve düzlemsel sandviç kompozitlerin, Çizelge 4.6'da ise düzlem-dışı sandviç kompozitlerin kalınlık ve yoğunluk değerleri verilmiştir. Düzlemsel

sandviç kompozitlerin kalınlık değerleri, 15,42 mm ile 57,59 mm arasında değişmektedir. Dış yüzey kompozitin kalınlık değeri 1,86 mm olarak belirlenmiştir. Kat sayısı arttıkça, sandviç kompozitlerin kalınlıkları artmıştır. Aynı kat sayısındaki büyük hücreli çekirdek yapıların kalınlıkları, küçük hücreli çekirdek yapıların kalınlıklarından daha yüksektir. Düzlemsel çekirdek yapıların yoğunluk değerleri ise, 1,443 g/cm<sup>3</sup> ile 1,187 g/cm<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Dış yüzey kompozitin yoğunluk değeri 1,711 g/cm<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. Genel olarak, kat sayısı arttıkça düzlemsel sandviç yapıların yoğunlukları azalmıştır. Dikiş yoğunluğu ile sandviç kompozitlerin yoğunlukları arasında belirgin bir ilişki bulunmamaktadır.

Çizelge 4.5. Dış yüzey kompozit ve düzlemsel sandviç kompozitlerin kalınlık ve yoğunluk değerleri.

Kod	Kat sayısı	Dikiş yoğunluğu	Hücre	Kalınlık (mm)	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )
GF	-	-	-	1,86 (±0,03)	1,711
2KS-3L	2 kat	3 adım/cm	L	20,74 (±0,12)	1,442
2KS-3S			S	15,42 (±0,02)	1,410
2KS-6L		6 adım/cm	L	20,67 (±0,20)	1,417
2KS-6S			S	15,56 (±0,10)	1,443
4KS-3L	4 kat	3 adım/cm	L	38,48 (±0,62)	1,297
4KS-3S			S	27,01 (±0,04)	1,265
4KS-6L		6 adım/cm	L	39,38 (±0,50)	1,327
4KS-6S			S	27,13 (±0,10)	1,316
6KS-3L	6 kat	3 adım/cm	L	57,59 (±0,21)	1,260
6KS-3S			S	36,68 (±1,91)	1,187
6KS-6L		6 adım/cm	L	57,07 (±0,59)	1,241
6KS-6S			S	38,37 (±0,47)	1,228

Düzlem-dışı çekirdek yapıların kalınlık değerleri 13,82 mm ile 25,20 mm arasında, yoğunluk değerleri ise 1,055 g/cm<sup>3</sup> ile 1,683 g/cm<sup>3</sup> arasında değişmektedir. En düşük yoğunluk değerini 3 adım/cm dikiş yoğunluğundaki küçük hücreli sandviç kompozit (R6KS-3S), en yüksek yoğunluk değerini ise ticari PP balpeteği çekirdek yapıya sahip sandviç kompozit (RS-PP) göstermiştir.

Çizelge 4.6. Düzlem-dışı sandviç kompozitlerin kalınlık ve yoğunluk değerleri.

Kod	Dikiş yoğunluğu	Hücre	Kalınlık (mm)	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )
R6KS-3L	3 adım/cm	L	23,80 (±0,22)	1,408
R6KS-3S		S	24,93 (±0,46)	1,055
R6KS-6L	6 adım/cm	L	24,15 (±0,05)	1,374
R6KS-6S		S	24,15 (±0,49)	1,228
RS-PP	-	-	13,82 (±0,02)	1,683
RS-ALL	-	-	25,20 (±0,13)	1,158
RS-ALS	-	-	24,24 (±0,19)	1,038

#### 4.4. Lif Miktarı Test Sonuçları

Çizelge 4.7’de dış yüzey kompozit ve çekirdek yapıların lif miktarları verilmiştir. Dış yüzey kompozit ağırlıkça yaklaşık %60, hacimce ise yaklaşık %40’lık lif miktarı içermektedir. Çekirdek yapının ise ağırlıkça yaklaşık %36, hacimce ise yaklaşık %38’lik bir lif miktarına sahip olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.7. Dış yüzey kompozit ve çekirdek yapıların lif miktarları.

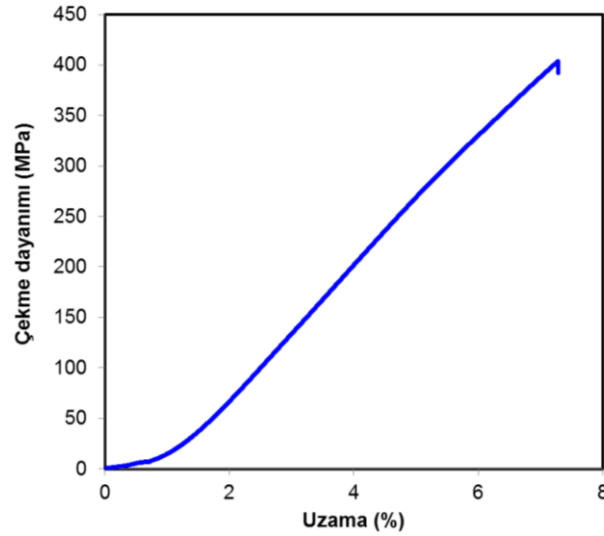
Tanım	Lif miktarı (%)	
	Ağırlık esaslı	Hacimsel
Dış yüzey kompozit (GF)	58,95 (±0,16)	39,25 (±0,11)
Çekirdek (PP)	36,29 (±1,26)	37,89 (±1,31)

#### 4.5. Çekme Testi Sonuçları

Dış yüzey kompozite uygulanan çekme testi sonuçları Çizelge 4.8’de verilmiştir. Şekil 4.7’de, çekme testi yük-uzama eğrisi verilmiştir.

Çizelge 4.8. Dış yüzey kompozit yapının çekme testi sonuçları.

Kod	Tanım	Maksimum yük (N)	Çekme dayanımı (MPa)	Çekme modülü (MPa)	Uzama (%)
GF	Dış yüzey kompozit	18833,72 (±841,58)	389,19 (±25,19)	3295,19 (±93,37)	6,99 (±0,38)



Şekil 4.7. Çekme testi yük-uzama eğrisi.

#### 4.6. Eğme Testi Sonuçları

##### 4.6.1. Eğme dayanımı ve modülü

Çizelge 4.9 ve Şekil 4.8’de düzlemsel sandviç kompozitlerin eğme dayanım ve modül değerleri verilmiştir. Dış yüzey kompozitin (GF) eğme dayanımı, sandviç kompozitlere kıyasla oldukça yüksektir. Bunun nedeni, dış yüzey kompozitin kalınlık değerinin sandviç kompozitlere kıyasla çok düşük olmasıdır.

Çizelge 4.9. Düzlemsel sandviç kompozitlerin eğme dayanım ve modül değerleri.

Kod	Kat sayısı	Dış yoğunluğu	Hücre	Yük (N)	Eğme dayanımı (MPa)	Eğme modülü (MPa)
GF	-	-	-	264,80 (±2,67)	465,75 (±2,62)	55788,66 (±1545,86)
2KS-3L	2 kat	3 adım/cm	L	420,83 (±11,72)	5,61 (±0,44)	447,78 (±17,79)
2KS-3S			S	349,17 (±80,42)	8,43 (±1,55)	509,51 (±18,35)
2KS-6L		6 adım/cm	L	441,17 (±31,50)	5,58 (±0,46)	489,67 (±21,04)
2KS-6S			S	457,10 (±130,47)	10,72 (±1,02)	523,67 (±69,92)
4KS-3L	4 kat	3 adım/cm	L	425,83 (±21,08)	1,67 (±0,09)	79,65 (±8,05)
4KS-3S			S	511,67 (±53,10)	4,04 (±0,52)	283,43 (±13,68)
4KS-6L		6 adım/cm	L	432,83 (±16,99)	1,59 (±0,08)	64,53 (±8,45)
4KS-6S			S	588,50 (±21,23)	4,63 (±0,19)	376,37 (±18,86)
6KS-3L	6 kat	3 adım/cm	L	412,67 (±12,00)	0,78 (±0,01)	10,74 (±2,30)
6KS-3S			S	710,50 (±76,40)	2,81 (±0,31)	96,61 (±15,90)
6KS-6L		6 adım/cm	L	426,83 (±38,08)	0,72 (±0,04)	12,65 (±2,23)
6KS-6S			S	667,77 (±89,17)	2,53 (±0,34)	112,21 (±26,84)

Genel olarak, küçük hücreli sandviç kompozitlerin eğme yükü, eğme dayanımı ve eğme modülü değerleri, büyük hücreli sandviç kompozitlere kıyasla daha yüksektir. Bu durum, sandviç kompozitin eğme yüküne maruz kalması esnasında, birim alanda daha fazla çekirdek hücrelerinin bulunmasından kaynaklanmaktadır. Hücre büyüklüğü arttıkça, eğme yüküne karşı gösterilen direnç azaldığından dolayı, eğme yükü, eğme dayanımı ve eğme modülü değerleri düşmüştür. Çekirdek yapının kat sayısının artması, büyük hücreli yapılarda eğme yüküne etki etmemiştir. Büyük hücreli çekirdek yapıların genel olarak daha esnek bir yapısı bulunmaktadır. Bu durum, kat sayısındaki artışın eğme yüküne etkisini engellemiştir. Ancak, küçük hücreli yapılarda çekirdek kat sayısının artmasıyla birlikte, eğme yükü de artmıştır. Küçük hücreli yapıların eğme dayanımlarının, büyük hücreli yapılara kıyasla yüksek olmasının diğer nedeni de, küçük hücreli yapılarda çekirdek/dış yüzey bağlantı/yapışma noktasının büyük hücreli yapılara kıyasla daha fazla olmasıdır. Dikiş yoğunluğunun büyük hücreli yapıların eğme yükü değerlerine belirgin bir etkisi olmamakla birlikte, küçük hücreli yapılarda genel olarak dikiş yoğunluğu arttıkça eğme yükü de artmıştır. Çekirdek yapının katları arasındaki birleşimi ve hücre yapısının oluşmasını dikiş sağlamaktadır. Bu birleştirme işleminin daha yoğun dikiş ilmeleri ile yapılması, sandviç kompozitin eğme yüküne karşı gösterdiği direnci de arttırmaktadır.

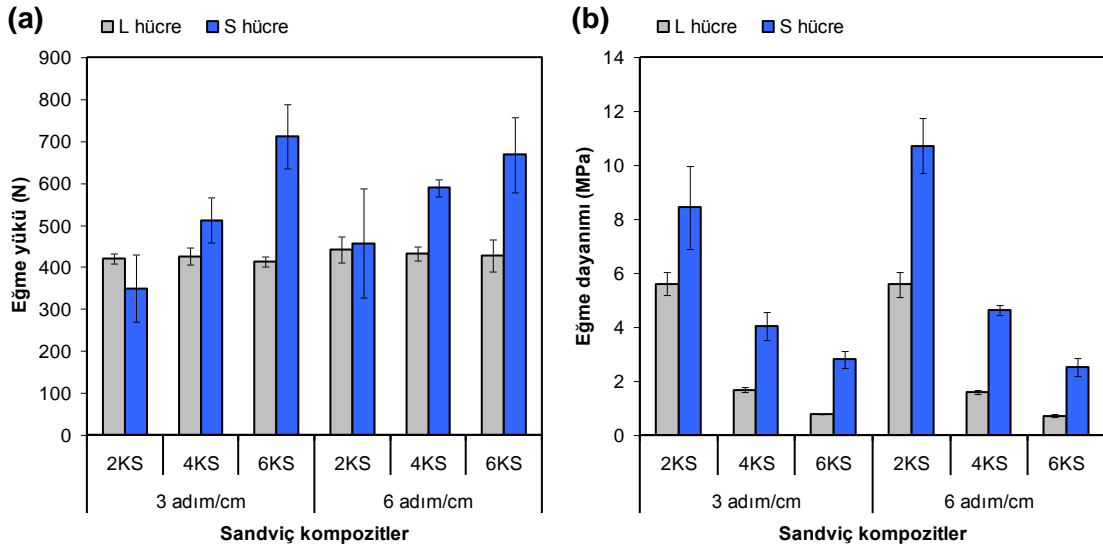
Çekirdek yapının kat sayısı arttıkça, hem büyük hem de küçük hücreli yapıların eğme dayanımı değerleri düşmüştür. Bunun nedeni, artan çekirdek kat sayısı ile birlikte, sandviç kompozitin kalınlık değerinin de artış göstermesidir. Ayrıca, eğme yükü altında düzlemsel sandviç kompozitlerin bozunması genel olarak çekirdek hücrelerinin bölgesel olarak ezilmesi biçiminde gerçekleşmiştir. 2 katlı çekirdek yapının hücreleri, alt ve üst kısımda bulunan dış yüzey kompozit ile bağlantı halindedir. 4 katlı çekirdek yapıda, orta kısımdaki hücreler dış yüzey ile doğrudan bağlantı kurmamaktadır. 6 katlı çekirdek yapıda ise orta kısımda dış yüzey ile doğrudan bağlantı kurmayan serbest haldeki çekirdek hücresi 4 katlı yapıya kıyasla daha fazladır. Çekirdek yapıdaki kat sayısı arttıkça, sandviç kompozit esnek bir yapıya dönüşmektedir. Aksi durumda ise, çekirdek yapıdaki kat sayısının azalması, sandviç kompozitin rijitleşmesine neden olmaktadır.

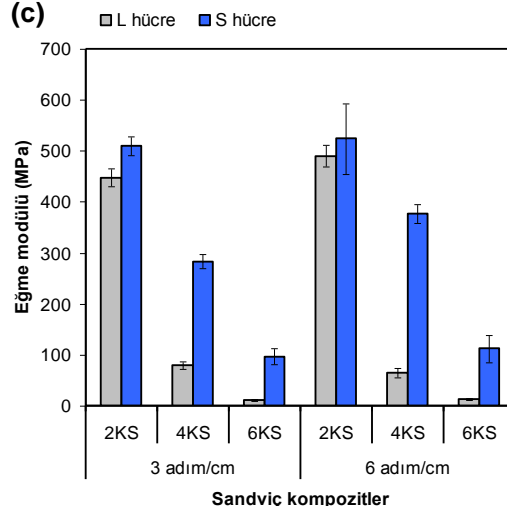
Küçük hücreli sandviç kompozitlerin eğme dayanımı değerleri, büyük hücreli sandviç kompozitlere kıyasla tüm kat sayılarında ve her iki dikiş yoğunluğunda da (3 adım/cm ve 6 adım/cm) daha yüksektir. Bunun nedeni, küçük hücreli sandviç kompozitin eğme yüküne maruz kalması durumunda birim alanda daha fazla çekirdek hücrelerinin bulunmasından

kaynaklanmaktadır. Ayrıca, küçük hücreli yapılarda çekirdek/dış yüzey bağlantı/yapışma noktasının büyük hücreli yapılara kıyasla daha fazla olması da küçük hücreli sandviç kompozitlerin eğme dayanımının büyük hücreli sandviç kompozitlere kıyasla daha yüksek olmasını sağlamıştır.

Dikiş yoğunluğu arttıkça, hem büyük hem de küçük hücreli sandviç kompozitlerin eğme dayanımları artmıştır. Çekirdek yapının katları arasındaki birleşimi ve hücre yapısının oluşmasını dikiş sağlamaktadır. Bu birleştirme işleminin daha yoğun dikiş ilmeleri ile yapılması, sandviç kompozitin eğme yüküne karşı gösterdiği direnci de arttırmaktadır.

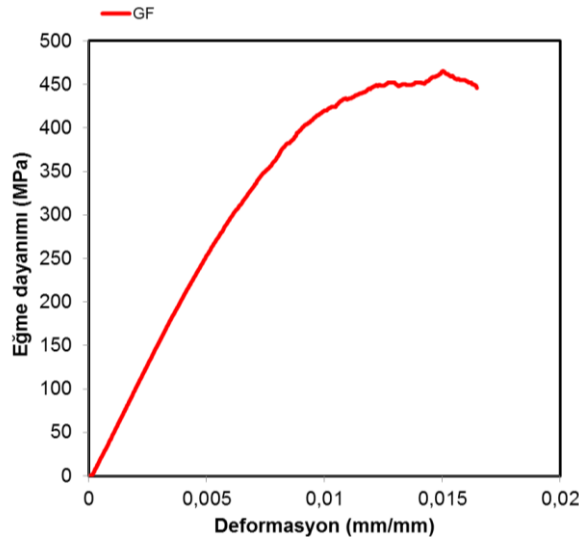
Çekirdek yapının kat sayısı arttıkça, hem büyük hem de küçük hücreli yapıların eğme modülü değerleri düşmüştür. Özellikle büyük hücreli yapıların eğme modülü değerlerinde belirgin bir düşüş meydana gelmiştir. Büyük hücreli çekirdek yapıların genel olarak daha esnek bir yapısı bulunmaktadır ve kat sayısı arttıkça dış yüzey ile doğrudan bağlantı yapmayan çekirdek hücrelerinin eğme yükü altındaki davranışı oldukça sünek gerçekleşmiştir. Bu durum, büyük hücreli yapılar ile küçük hücreli yapıların eğme modülü değerleri arasındaki farkı da arttırmıştır. Dikiş yoğunluğu arttıkça, genel olarak eğme modülün arttığı söylenebilir.



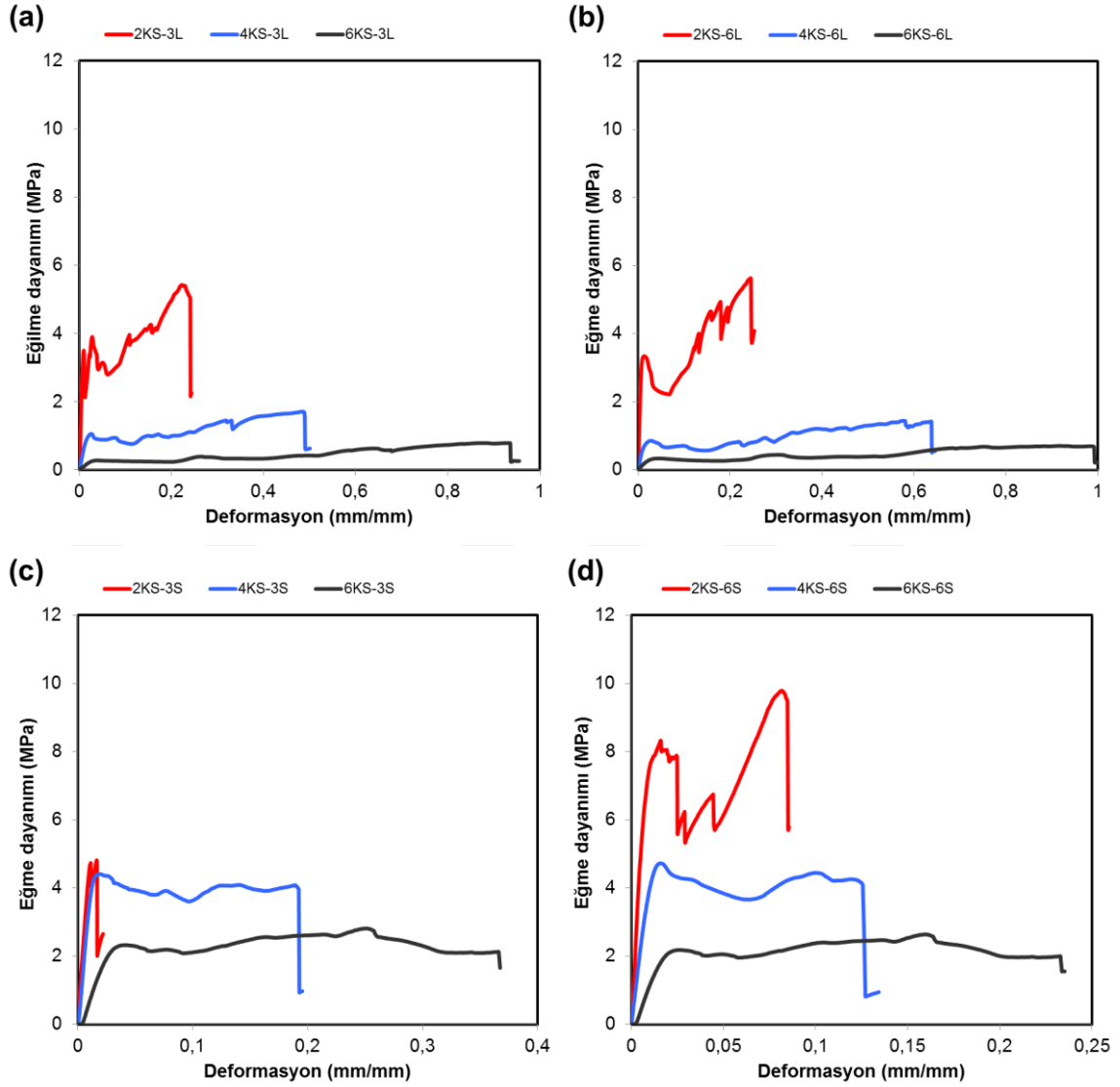


Şekil 4.8. Düzlemsel sandviç kompozitlerin eğme testi sonuçları, (a); eğme yükü, (b); eğme dayanımı, (c); eğme modülü.

Şekil 4.9’da, dış yüzey kompozitin eğme dayanımı-deformasyon eğrisi verilmiştir. Dış yüzey kompozit, sandviç kompozitlere kıyasla rijit bir davranış sergilemiştir. Şekil 4.10’da, düzlemsel sandviç kompozitlerin eğme dayanımı-deformasyon eğrileri verilmiştir. Sandviç kompozitlerin eğme dayanımı-deformasyon eğrileri incelendiğinde, kat sayısı arttıkça yapının sünek bir davranış sergilediği belirlenmiştir. Ancak, küçük hücreli sandviç kompozitlerin deformasyon eğrilerinin, büyük hücreli sandviç kompozitlere kıyasla daha rijit olduğu belirlenmiştir. Özellikle küçük hücreli sandviç kompozitlerde aynı kat sayısındaki yapılar karşılaştırıldığında, 6 adım/cm dikiş yoğunluğundaki yapıların, 3 adım/cm dikiş yoğunluğundaki yapılara göre daha rijit bir davranış sergilediği belirlenmiştir. Böylece, sandviç kompozitlerde çekirdek yapının hücrelerinin küçülmesi ve hücrelerin birleştirilmesinde kullanılan dikiş yoğunluğunun artmasıyla birlikte, sandviç kompozitin rijitleştiği sonucuna varılmıştır.



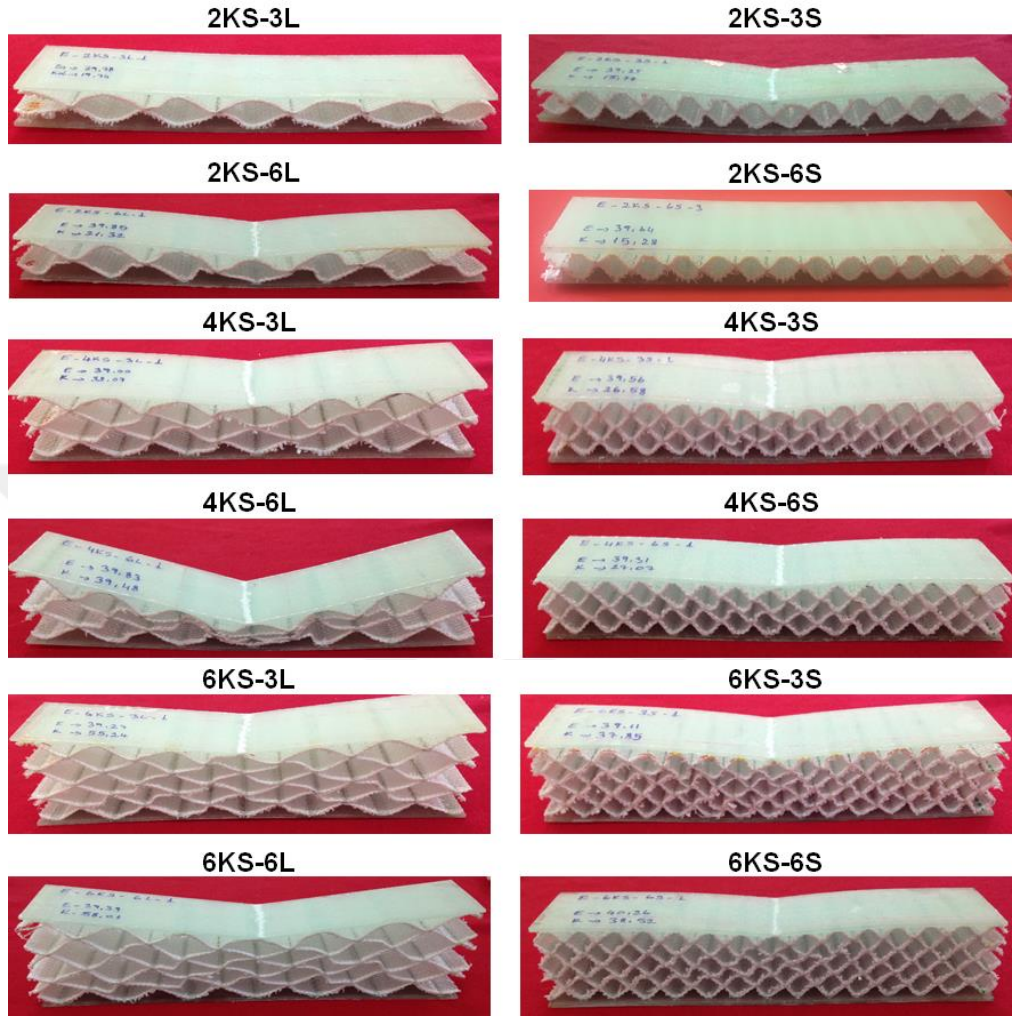
Şekil 4.9. Dış yüzey kompozitin eğme dayanımı-deformasyon eğrisi.



Şekil 4.10. Düzlemsel sandviç kompozitlerin eğme dayanımı-deformasyon eğrileri, (a); L hücre-3 adım/cm, (b); L hücre-6 adım/cm, (c); S hücre-3 adım/cm, (d); S hücre-6 adım/cm dikiş yoğunluğu.

Şekil 4.11’de, düzlemsel sandviç kompozitlerin eğme testi sonrası kırılma görüntüleri verilmiştir. Düzlemsel sandviç kompozitlerin eğme yüküne maruz kaldıkları dış yüzey kompozitte, genel olarak kırılma gerçekleşmiştir. 2 katlı sandviç kompozitlerde, büyük hücreli yapılarda yapı boyunca çekirdek deformasyonu ezilme biçiminde (flexural crushing) gerçekleşirken, küçük hücreli yapılarda çekirdek yapıda herhangi bir deformasyon gözlenmemiştir. 4 ve 6 katlı sandviç kompozitlerde, 2 katlı sandviç kompozitlere benzer biçimde, büyük hücreli yapılarda yapı boyunca çekirdek deformasyonu ezilme biçiminde (flexural crushing) gerçekleşirken, küçük hücreli yapılarda çekirdek yapıda bölgesel ezilme davranışı (local crushing) gözlenmiştir. Dikiş

yoğunluğunun, her iki hücre büyüklüğündeki sandviç kompozitlerin eğme yükü altındaki kırılma davranışına etkisi gözlemlenmemiştir.

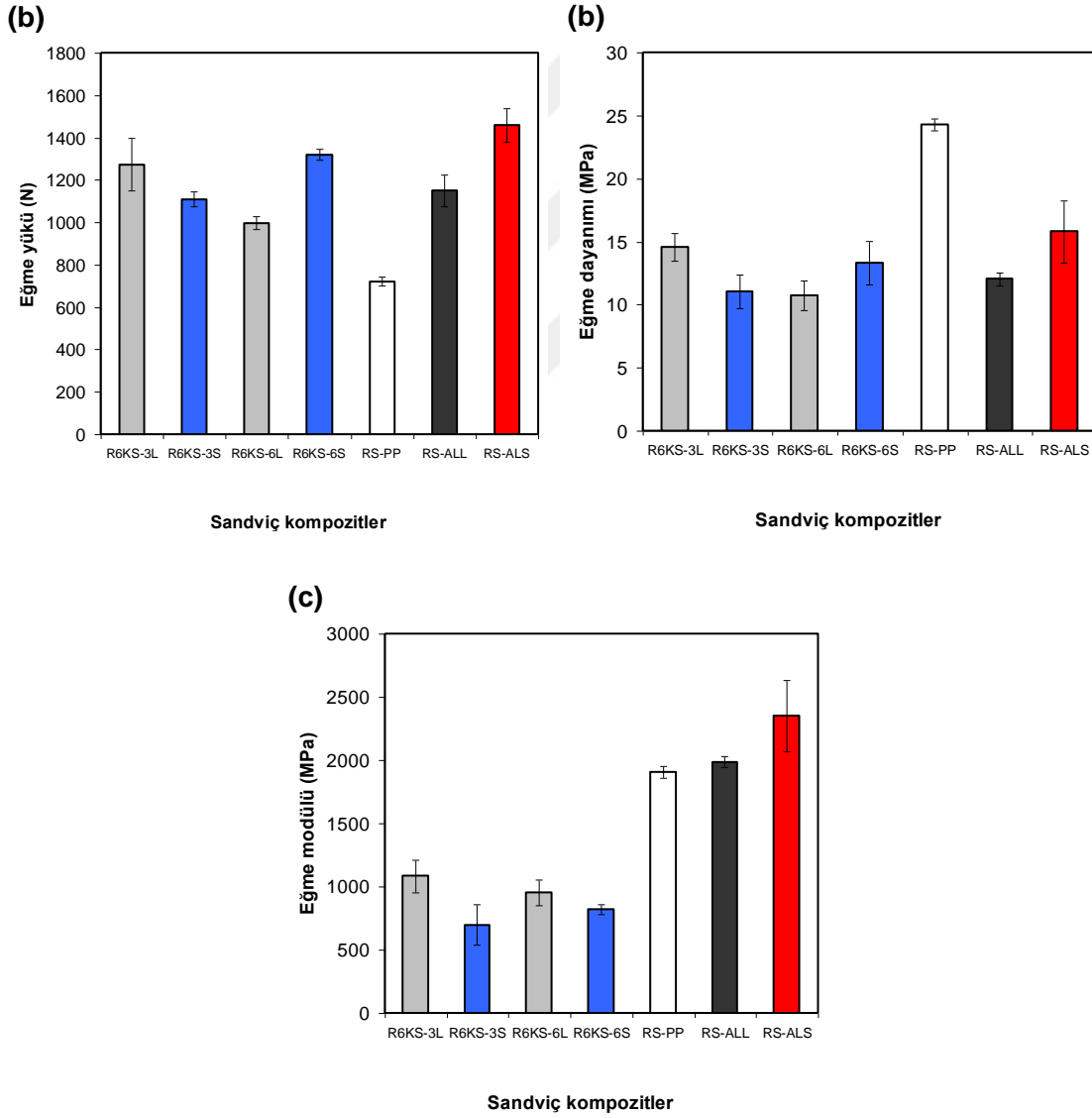


Şekil 4.11. Düzlemsel sandviç kompozitlerin eğme testi sonrası kırılma görüntüleri.

Çizelge 4.10 ve Şekil 4.12’de düzlem-dışı sandviç kompozitlerin eğme dayanım ve modül değerleri verilmiştir. En yüksek eğme yükünü küçük hücreli alüminyum balpeteği çekirdek yapı içeren sandviç kompozit (RS-ALS) göstermiş olup, bu yapıyı küçük hücreli 6 adım/cm dikiş yoğunluğundaki PP çekirdek yapı içeren sandviç kompozit (R6KS-6S) takip etmiştir. Ticari çekirdek yapılar ve geliştirilen çekirdek yapıları içeren sandviç kompozitlerin eğme yükleri genel olarak yakındır. En düşük eğme yükünü ticari PP balpeteği çekirdek yapı içeren sandviç kompozit (RS-PP) göstermesine karşın, düşük kalınlık değerinden dolayı en yüksek eğme dayanımını da yine aynı sandviç kompozit sergilemiştir.

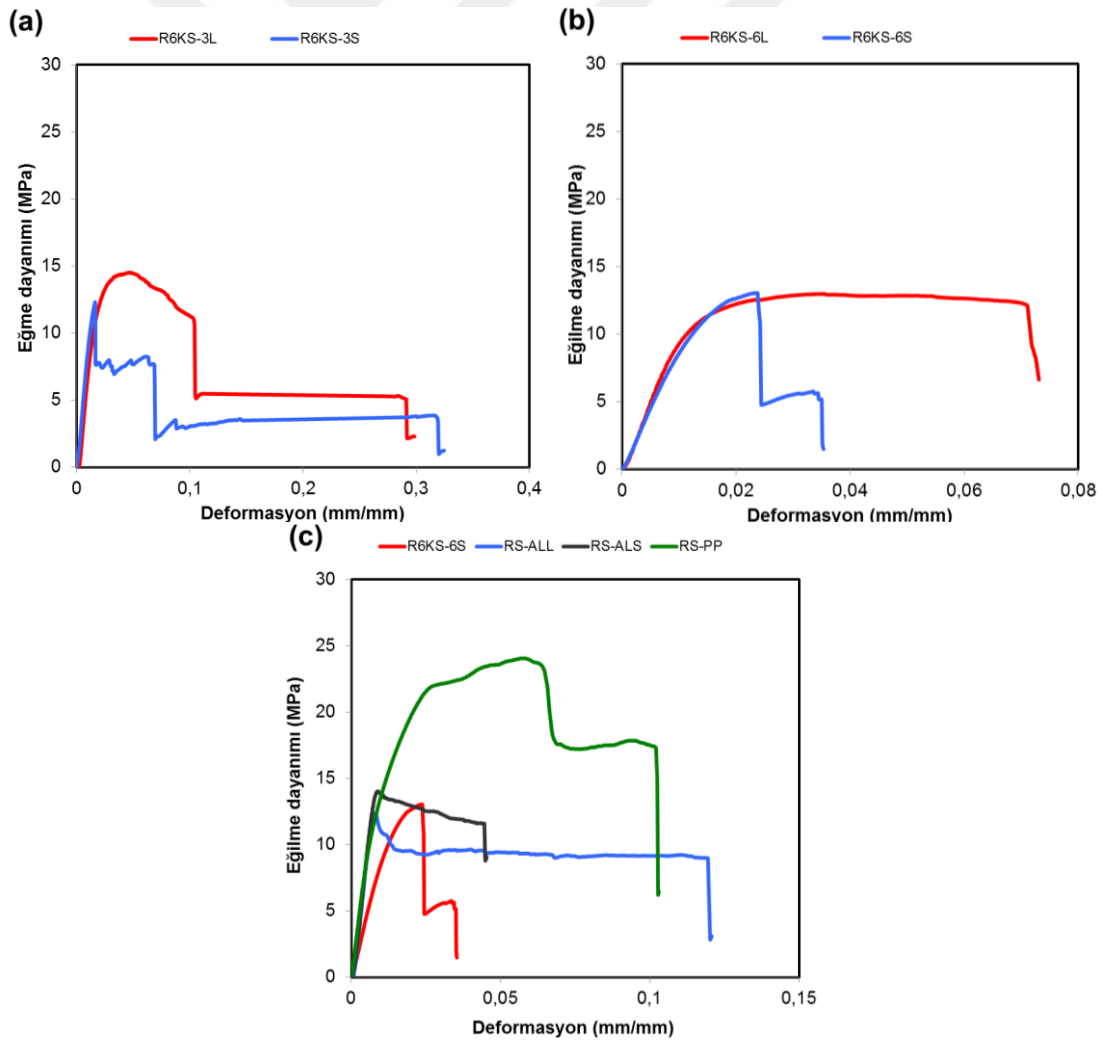
Çizelge 4.10. Düzlem-dışı sandviç kompozitlerin eğme dayanım ve modül değerleri.

Kod	Dikiş yoğunluğu	Hücre	Yük (N)	Eğme dayanımı (MPa)	Eğme modülü (MPa)
R6KS-3L	3 adım/cm	L	1273,00 (±123,79)	14,57 (±1,13)	1083,23 (±128,30)
R6KS-3S		S	1109,93 (±34,49)	11,06 (±1,31)	698,88 (±159,92)
R6KS-6L	6 adım/cm	L	996,70 (±31,17)	10,74 (±1,16)	954,33 (±101,21)
R6KS-6S		S	1319,77 (±25,06)	13,31 (±1,74)	821,48 (±40,36)
RS-PP	-	-	722,03 (±20,33)	24,26 (±0,47)	1905,63 (±49,95)
RS-ALL	-	-	1151,25 (±76,01)	12,03 (±0,49)	1986,26 (±43,05)
RS-ALS	-	-	1457,25 (±79,25)	15,80 (±2,47)	2350,12 (±281,38)



Şekil 4.12. Düzlem-dışı sandviç kompozitlerin eğme testi sonuçları, (a); eğme yükü, (b); eğme dayanımı, (c); eğme modülü.

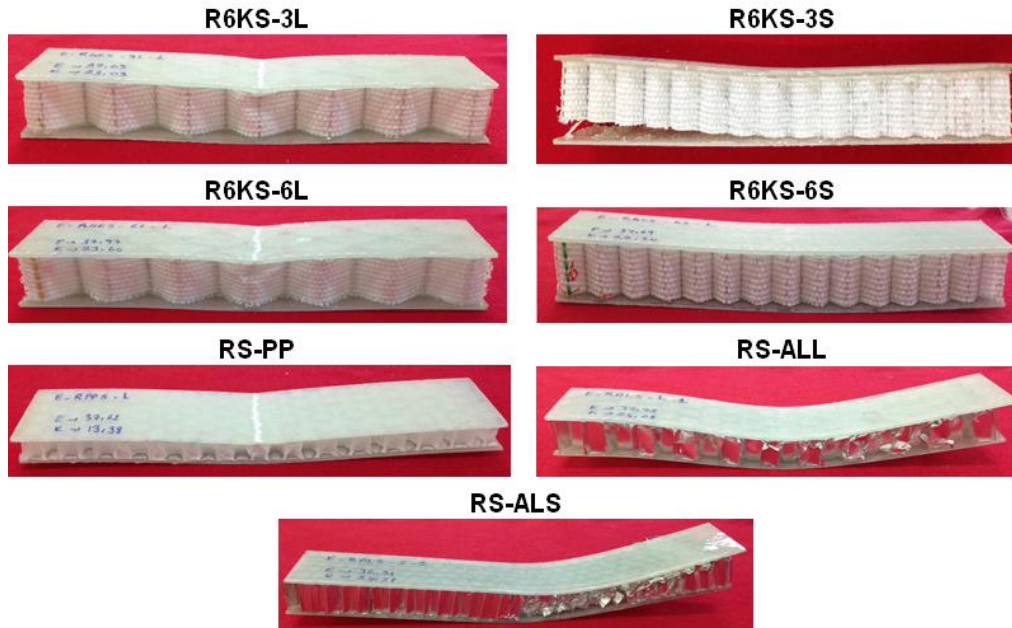
Geliştirilen çekirdek yapılar da hücre büyüklüğü ve dikiş yoğunluğunun, eğme dayanımı üzerinde belirgin bir etkisi bulunmamaktadır. Geliştirilen düzlem-dışı sandviç kompozitlerin eğme yüküne maruz kalmaları durumunda bozunma davranışı, çekirdek ve dış yüzeyin delaminasyonu biçiminde gerçekleşmiştir. Bu durum, hücre büyüklüğü ve dikiş yoğunluğu gibi çekirdek ile ilgili parametrelerin etkisinin belirgin hale gelmesini önlemiştir. Ticari çekirdek yapılar da ise bozunmanın buckling ve çekirdek ezilmesi biçiminde gerçekleşmesinden dolayı, eğme dayanımının daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. En yüksek eğme modülünü RS-ALS gösterirken, geliştirilen düzlem-dışı sandviç kompozitlerin daha düşük eğme modülüne sahip oldukları belirlenmiştir. Şekil 4.13'te, düzlem-dışı sandviç kompozitlerin eğme dayanımı-deformasyon eğrileri verilmiştir. Düzlem-dışı sandviç kompozitlerde çekirdek yapının hücresinin küçülmesi ve hücrelerin birleştirilmesinde kullanılan dikiş yoğunluğunun artmasıyla birlikte, sandviç kompozitin rijitleştiği belirlenmiştir.



Şekil 4.13. Düzlem-dışı sandviç kompozitlerin eğme dayanımı-deformasyon eğrileri, (a); 3 adım/cm, (b); 6 adım/cm, (c); RS-PP, RS-ALL, RS-ALS.

Şekil 4.14'te, düzlem-dışı sandviç kompozitlerin eğme testi sonrası kırılma görüntüleri verilmiştir. Büyük hücreli (R6KS-3L ve R6KS-6L) ve ticari PP (RS-PP) sandviç kompozitlerin eğme yüküne maruz kaldıkları dış yüzey kompozitte kırılma gerçekleşirken, küçük hücreli (R6KS-3S ve R6KS-6S) ve ticari alüminyum (RS-ALL ve RS-ASS) sandviç kompozitlerin dış yüzey kompozitlerinde herhangi bir kırılma gerçekleşmemiştir. Geliştirilen düzlem-dışı sandviç kompozitlerin eğme yüküne maruz kalmaları durumunda bozunma davranışı, hem büyük hem de küçük hücreli yapılarda çekirdek ve dış yüzeyin delaminasyonu biçiminde gerçekleşmiştir. Ancak büyük hücreli yapılarda, çekirdek yapıda bölgesel ezilme davranışı (local crushing) gözlenmiştir. Küçük hücreli yapılarda ise çekirdek yapıda herhangi bir deformasyona rastlanmamıştır.

Ticari çekirdek yapılarda ise bozunmanın buckling ve çekirdek ezilmesi biçiminde gerçekleşmesinden dolayı, eğme dayanımının daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca, alüminyum çekirdek yapı içeren sandviç kompozitlerde kayma esaslı krimp (shear crimping) ve çekirdeğin eğme esaslı ezilmesi (flexural crushing) gözlemlenmiştir.



Şekil 4.14. Düzlemsel sandviç kompozitlerin eğme testi sonrası kırılma görüntüleri.

#### 4.6.2. Çekirdek kayma dayanımı ve dış yüzey gerilmesi

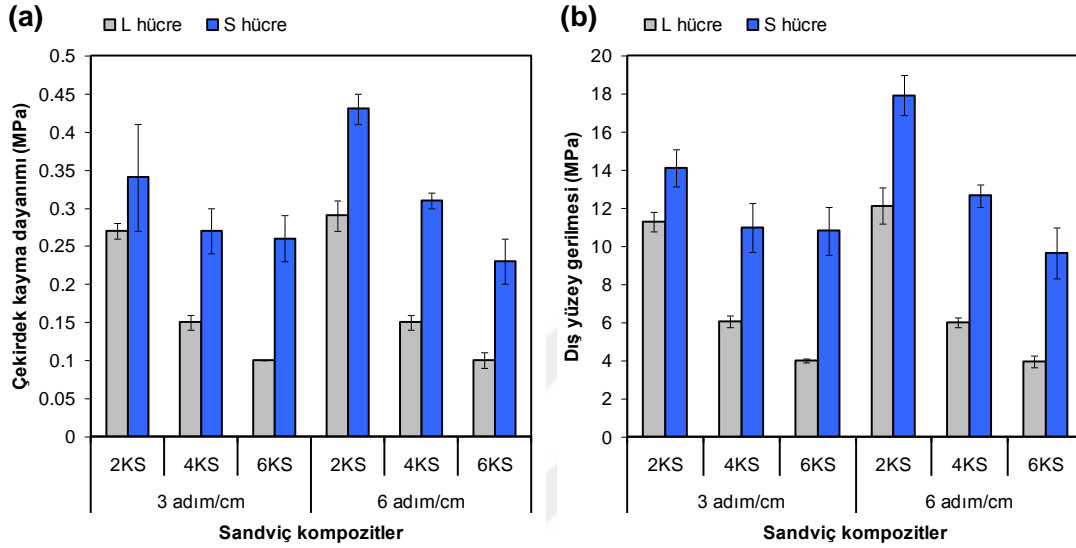
Çizelge 4.11 ve Şekil 4.15'te düzlemsel sandviç kompozitlerin çekirdek kayma dayanımı ve dış yüzey gerilmesi değerleri verilmiştir. Büyük hücreli sandviç kompozitlerin çekirdek kayma dayanımı, küçük hücreli sandviç kompozitlere kıyasla daha düşüktür. Küçük hücre yapısı, eğme yükü altında kaymaya karşı direnci arttırmış, bu da daha rijit bir sandviç kompozit yapısı sağlamıştır. Kat sayısı arttıkça, hem büyük hem de küçük hücreli sandviç kompozitlerin çekirdek kayma dayanımının düştüğü belirlenmiştir. Bunun nedeni, çekirdek yapıdaki kat sayısının artmasıyla birlikte, orta kısımda dış yüzey ile doğrudan bağlantı kurmayan serbest haldeki çekirdek hücrelerinin artması ve daha esnek bir sandviç kompozitin oluşmasıdır. Böylece, eğme yükü altında kayma davranışına eğilim gösteren hücre yapısı da artış göstermekte, bu da daha düşük çekirdek kayma dayanımı ile sonuçlanmaktadır. Eğme testi sonrası kırılma görüntüleri de bu sonucu doğrulamaktadır. Dikiş yoğunluğu arttıkça hem büyük hem de küçük hücreli sandviç kompozitlerde genel olarak çekirdek kayma dayanımı artmıştır.

Çizelge 4.11. Düzlemsel sandviç kompozitlerin çekirdek kayma dayanımı ve dış yüzey gerilmesi değerleri.

Kod	Kat sayısı	Dikiş yoğunluğu	Hücre	Çekirdek kayma dayanımı (MPa)	Dış yüzey gerilmesi (MPa)
2KS-3L	2 kat	3 adım/cm	L	0,27 ( $\pm 0,01$ )	11,29 ( $\pm 0,51$ )
2KS-3S			S	0,34 ( $\pm 0,07$ )	14,11 ( $\pm 0,98$ )
2KS-6L		6 adım/cm	L	0,29 ( $\pm 0,02$ )	12,12 ( $\pm 0,96$ )
2KS-6S			S	0,43 ( $\pm 0,02$ )	17,92 ( $\pm 1,07$ )
4KS-3L	4 kat	3 adım/cm	L	0,15 ( $\pm 0,01$ )	6,05 ( $\pm 0,33$ )
4KS-3S			S	0,27 ( $\pm 0,03$ )	10,98 ( $\pm 1,27$ )
4KS-6L		6 adım/cm	L	0,15 ( $\pm 0,01$ )	6,00 ( $\pm 0,25$ )
4KS-6S			S	0,31 ( $\pm 0,01$ )	12,65 ( $\pm 0,59$ )
6KS-3L	6 kat	3 adım/cm	L	0,10 ( $\pm 0,00$ )	4,00 ( $\pm 0,09$ )
6KS-3S			S	0,26 ( $\pm 0,03$ )	10,80 ( $\pm 1,24$ )
6KS-6L		6 adım/cm	L	0,10 ( $\pm 0,01$ )	3,95 ( $\pm 0,29$ )
6KS-6S			S	0,23 ( $\pm 0,03$ )	9,64 ( $\pm 1,32$ )

Büyük hücreli sandviç kompozitlerin dış yüzey gerilmesi, küçük hücreli sandviç kompozitlere kıyasla daha düşüktür. Dış yüzey gerilmesi, küçük hücreli yapılarda çekirdek/dış yüzey bağlantı/yapışma noktasının büyük hücreli yapılara kıyasla daha fazla olması ve küçük hücreli çekirdek yapının daha rijit yapısından dolayı, büyük hücreli yapılara kıyasla daha yüksektir. Dikiş yoğunluğunun büyük hücreli yapıların dış yüzey

gerilmesine belirgin bir etkisi olmamakla birlikte, küçük hücreli yapılarda genel olarak dikiş yoğunluğu arttıkça dış yüzey gerilmesi de artmıştır. Çekirdek yapının katları arasındaki birleşimi ve hücre yapısının oluşmasını dikiş sağlamaktadır. Bu birleştirme işleminin daha yoğun dikiş ilmeleri ile yapılması, sandviç kompozitin eğme yüküne karşı gösterdiği direnci de arttırmaktadır.

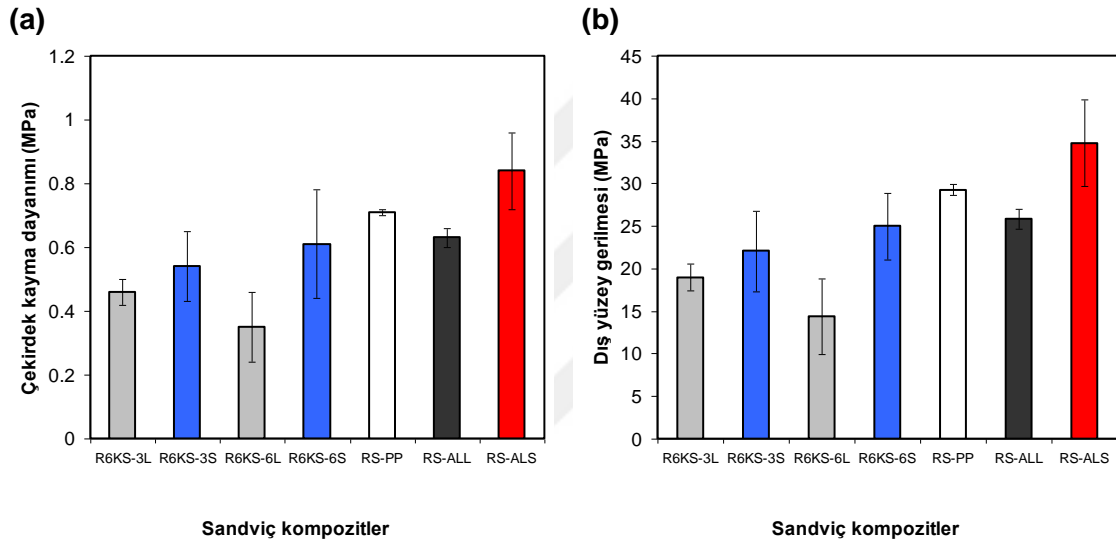


Şekil 4.15. Düzlemsel sandviç kompozitlerin eğme testi sonuçları, (a); çekirdek kayma dayanımı, (b); dış yüzey gerilmesi.

Çizelge 4.12 ve Şekil 4.16'da düzlem-dışı sandviç kompozitlerin çekirdek kayma dayanımı ve dış yüzey gerilmesi değerleri verilmiştir. En yüksek çekirdek kayma dayanımı ve dış yüzey gerilmesini küçük hücreli alüminyum çekirdek içeren sandviç kompozit (RS-ALS) göstermiş, bu yapıyı ticari PP çekirdek içeren sandviç kompozit (RS-PP) takip etmiştir. Küçük hücreli ve 6 adim/cm dikiş yoğunluğunda dikilen çekirdek yapı içeren sandviç kompozitin (R6KS-6S) çekirdek kayma dayanımı ve dış yüzey gerilmesi ise büyük hücreli alüminyum çekirdek içeren sandviç kompozit (RS-ALL) ile oldukça yakındır. Küçük hücreli sandviç kompozitlerin çekirdek kayma dayanımları ve dış yüzey gerilmesi değerleri, genel olarak büyük hücreli yapılardan daha yüksektir. Bunun nedeni, küçük hücreli çekirdek yapıların daha rijit olması ve dış yüzey ile olan bağlantı/yapışma noktasının daha fazla olmasıdır.

Çizelge 4.12. Düzlem-dışı sandviç kompozitlerin çekirdek kayma dayanımı ve dış yüzey gerilmesi değerleri.

Kod	Dikiş yoğunluğu	Hücre	Çekirdek kayma dayanımı (MPa)	Dış yüzey gerilmesi (MPa)
R6KS-3L	3 adım/cm	L	0,46 ( $\pm 0,04$ )	18,98 ( $\pm 1,61$ )
R6KS-3S		S	0,54 ( $\pm 0,11$ )	22,05 ( $\pm 4,71$ )
R6KS-6L	6 adım/cm	L	0,35 ( $\pm 0,11$ )	14,39 ( $\pm 4,44$ )
R6KS-6S		S	0,61 ( $\pm 0,17$ )	24,96 ( $\pm 3,95$ )
RS-PP	-	-	0,71 ( $\pm 0,01$ )	29,26 ( $\pm 0,61$ )
RS-ALL	-	-	0,63 ( $\pm 0,03$ )	25,84 ( $\pm 1,17$ )
RS-ALS	-	-	0,84 ( $\pm 0,12$ )	34,73 ( $\pm 5,08$ )



Şekil 4.16. Düzlem-dışı sandviç kompozitlerin eğme testi sonuçları, (a); çekirdek kayma dayanımı, (b); dış yüzey gerilmesi.

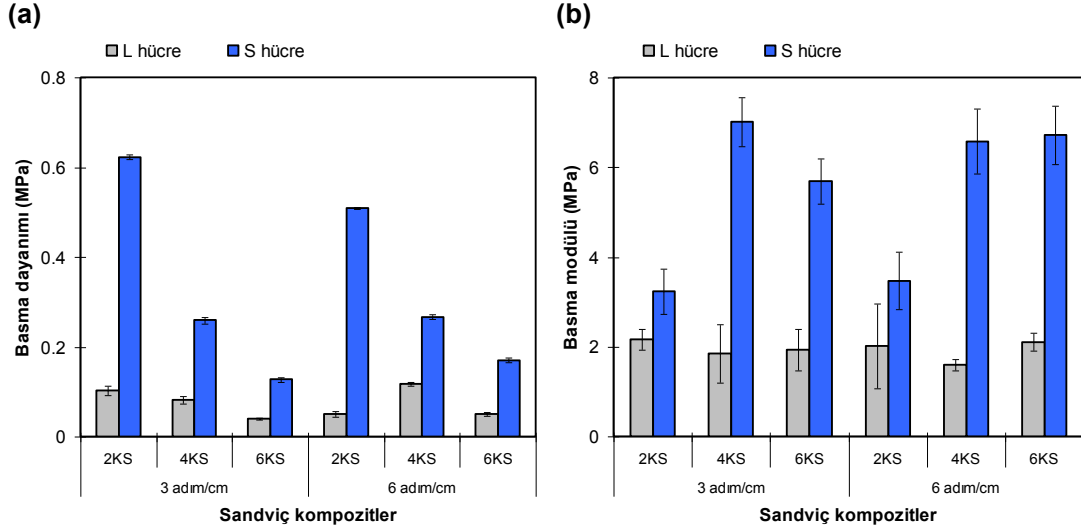
#### 4.7. Basma Testi Sonuçları

Çizelge 4.13 ve Şekil 4.17’de düzlemsel sandviç kompozitlerin basma testi sonuçları verilmiştir. Küçük hücreli sandviç kompozitlerin basma dayanımı ve basma modülü değerlerinin büyük hücreli sandviç kompozitlerden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durum, küçük hücreli sandviç yapıların basma yüküne maruz kalması durumunda birim alanda daha fazla çekirdek hücrelerinin bulunmasından kaynaklanmaktadır. Kat sayısı arttıkça, hem büyük hem de küçük hücreli sandviç kompozitlerin basma dayanımı düşmüş ancak, basma modülleri artış göstermiştir. Büyük hücreli sandviç kompozitlerin basma dayanımı ve modülünde dikiş yoğunluğuna bağlı olarak bir değişim belirlenmemiştir. Ancak, küçük hücreli sandviç kompozitlerde, genel olarak dikiş yoğunluğu basma dayanımı ve basma modülünün artış eğiliminde olduğu söylenebilir. Küçük hücreli sandviç

kompozitlerde, 6 adım/cm dikiş yoğunluğundaki yapıların 3 adım/cm dikiş yoğunluğundaki yapılara kıyasla daha yüksek basma modülü gösterdiği belirlenmiştir. Çekirdek yapının katları arasındaki birleşimi ve hücre yapısının oluşmasını dikiş sağlamaktadır. Bu birleştirme işleminin daha yoğun dikiş ilmeleri ile yapılması, sandviç kompozitin basma yüküne karşı gösterdiği direnci de arttırmaktadır.

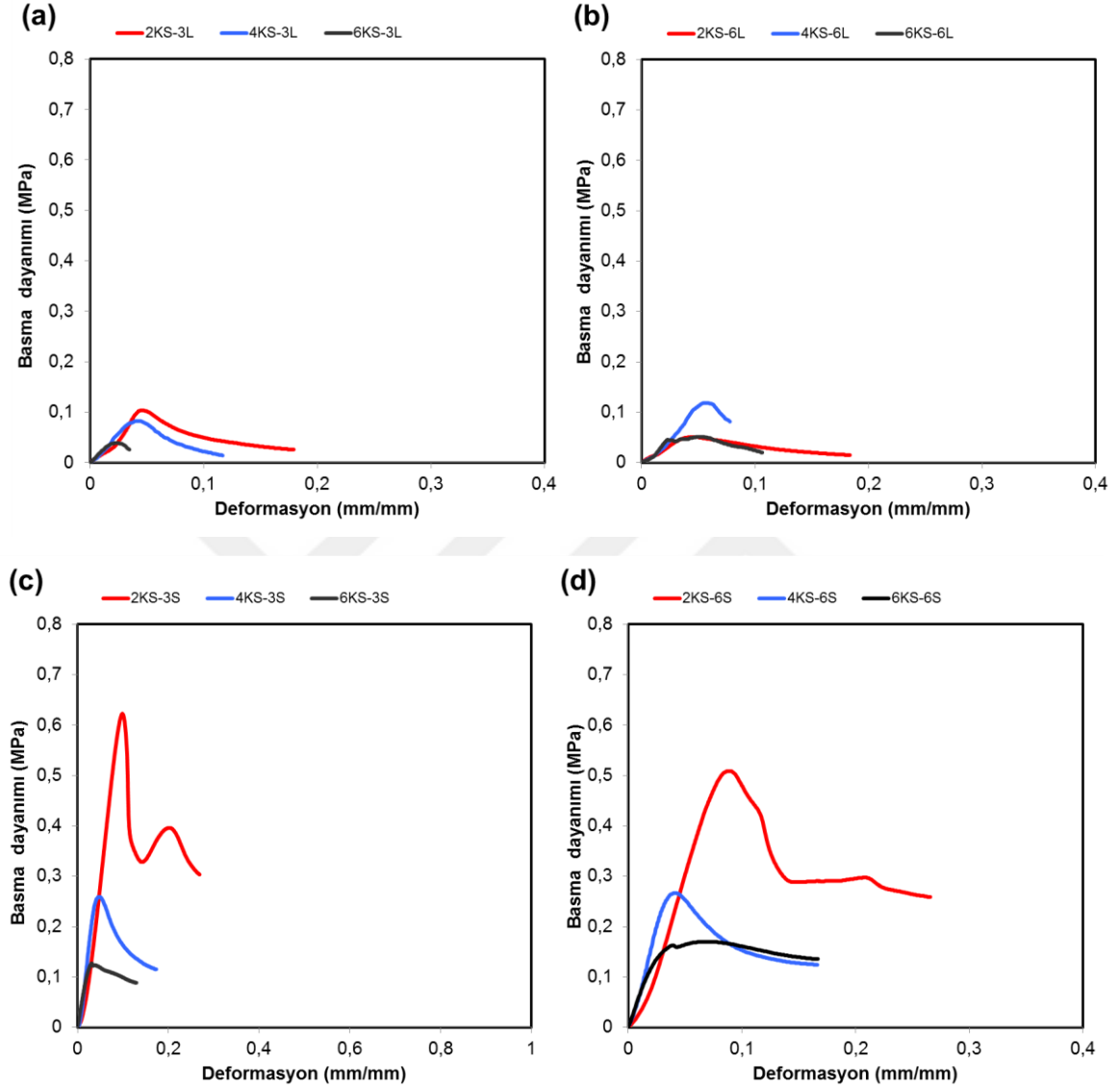
Çizelge 4.13. Düzlemsel sandviç kompozitlerin basma testi sonuçları.

Kod	Kat sayısı	Dikiş yoğunluğu	Hücre	Basma dayanımı (MPa)	Basma modülü (MPa)
2KS-3L	2 kat	3 adım/cm	L	0,103 ( $\pm 0,011$ )	2,16 ( $\pm 0,23$ )
2KS-3S			S	0,623 ( $\pm 0,006$ )	3,23 ( $\pm 0,51$ )
2KS-6L		6 adım/cm	L	0,051 ( $\pm 0,006$ )	2,02 ( $\pm 0,24$ )
2KS-6S			S	0,509 ( $\pm 0,003$ )	3,47 ( $\pm 0,14$ )
4KS-3L	4 kat	3 adım/cm	L	0,082 ( $\pm 0,009$ )	1,84 ( $\pm 0,25$ )
4KS-3S			S	0,259 ( $\pm 0,007$ )	7,01 ( $\pm 0,34$ )
4KS-6L		6 adım/cm	L	0,118 ( $\pm 0,004$ )	1,60 ( $\pm 0,12$ )
4KS-6S			S	0,267 ( $\pm 0,006$ )	6,58 ( $\pm 0,22$ )
6KS-3L	6 kat	3 adım/cm	L	0,039 ( $\pm 0,002$ )	1,93 ( $\pm 0,16$ )
6KS-3S			S	0,127 ( $\pm 0,005$ )	5,69 ( $\pm 0,20$ )
6KS-6L		6 adım/cm	L	0,051 ( $\pm 0,004$ )	2,11 ( $\pm 0,20$ )
6KS-6S			S	0,170 ( $\pm 0,005$ )	6,72 ( $\pm 0,15$ )



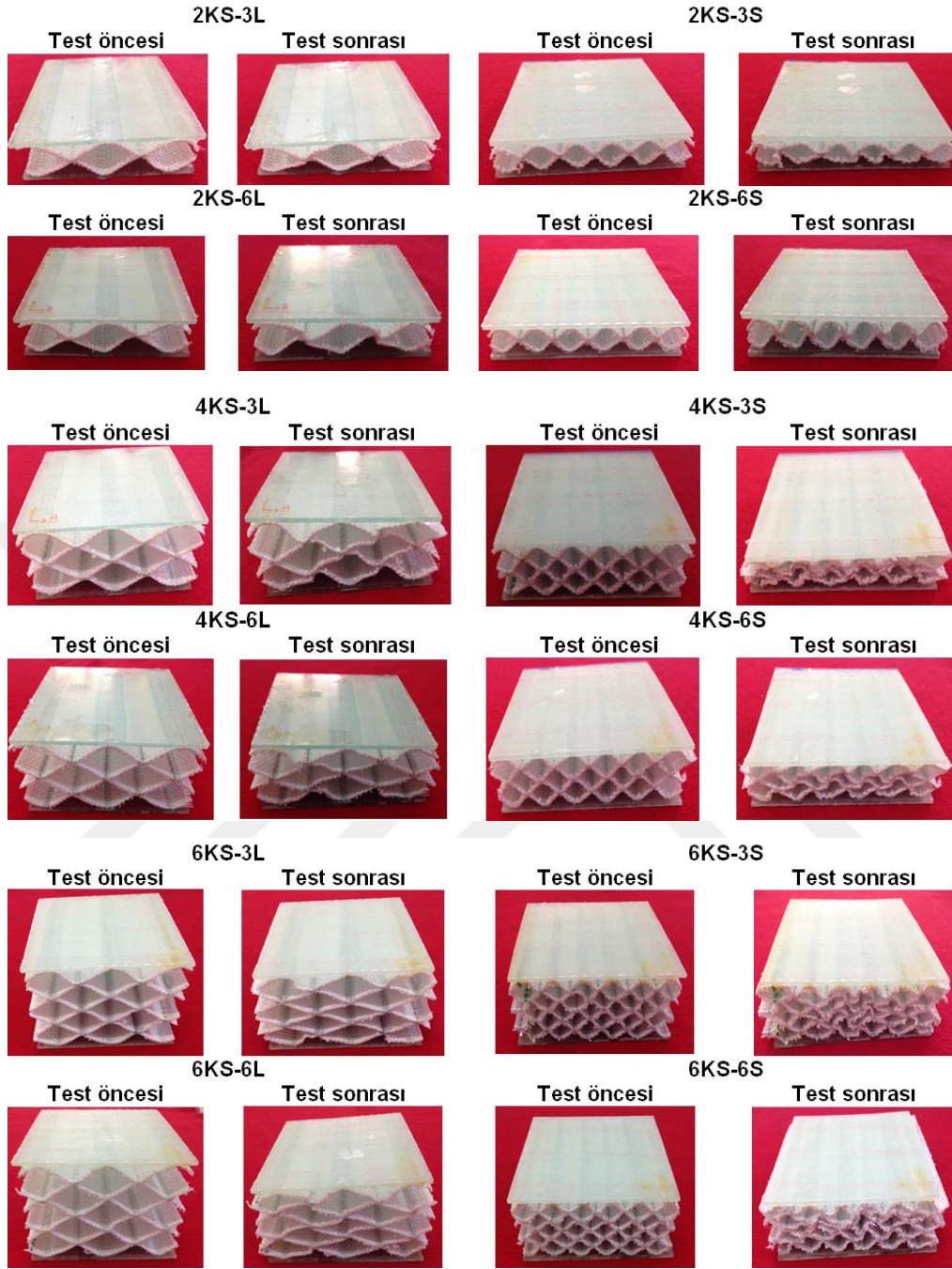
Şekil 4.17. Düzlemsel sandviç kompozitlerin basma testi sonuçları, (a); basma dayanımı, (b); basma modülü.

Şekil 4.18’de, düzlemsel sandviç kompozitlerin basma dayanımı-deformasyon eğrileri verilmiştir. Kat sayısı arttıkça, özellikle küçük hücreli sandviç kompozitlerin rijitliği artmıştır. Bu da basma modüllerinin artmasına sebep olmuştur.



Şekil 4.18. Düzlemsel sandviç kompozitlerin basma dayanımı-deformasyon eğrileri, (a); L hücre-3 adım/cm, (b); L hücre-6 adım/cm, (c); S hücre-3 adım/cm, (d); S hücre-6 adım/cm dikiş yoğunluğu.

Şekil 4.19’da, düzlemsel sandviç kompozitlerin basma testi sonrası kırılma görüntüleri verilmiştir. Büyük hücreli çekirdek yapıların esnek davranışından dolayı, basma yükü kaldırıldığında daha az ezilme göstererek eski haline dönme eğilimi belirlenmiştir. Özellikle 4 kat ve 6 katlı küçük hücreli çekirdek yapılarda ise, hücrelerde ezilme ve genel itibariyle kalıcı bir deformasyon gerçekleşerek panel kalınlığında azalma meydana gelmiştir.



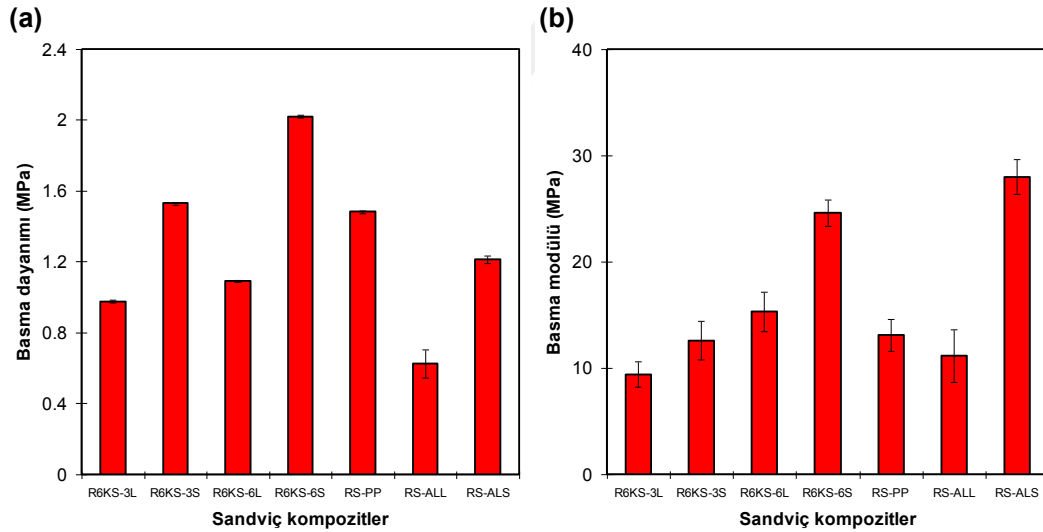
Şekil 4.19. Düzlemsel sandviç kompozitlerin basma testi sonrası kırılma görüntüleri.

Çizelge 4.14 ve Şekil 4.20’de düzlem-dışı sandviç kompozitlerin basma dayanım ve modül değerleri verilmiştir. Küçük hücreli kompozit yapılar (R6KS-3S ve R6KS-6S) en yüksek basma dayanımı değerlerini göstermiştir. Ayrıca, küçük hücreli düzlem-dışı sandviç kompozitlerin basma dayanımları, büyük hücreli yapılara kıyasla daha yüksektir. Bu durum, küçük hücreli sandviç yapıların basma yüküne maruz kalması durumunda birim alanda daha fazla çekirdek hücrelerinin bulunmasından kaynaklanmaktadır. Küçük hücreli 6

adım/cm dikiş yoğunluğundaki sandviç kompozitin (R6KS-6S) basma dayanımının, ticari büyük hücreli alüminyum çekirdek içeren sandviç kompozitten (RS-ALL) %69, ticari küçük hücreli alüminyum çekirdek içeren sandviç kompozitten (RS-ALS) %40 ve ticari PP çekirdek içeren sandviç kompozitten (RS-PP) ise yaklaşık %27 daha fazla olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, R6KS-6S'nin basma modülü değeri de RS-PP'den yaklaşık %47 daha yüksektir.

Çizelge 4.14. Düzlem-dışı sandviç kompozitlerin basma testi sonuçları.

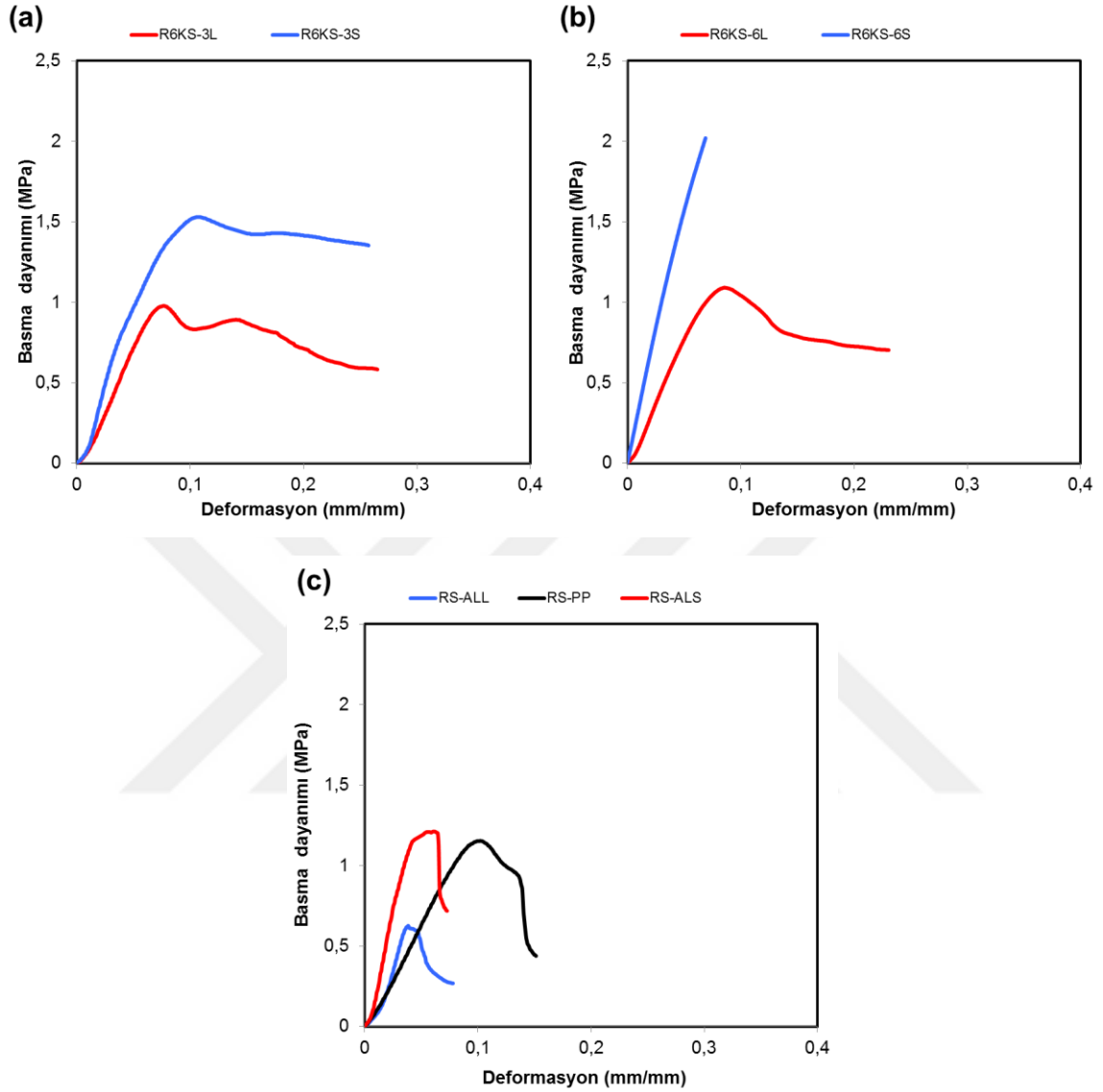
Kod	Dikiş yoğunluğu	Hücre	Basma dayanımı (MPa)	Basma modülü (MPa)
R6KS-3L	3 adım/cm	L	0,977 ( $\pm 0,008$ )	9,41 ( $\pm 1,22$ )
R6KS-3S		S	1,530 ( $\pm 0,009$ )	12,61 ( $\pm 1,79$ )
R6KS-6L	6 adım/cm	L	1,092 ( $\pm 0,005$ )	15,33 ( $\pm 1,87$ )
R6KS-6S		S	2,020 ( $\pm 0,007$ )	24,63 ( $\pm 1,24$ )
RS-PP	-	-	1,482 ( $\pm 0,008$ )	13,11 ( $\pm 1,51$ )
RS-ALL	-	-	0,626 ( $\pm 0,081$ )	11,16 ( $\pm 2,45$ )
RS-ALS	-	-	1,212 ( $\pm 0,021$ )	28,00 ( $\pm 1,61$ )



Şekil 4.20. Düzlem-dışı sandviç kompozitlerin basma testi sonuçları, (a); basma dayanımı, (b); basma modülü.

Şekil 4.21'de, düzlem-dışı sandviç kompozitlerin basma dayanımı-deformasyon eğrileri verilmiştir. Küçük hücreli yapıların, büyük hücreli yapılara kıyasla; 6 adım/cm dikiş yoğunluğundaki yapıların ise 3 adım/cm dikiş yoğunluğundaki yapılara kıyasla daha rijit bir davranış sergilediği belirlenmiştir. Ticari çekirdek yapılar arasında en sünek davranışı ticari PP çekirdek içeren sandviç kompozit göstermiştir. Sandviç kompozitlerde çekirdek

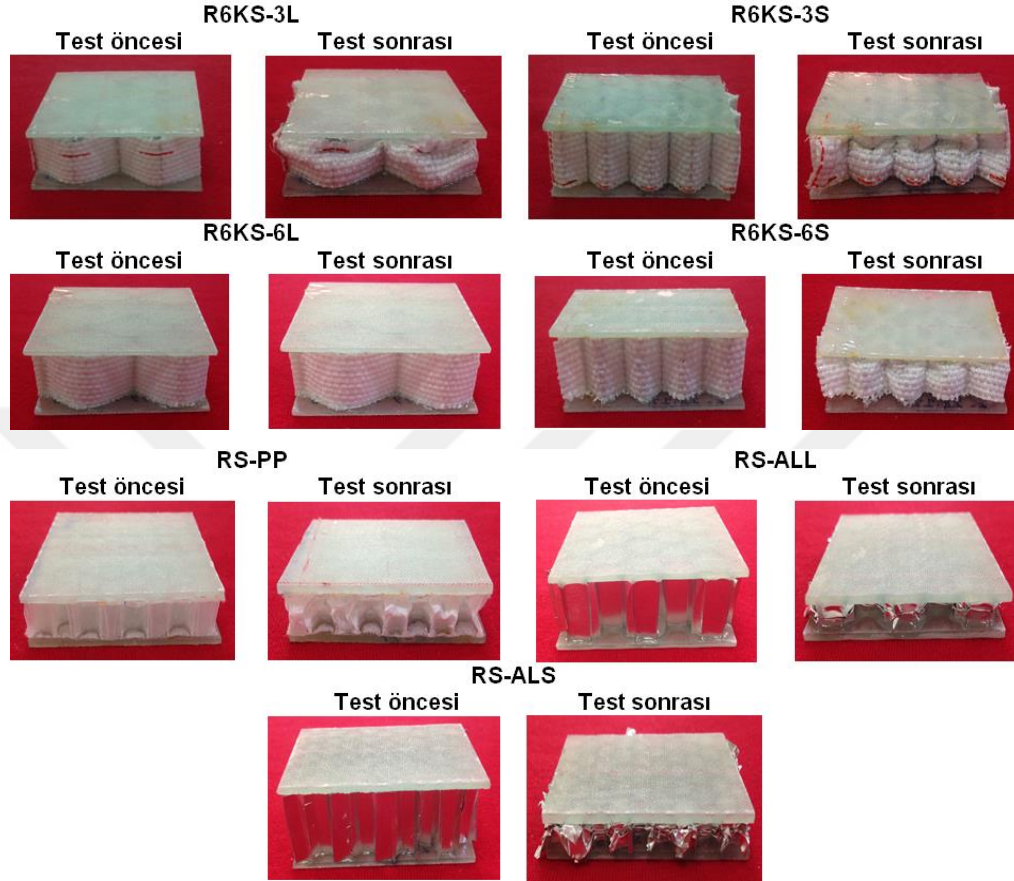
yapının hücresinin küçülmesi ve hücrelerin birleştirilmesinde kullanılan dikiş yoğunluğunun artmasıyla birlikte, sandviç kompozitin rijitleştiği sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.21. Düzlem-dışı sandviç kompozitlerin basma dayanımı-deformasyon eğrileri, (a); 3 adım/cm, (b); 6 adım/cm, (c); RS-PP, RS-ALL, RS-ALS.

Şekil 4.22’de, düzlem-dışı sandviç kompozitlerin basma testi sonrası kırılma görüntüleri verilmiştir. Hem büyük hem de küçük hücreli çekirdek yapılar da kalıcı şekil değişimi gerçekleşmiştir. En az deformasyon, büyük hücreli ve 6 adım/cm dikiş yoğunluğundaki sandviç kompozitte (R6KS-6L) gerçekleşmiştir. Hem büyük hem de küçük hücreli yapılar da, 6 adım/cm dikiş yoğunluğundaki yapılar da meydana gelen deformasyonun, 3 adım/cm dikiş yoğunluğundaki yapılar a kıyasla daha az olduğu belirlenmiştir. Bu durum, dikiş yoğunluğunun artmasıyla birlikte, sandviç kompozitlerin basma esaslı yüklere maruz kalması durumundaki kalıcı deformasyonu azalttığını göstermiştir. Ticari PP çekirdek

içeren sandviç kompozitte, çekirdek hücrelerinin kırıldığı gözlenirken, ticari alüminyum çekirdek içeren yapılarda ise çekirdek yapılar ezilerek, sandviç kompozitin formunu tamamıyla kaybettiği belirlenmiştir.



Şekil 4.22. Düzlem-dışı sandviç kompozitlerin basma testi sonrası kırılma görüntüleri.

## 4.8. Darbe Testi Sonuçları

### 4.8.1. Darbe dayanımı ve absorplanan enerji

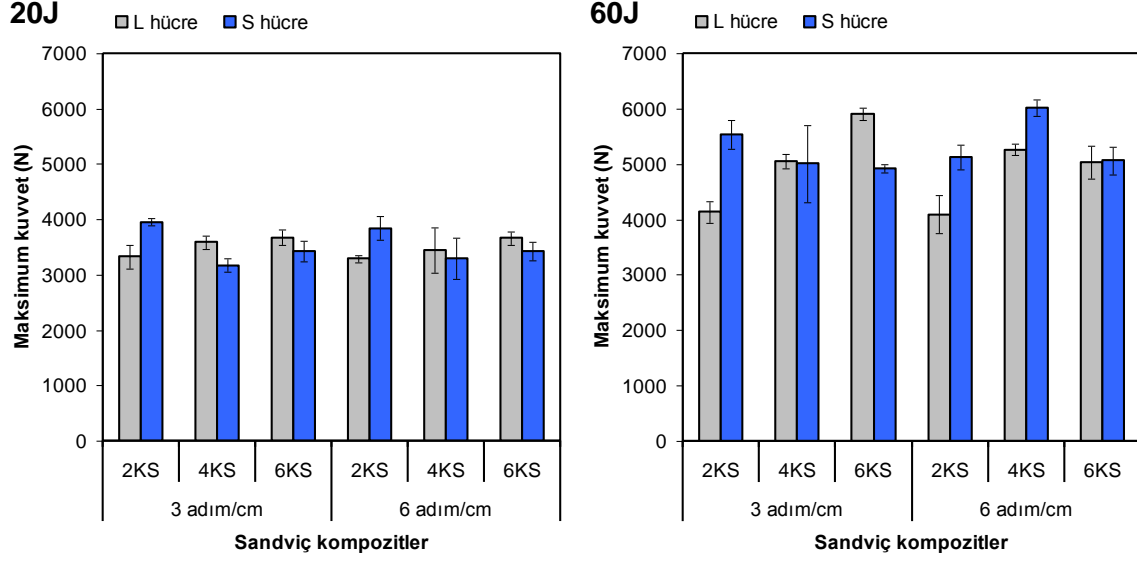
Çizelge 4.15'te düzlemsel sandviç kompozitlerin darbe testi sonuçları verilmiştir. Şekil 4.23 ve 4.24'te sırasıyla, düzlemsel sandviç kompozitlerin darbe testi maksimum kuvvet, absorplanan enerji-deformasyon değerleri verilmiştir.

Darbe enerjisi arttıkça, hem büyük hem de küçük hücreli sandviç kompozitlerin maksimum kuvvetleri artmıştır. 20J enerji seviyesinde, sandviç kompozitlerin üst yüzeylerinde kısmi deformasyon meydana gelmiş ve darbe yükü çekirdek yapıyı etkileyecek enerjide oluşmamıştır. Bu nedenle, 20J enerji seviyesindeki maksimum kuvvet değerlerinde, hücre büyüklüğü, kat sayısı ve dikiş yoğunluğuna bağlı olarak belirgin bir değişim gerçekleşmemiştir. 60J enerji seviyesinde ise genel olarak, küçük hücreli sandviç

kompozitlerin maksimum kuvvet değerlerinin büyük hücreli yapılara kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Birim alanda daha fazla çekirdek hücresinin bulunduğu küçük hücreli yapılar daha rijit bir davranış sergilemektedir. Kat sayısı arttıkça, maksimum kuvvet değerinin arttığı ve dikiş yoğunluğunun belirgin etki göstermediği sonucuna varılmıştır.

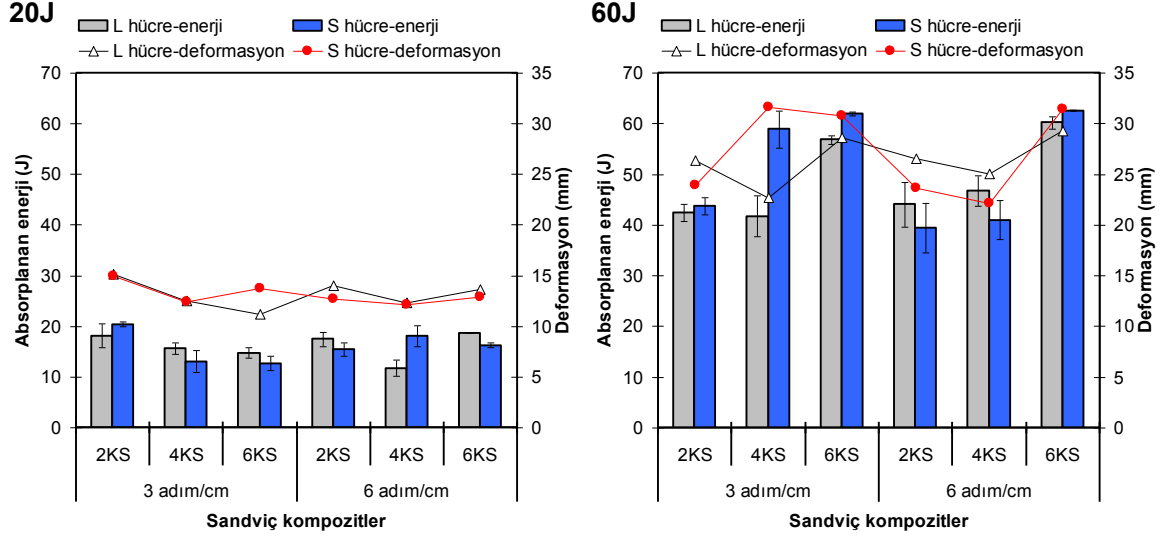
Çizelge 4.15. Düzlemsel sandviç kompozitlerin darbe testi sonuçları.

Darbe enerjisi	Kod	Kat sayısı	Dikiş yoğunluğu	Hücre	Maksimum kuvvet (N)	Deformasyon (mm)	Absorplanan enerji (J)
20J	2KS-3L	2 kat	3 adım/cm	L	3324,08 (±217,66)	15,19 (±1,27)	18,15 (±2,30)
	S			3950,54 (±68,52)	14,95 (±0,59)	20,35 (±0,46)	
	2KS-6L		6 adım/cm	L	3292,90 (±63,22)	14,00 (±1,91)	17,41 (±1,42)
	2KS-6S			S	3843,30 (±209,12)	12,73 (±2,61)	15,46 (±1,38)
	4KS-3L	4 kat	3 adım/cm	L	3583,92 (±115,57)	12,49 (±0,36)	15,68 (±1,10)
	4KS-3S			S	3168,18 (±123,31)	12,39 (±0,79)	13,04 (±2,19)
	4KS-6L		6 adım/cm	L	3444,08 (±416,73)	12,32 (±1,19)	14,70 (±1,57)
	4KS-6S			S	3294,79 (±372,04)	12,18 (±0,60)	12,68 (±2,11)
	6KS-3L	6 kat	3 adım/cm	L	3672,27 (±142,31)	11,15 (±0,36)	11,71 (±1,02)
	6KS-3S			S	3432,74 (±187,66)	13,77 (±0,22)	18,02 (±1,35)
	6KS-6L		6 adım/cm	L	3665,18 (±120,26)	13,61 (±0,29)	18,58 (±0,04)
	6KS-6S			S	3421,41 (±172,38)	12,93 (±0,45)	16,23 (±0,44)
60J	2KS-3L	2 kat	3 adım/cm	L	4132,90 (±192,42)	26,35 (±0,23)	42,41 (±1,74)
	2KS-3S			S	5533,21 (±256,30)	23,94 (±0,20)	43,71 (±1,75)
	2KS-6L		6 adım/cm	L	4088,96 (±346,76)	26,52 (±0,60)	44,02 (±4,38)
	2KS-6S			S	5125,02 (±222,86)	23,60 (±1,17)	39,42 (±4,96)
	4KS-3L	4 kat	3 adım/cm	L	5055,10 (±128,85)	22,75 (±3,27)	41,72 (±4,03)
	4KS-3S			S	5007,38 (±695,52)	31,63 (±0,95)	58,84 (±3,72)
	4KS-6L		6 adım/cm	L	5262,97 (±99,27)	25,08 (±0,79)	46,73 (±3,03)
	4KS-6S			S	6017,93 (±148,32)	22,19 (±6,60)	40,97 (±3,84)
	6KS-3L	6 kat	3 adım/cm	L	5907,38 (±112,25)	28,62 (±0,33)	56,78 (±0,84)
	6KS-3S			S	4926,60 (±72,16)	30,82 (±0,80)	61,98 (±0,37)
	6KS-6L		6 adım/cm	L	5034,31 (±296,65)	29,24 (±0,43)	60,19 (±1,22)
	6KS-6S			S	5063,84 (±246,87)	31,42 (±1,62)	62,56 (±0,06)



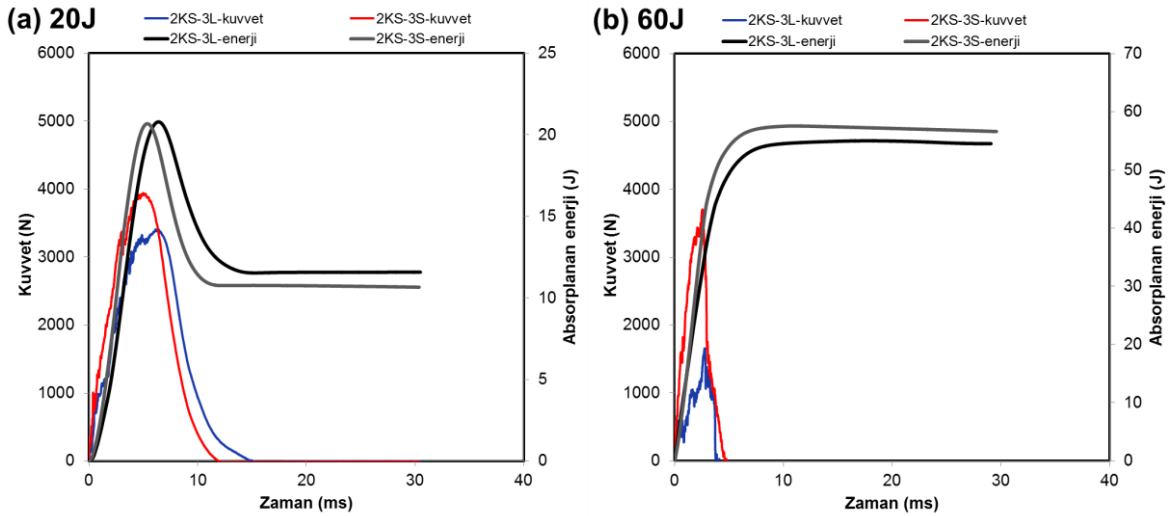
Şekil 4.23. Düzlemsel sandviç kompozitlerin darbe testi maksimum kuvvet değerleri.

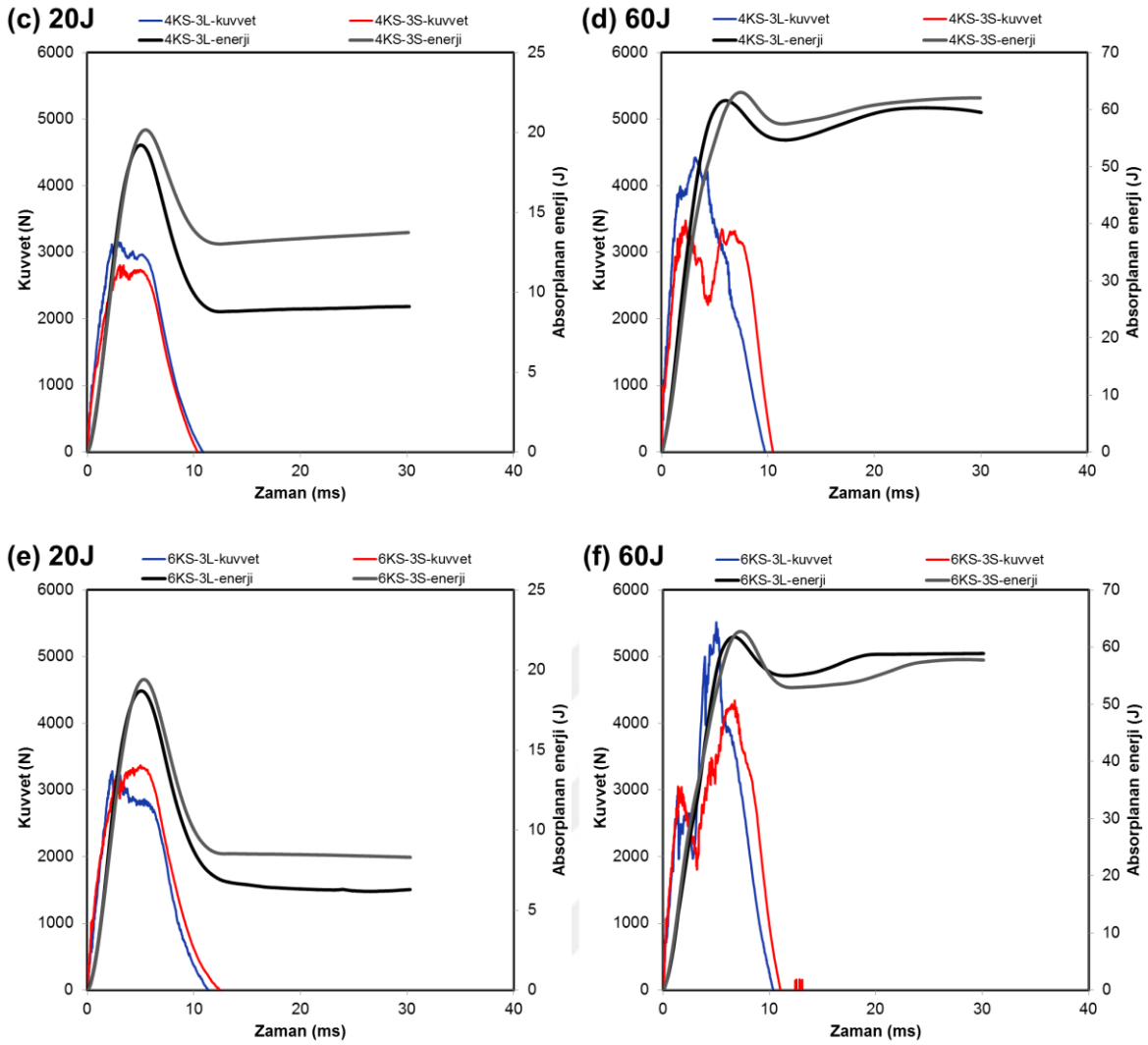
Darbe enerjisi arttıkça, hem büyük hem de küçük hücreli sandviç kompozitlerin absorpladığı enerji artmıştır. 20J enerji seviyesinde, sandviç kompozitlerin üst yüzeylerinde kısmi deformasyon meydana gelmiş ve darbe yükü çekirdek yapıyı etkileyecek enerjide oluşmamıştır. Bu nedenle, 20J enerji seviyesindeki absorplanan enerji değerlerinde, hücre büyüklüğü, kat sayısı ve dikiş yoğunluğuna bağlı olarak belirgin bir değişim gerçekleşmemiştir. 60J enerji seviyesinde ise genel olarak, küçük hücreli sandviç kompozitlerin absorpladığı enerjinin büyük hücreli yapılara kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Kat sayısı arttıkça, absorplanan enerjinin arttığı ve dikiş yoğunluğunun belirgin etki göstermediği sonucuna varılmıştır. Darbe enerjisi arttıkça, hem büyük hem de küçük hücreli sandviç kompozitlerin deformasyon değerleri artmıştır. 20J ve 60J enerji seviyelerindeki deformasyon değerlerinde, hücre büyüklüğü, kat sayısı ve dikiş yoğunluğuna bağlı olarak belirgin bir değişim gerçekleşmemiştir.



Şekil 4.24. Düzlemsel sandviç kompozitlerin darbe testi absorplanan enerji-deformasyon değerleri.

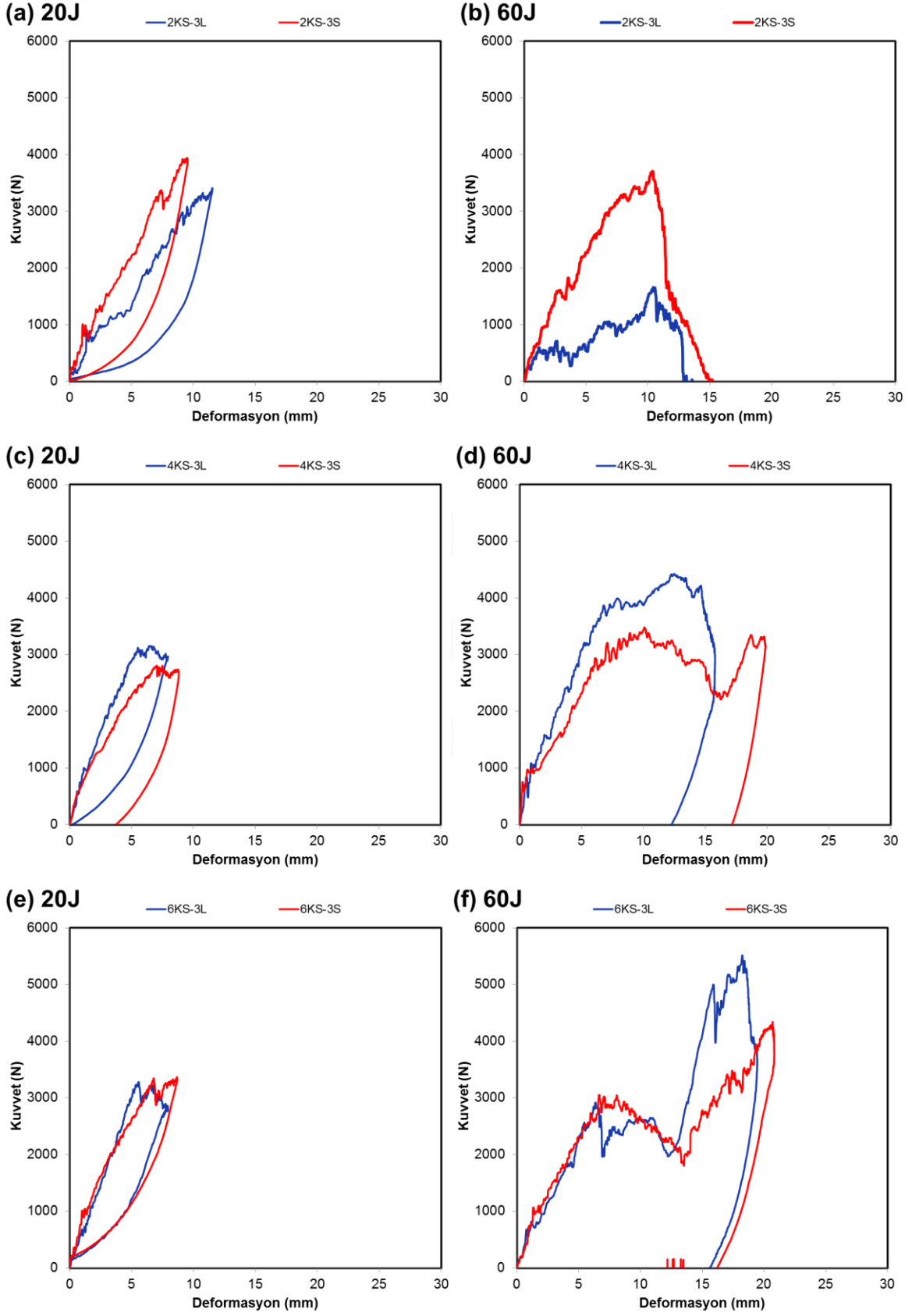
Şekil 4.25'te, 3 adım/cm dikiş yoğunluğundaki 2, 4 ve 6 katlı düzlemsel sandviç kompozitlerin, 20J ve 60J darbe enerjisindeki kuvvet-zaman-enerji eğrileri verilmiştir. 20J enerji seviyesinde, kat sayısı arttıkça absorplanan enerjide meydana gelen elastik-toparlanma (elastic-recovery) artmıştır. Genel olarak, büyük hücreli yapıların küçük hücreli yapılara kıyasla daha yüksek elastik-toparlanma gösterdiği belirlenmiştir. Şekil 25.1(b)'de görüldüğü gibi, 2 katlı sandviç yapılarda enerji düşüşü meydana gelmemiş, yani yapıda herhangi bir elastik-toparlanma gerçekleşmemiştir. Bunun nedeni, yapının delinmesinden kaynaklanmaktadır. 60J enerji seviyesinde de, kat sayısı arttıkça ve hücre büyüdükçe elastik-toparlanma artmıştır.





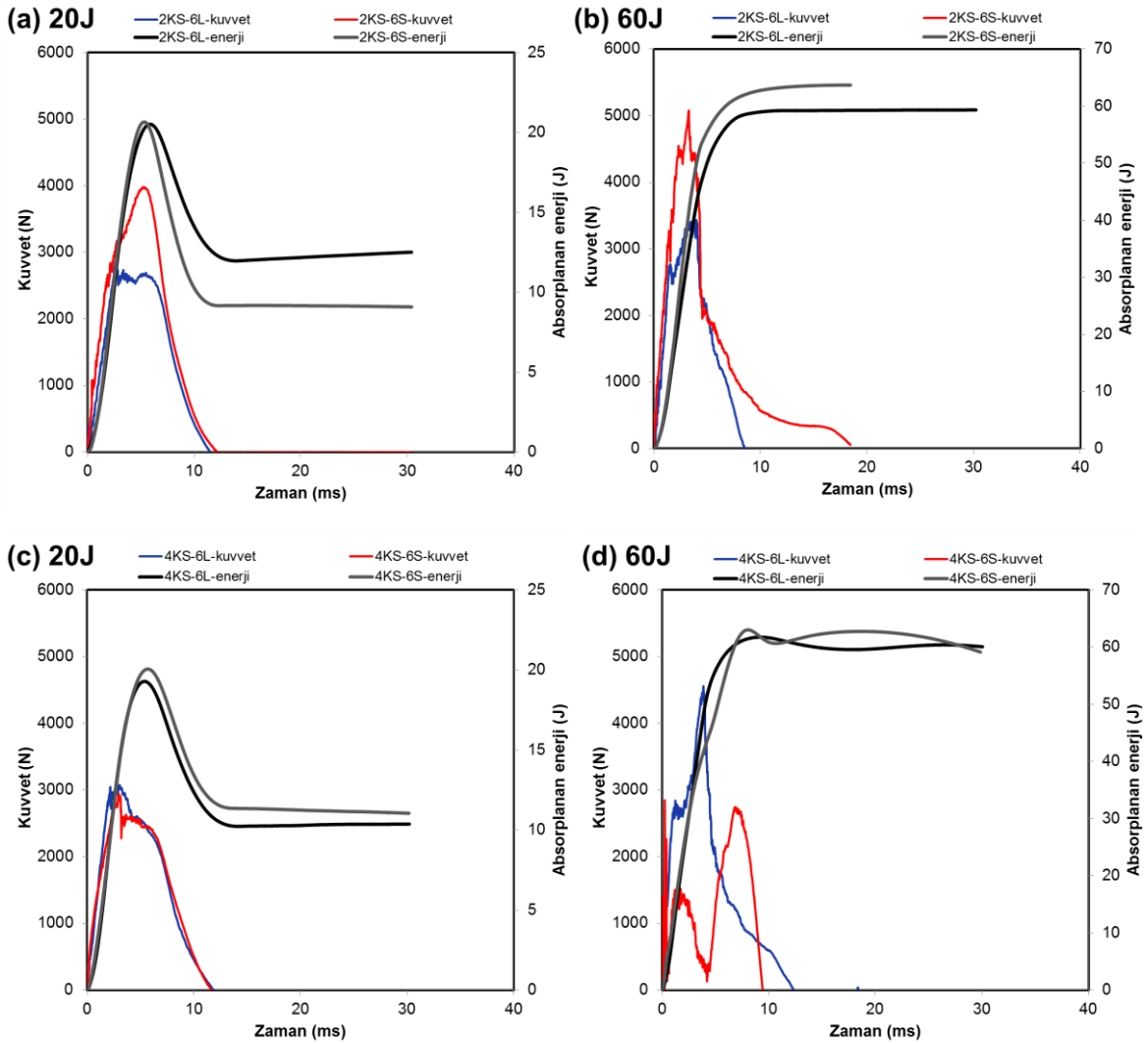
Şekil 4.25. Düzlemsel sandviç kompozitlerin kuvvet-zaman-enerji eğrileri, (a); 2KS-3L ve 2KS-3S (20J), (b); 2KS-3L ve 2KS-3S (60J), (c); 4KS-3L ve 4KS-3S (20J), (d); 4KS-3L ve 4KS-3S (60J), (e); 6KS-3L ve 6KS-3S (20J), (f); 6KS-3L ve 6KS-3S (60J).

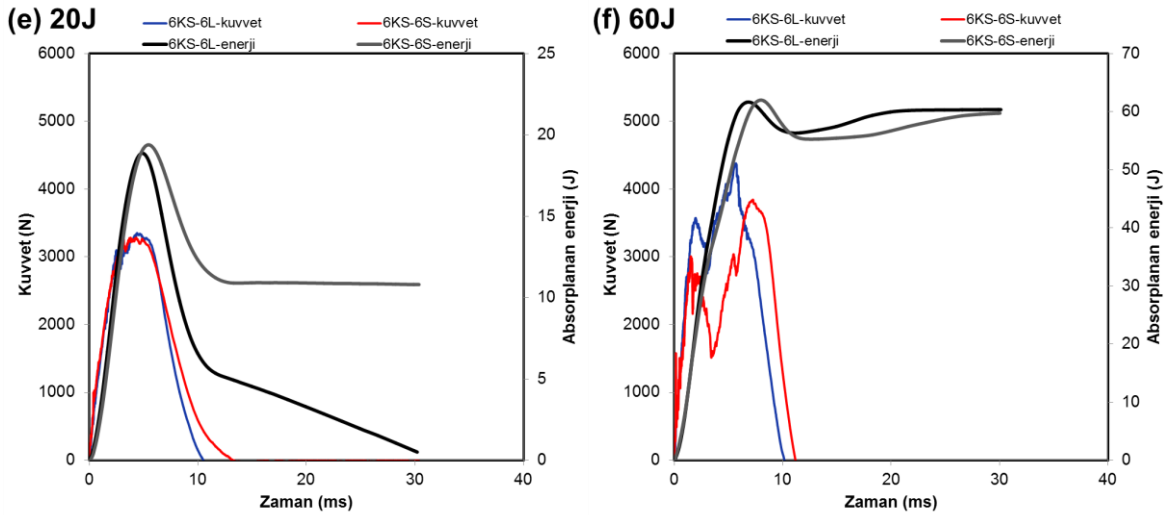
Şekil 4.26'da, 3 adım/cm dikiş yoğunluğundaki 2, 4 ve 6 katlı düzlemsel sandviç kompozitlerin, 20J ve 60J darbe enerjisindeki kuvvet-deformasyon eğrileri verilmiştir. Özellikle 60J enerji seviyesinde, küçük hücreli sandviç kompozitlerde büyük hücreli yapılara kıyasla daha fazla kalıcı deformasyonun gerçekleştiği belirlenmiştir. Bu durum, küçük hücreli sandviç kompozitlerin daha rijit yapısından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.26. Düzlemsel sandviç kompozitlerin kuvvet-deformasyon eğrileri, (a); 2KS-3L ve 2KS-3S (20J), (b); 2KS-3L ve 2KS-3S (60J), (c); 4KS-3L ve 4KS-3S (20J), (d); 4KS-3L ve 4KS-3S (60J), (e); 6KS-3L ve 6KS-3S (20J), (f); 6KS-3L ve 6KS-3S (60J).

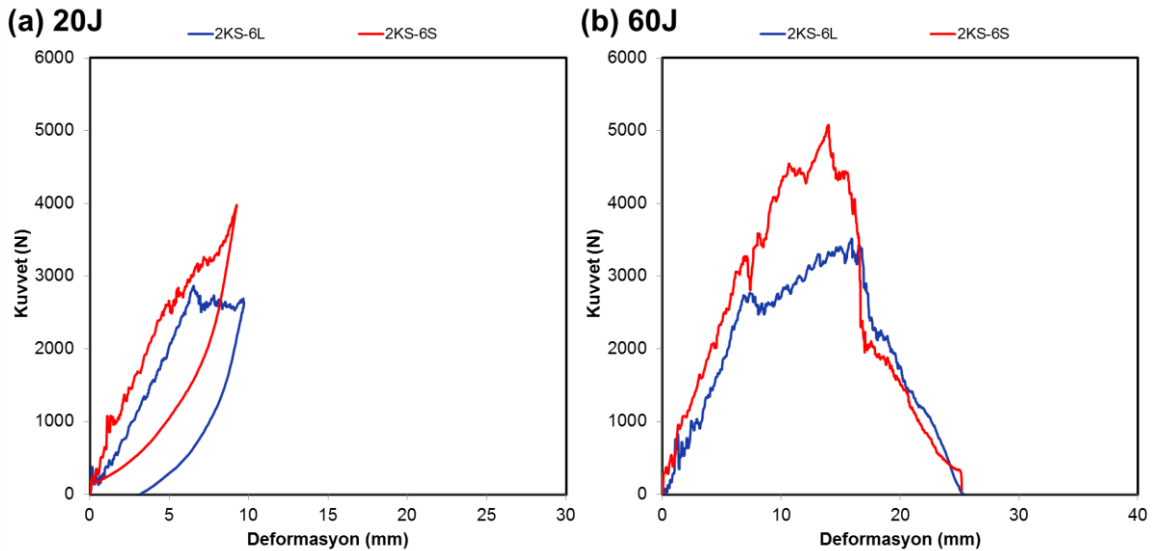
Şekil 4.27’de, 6 adım/cm dikiş yoğunluğundaki 2, 4 ve 6 katlı düzlemsel sandviç kompozitlerin, 20J ve 60J darbe enerjisindeki kuvvet-zaman-enerji eğrileri verilmiştir. 20J enerji seviyesinde, kat sayısı arttıkça absorplanan enerjide meydana gelen elastik-toparlanma artmıştır. Genel olarak, büyük hücreli yapıların küçük hücreli yapılara kıyasla daha yüksek elastik-toparlanma gösterdiği belirlenmiştir. Şekil 4.27(b)’de görüldüğü gibi, 2 katlı sandviç yapılarda enerji düşüşü meydana gelmemiş, yani yapıda herhangi bir elastik-toparlanma gerçekleşmemiştir. Bunun nedeni, yapının delinmesinden kaynaklanmaktadır. 60J enerji seviyesinde de, kat sayısı arttıkça ve hücre büyüdükçe elastik-toparlanma artmıştır. 3 adım/cm ve 6 adım/cm dikiş yoğunluğundaki yapıların elastik toparlanma davranışları arasında belirgin bir farklılık bulunmamaktadır.

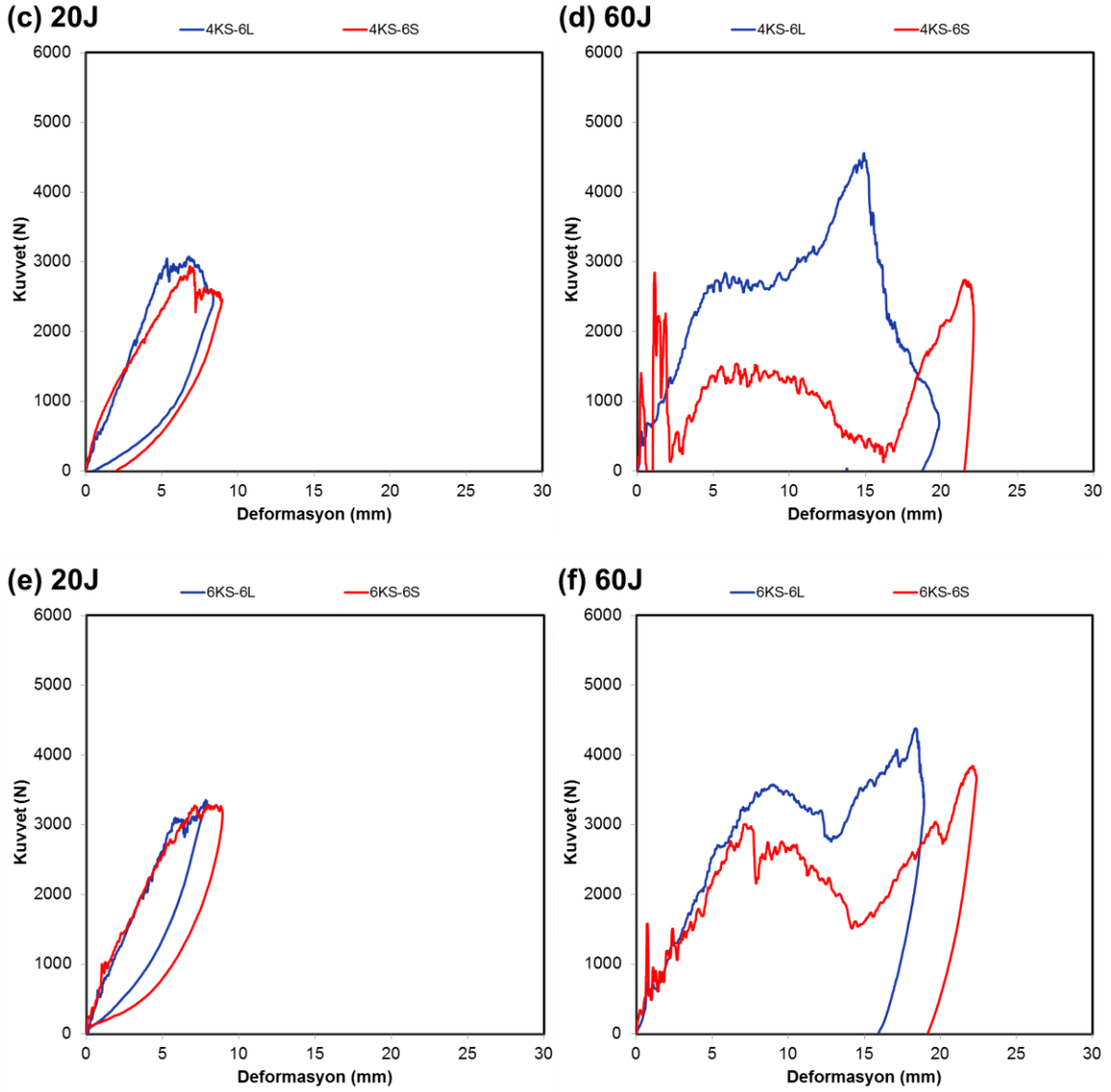




Şekil 4.27. Düzlemsel sandviç kompozitlerin kuvvet-zaman-enerji eğrileri, (a); 2KS-6L ve 2KS-6S (20J), (b); 2KS-6L ve 2KS-6S (60J), (c); 4KS-6L ve 4KS-6S (20J), (d); 4KS-6L ve 4KS-6S (60J), (e); 6KS-6L ve 6KS-6S (20J), (f); 6KS-6L ve 6KS-6S (60J).

Şekil 4.28’de, 6 adım/cm dikiş yoğunluğundaki 2, 4 ve 6 katlı düzlemsel sandviç kompozitlerin, 20J ve 60J darbe enerjisindeki kuvvet-deformasyon eğrileri verilmiştir. 60J enerji seviyesinde, özellikle 4 kat ve 6 katlı yapılarda küçük hücreli sandviç kompozitlerde büyük hücreli yapılara kıyasla daha fazla kalıcı deformasyonun gerçekleştiği belirlenmiştir. Bu durum, küçük hücreli sandviç kompozitlerin daha rijit yapısından kaynaklanmaktadır. 3 adım/cm ve 6 adım/cm dikiş yoğunluğundaki yapıların deformasyon davranışları arasında belirgin bir farklılık bulunmamaktadır.

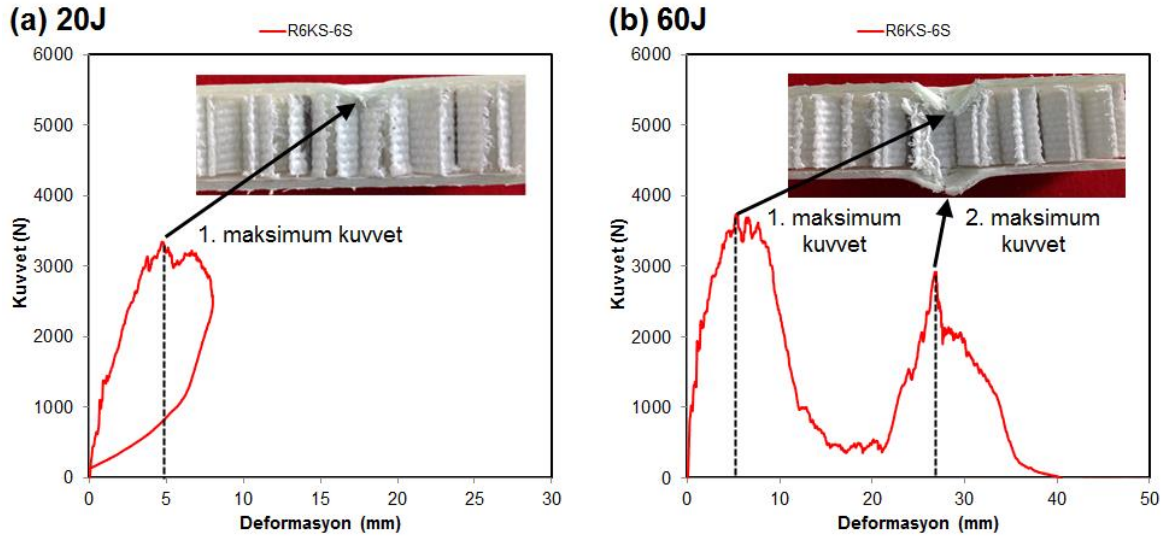




Şekil 4.28. Düzlemsel sandviç kompozitlerin kuvvet-deformasyon eğrileri, (a); 2KS-6L ve 2KS-6S (20J), (b); 2KS-6L ve 2KS-6S (60J), (c); 4KS-6L ve 4KS-6S (20J), (d); 4KS-6L ve 4KS-6S (60J), (e); 6KS-6L ve 6KS-6S (20J), (f); 6KS-6L ve 6KS-6S (60J).

Düzlem-dışı sandviç kompozitler, 60J enerji seviyesinde darbe yükü altında iki maksimum kuvvet ve iki maksimum deformasyon göstermiştir. Bu durum, sandviç kompozitin üst yüzeyinin tamamen delinmesi ve darbe ucunun, sandviç kompozitin kalan enerjiyi absorplayabilecek arka yüz tabakasına ulaşmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 4.29’da, R6KS-6S sandviç kompozitin 20J ve 60J darbe enerjisindeki kuvvet-deformasyon eğrisini göstermektedir. 20J enerji seviyesinde tek maksimum kuvvet görülmesinin nedeni ise, sandviç kompozitin üst yüzeyinin tamamen delinmemesi ve darbe enerjisinin üst yüzey tarafından neredeyse tamamen absorplanmasıdır. 60J enerji seviyesinde, düzlem-dışı sandviç kompozitlerin tamamında, 1. maksimum kuvvetin, 2. maksimum kuvvetten daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durum, darbe enerjisinin önemli bir kısmının sandviç

kompozitin üst yüzeyi ve çekirdek yapı tarafından absorplandığını ve alt yüzey tarafından absorplanan enerjinin daha az olduğunu ifade etmektedir.



Şekil 4.29. R6KS-6S sandviç kompozitin kuvvet-deformasyon eğrisi, (a); 20J, (b); 60J.

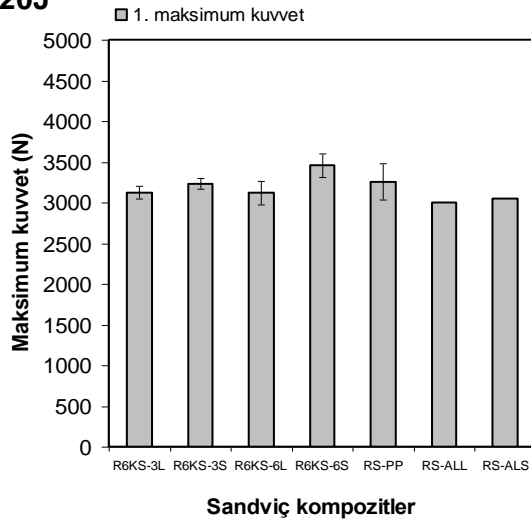
Çizelge 4.16’da düzlem-dışı sandviç kompozitlerin darbe testi sonuçları verilmiştir. Şekil 4.30 ve 4.31’de sırasıyla, düzlem-dışı sandviç kompozitlerin darbe testi maksimum kuvvet, absorplanan enerji-deformasyon değerleri verilmiştir.

Darbe enerjisinin artması, sandviç kompozitlerin maksimum kuvvetlerine belirgin bir etkide bulunmamıştır. 20J enerji seviyesinde, en yüksek maksimum kuvveti küçük hücreli ve 6 adım/cm dikiş yoğunluğundaki sandviç kompozit (R6KS-6S) göstermiş, benzer eğilim 60J enerji seviyesindeki 1. maksimum kuvvet değerlerinde de belirlenmiştir. 60J enerji seviyesindeki 2. maksimum kuvvet değerleri arasında belirgin bir farklılık bulunmamaktadır. Hücre küçüldükçe ve dikiş yoğunluğu arttıkça, maksimum kuvvet değerinin arttığı belirlenmiştir.

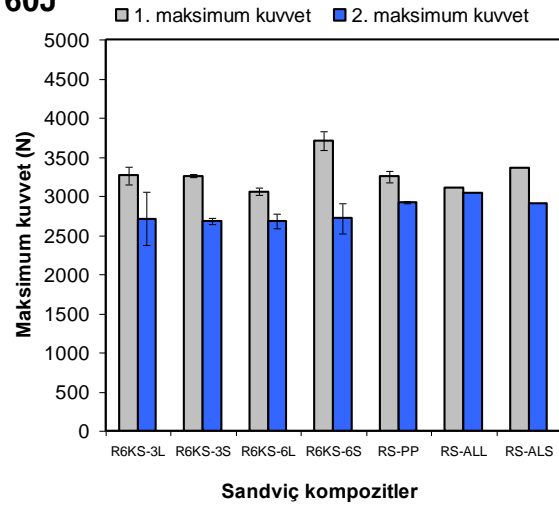
Çizelge 4.16. Düzlem-dışı sandviç kompozitlerin darbe testi sonuçları.

Darbe enerjisi	Kod	Maksimum kuvvet (N)		Deformasyon (mm)		Absorplanan enerji (J)
		1.	2.	1.	2.	
20J	R6KS-3L	3124,71 (±75,76)	-	10,41 (±0,28)	-	9,44 (±0,81)
	R6KS-3S	3231,49 (±65,93)	-	10,33 (±0,27)	-	9,26 (±0,54)
	R6KS-6L	3122,35 (±142,31)	-	10,31 (±0,15)	-	9,29 (±0,11)
	R6KS-6S	3457,31 (±148,93)	-	10,37 (±0,08)	-	10,19 (±0,30)
	RS-PP	3257,94 (±224,66)	-	10,64 (±0,23)	-	10,02 (±0,91)
	RS-ALL	2996,21	-	6,09	-	15,07
	RS-ALS	3050,07	-	4,47	-	13,53
60J	R6KS-3L	3264,56 (±113,61)	2712,75 (±335,03)	15,51 (±0,69)	38,95 (±0,93)	46,12 (±6,32)
	R6KS-3S	3259,83 (±24,71)	2683,46 (±40,72)	15,52 (±0,32)	38,27 (±1,07)	51,19 (±2,56)
	R6KS-6L	3057,16 (±46,10)	2681,57 (±96,21)	15,78 (±0,32)	36,79 (±3,31)	46,41 (±0,01)
	R6KS-6S	3703,92 (±123,76)	2714,64 (±192,47)	16,18 (±0,19)	39,35 (±1,45)	57,80 (±3,80)
	RS-PP	3248,49 (±70,81)	2917,79 (±13,98)	15,77 (±0,27)	27,80 (±0,38)	53,65 (±1,65)
	RS-ALL	3109,60	3041,56	5,26	26,31	59,60
	RS-ALS	3353,37	2902,67	4,86	25,93	55,96

20J



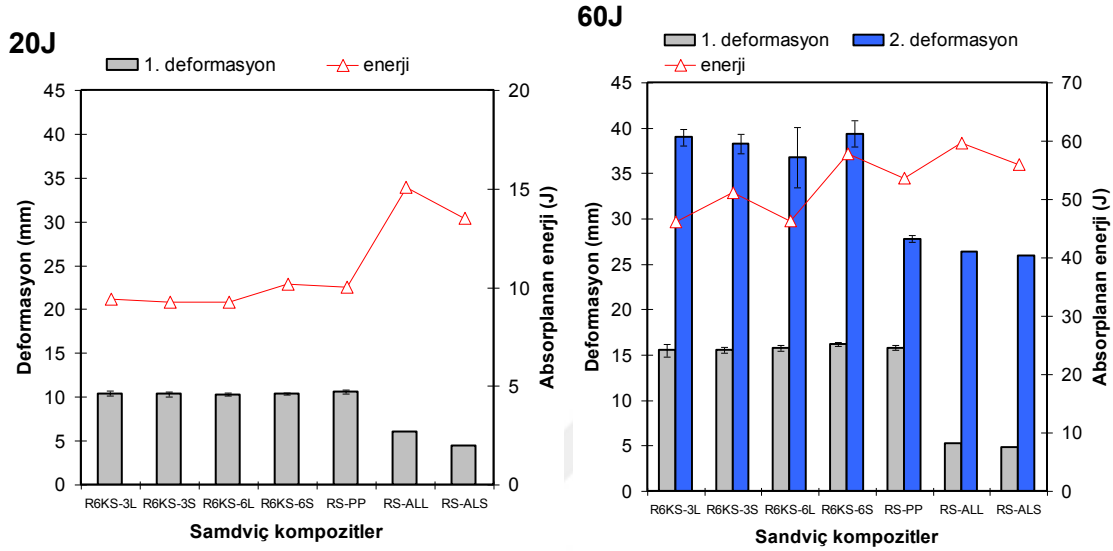
60J



Şekil 4.30. Düzlem-dışı sandviç kompozitlerin darbe testi maksimum kuvvet değerleri.

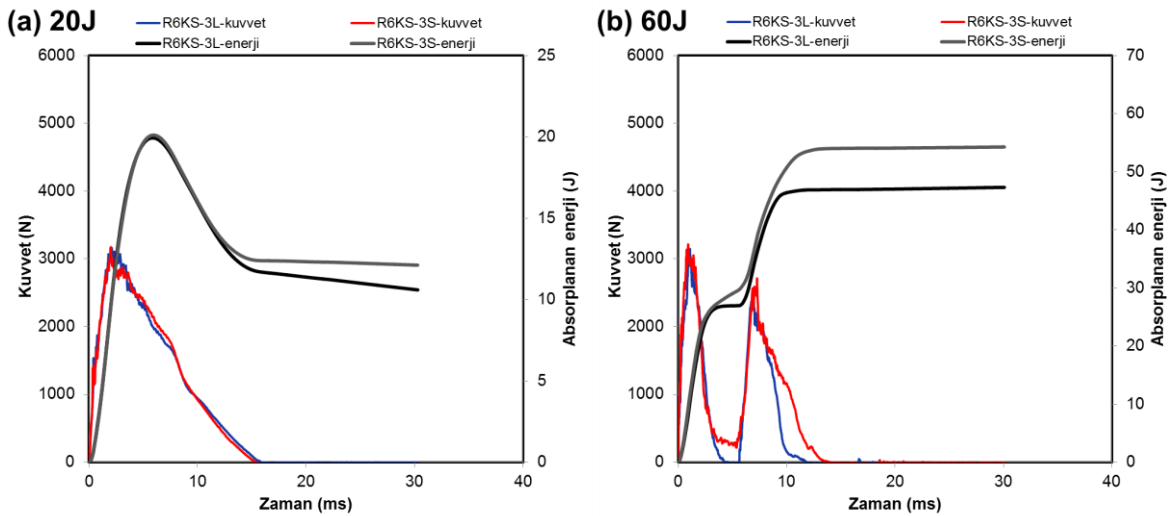
Darbe enerjisi arttıkça, enerji absorpsiyonu ve deformasyon değerlerinin arttığı belirlenmiştir. 20J enerji seviyesinde deformasyon değerlerinin birbirine yakın olduğu ancak, küçük hücreli ve 6 adım/cm dikiş yoğunluğundaki sandviç kompozitin (R6KS-6S) en yüksek enerji absorpsiyonunu gösterdiği belirlenmiştir. Benzer eğilim 60J enerji

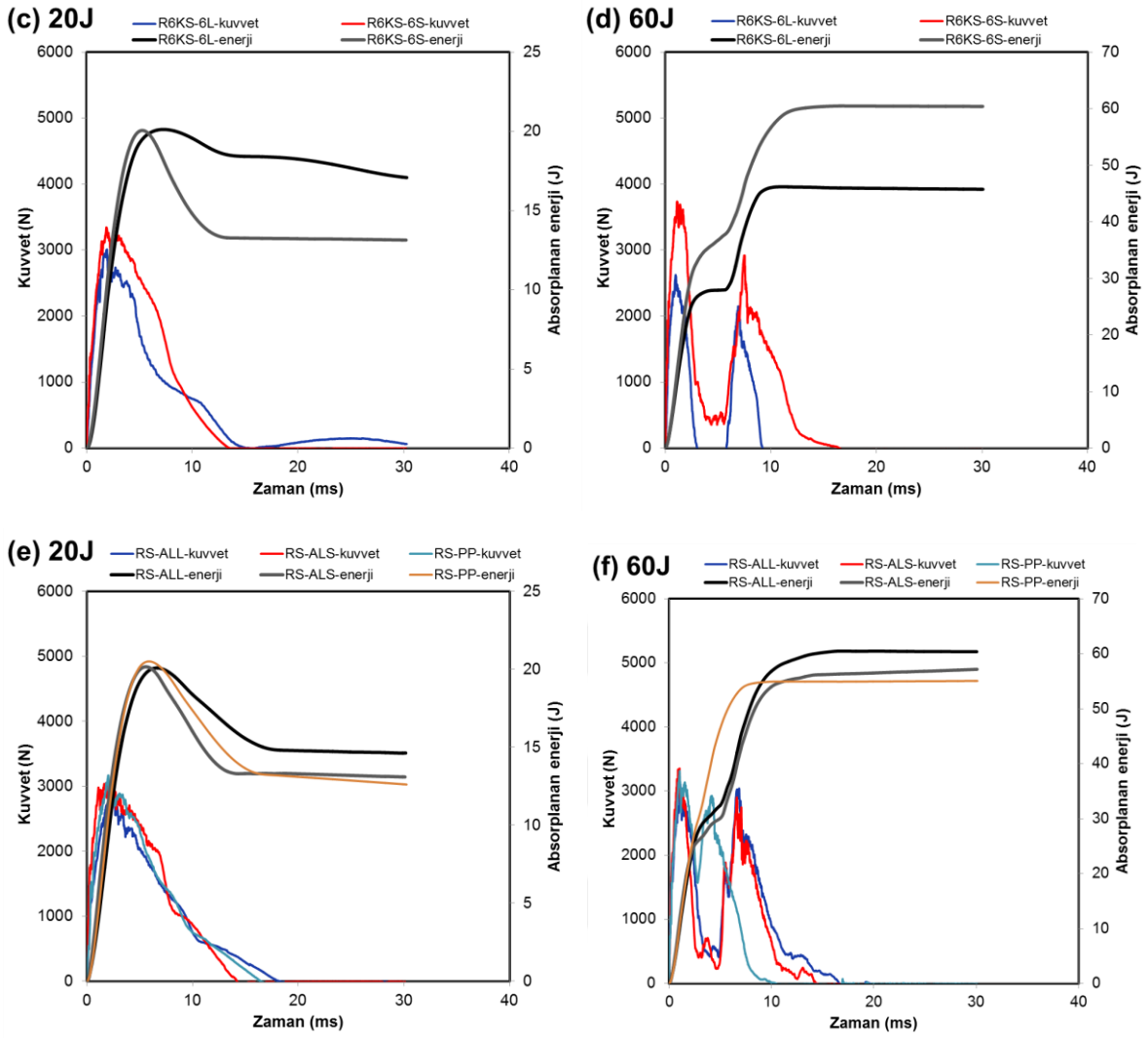
seviyesinde olmakla birlikte, hücre küçüldükçe ve dikiş yoğunluğu arttıkça, enerji absorpsiyonunun arttığı belirlenmiştir. Ticari alüminyum çekirdek içeren sandviç kompozitlerin hem 20J hem de 60J enerji seviyesinde daha düşük deformasyon gösterdiği belirlenmiştir.



Şekil 4.31. Düzlem-dışı sandviç kompozitlerin darbe testi absorplanan enerji-deformasyon değerleri.

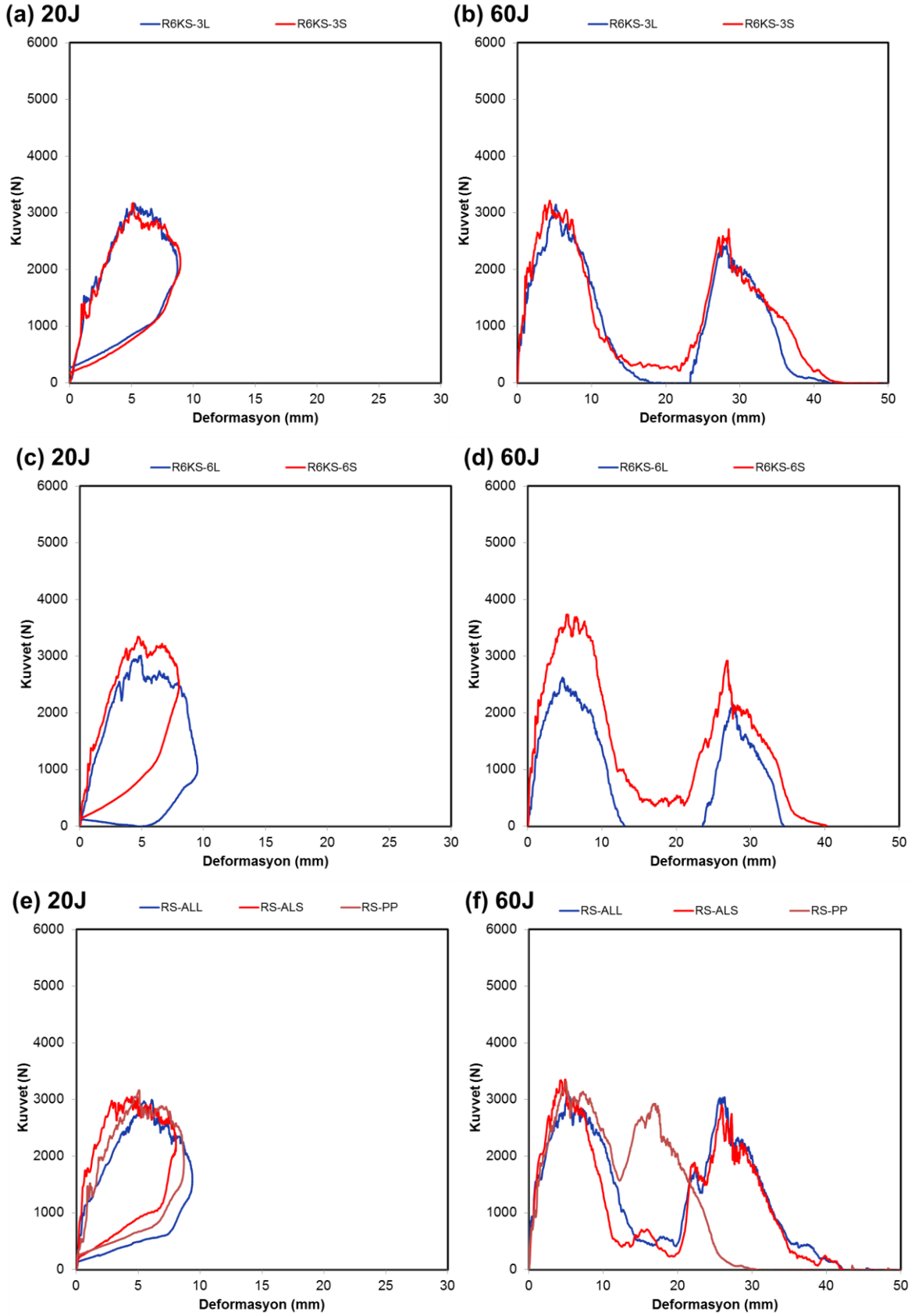
Şekil 4.32’de, düzlem-dışı sandviç kompozitlerin, 20J ve 60J darbe enerjisindeki kuvvet-zaman-enerji eğrileri verilmiştir. Hücre küçüldükçe ve dikiş yoğunluğu arttıkça, elastik-toparlanmanın arttığı belirlenmiştir. Ticari çekirdek yapı içeren sandviç kompozitlerin elastik toparlanması, geliştirilen düzlem-dışı sandviç kompozitlerden daha düşüktür. Bu da, aynı enerji seviyesinde ticari çekirdek yapı içeren sandviç kompozitlerin daha fazla kalıcı hasara uğradığını göstermektedir.





Şekil 4.32. Düzlem-dışı sandviç kompozitlerin kuvvet-zaman-enerji eğrileri, (a); R6KS-3Lve R6KS-3S (20J), (b); R6KS-3Lve R6KS-3S (60J), (c); R6KS-6Lve R6KS-6S (20J), (d); R6KS-6Lve R6KS-6S (60J), (e); RS-PP, RS-ALL ve RS-ASS (20J), (f); RS-PP, RS-ALL ve RS-ASS (60J).

Şekil 4.33'te, düzlem-dışı sandviç kompozitlerin, 20J ve 60J darbe enerjisindeki kuvvet-deformasyon eğrileri verilmiştir. Düzlem-dışı sandviç kompozitlerin deformasyon değerleri benzerdir.



Şekil 4.33. Düzlem-dışı sandviç kompozitlerin kuvvet-deformasyon eğrileri, (a); R6KS-3L ve R6KS-3S (20J), (b); R6KS-3L ve R6KS-3S (60J), (c); R6KS-6L ve R6KS-6S (20J), (d); R6KS-6L ve R6KS-6S (60J), (e); RS-PP, RS-ALL ve RS-ASS (20J), (f); RS-PP, RS-ALL ve RS-ASS (60J).

#### 4.8.2. Darbe sonrası bozunma

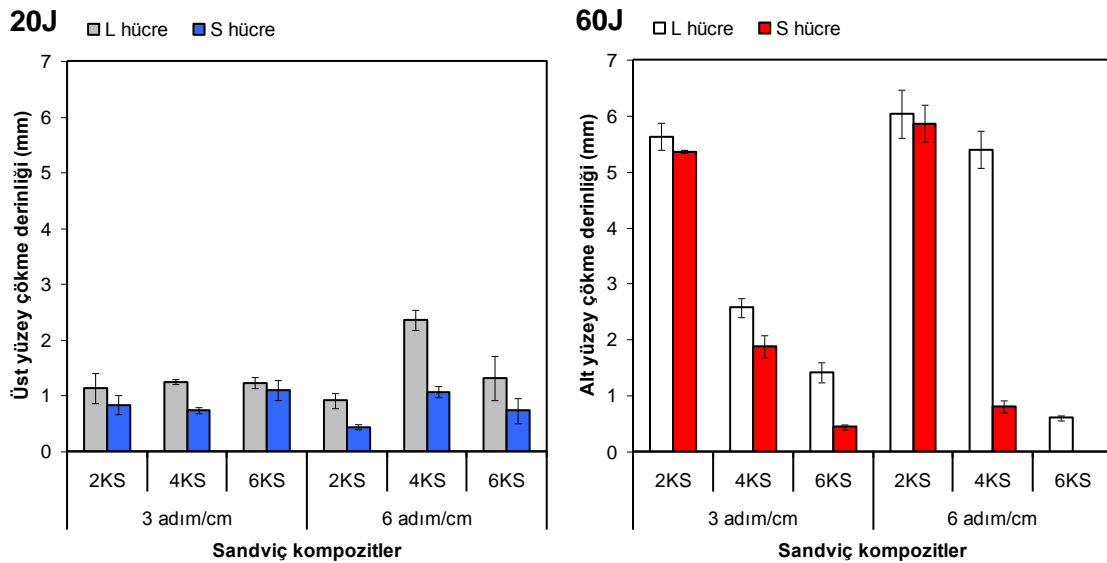
Çizelge 4.17’de düzlemsel sandviç kompozitlerin darbe testi bozunma ölçümlerine ait sonuçlar verilmiştir. 20J enerji seviyesinde, düzlemsel sandviç kompozitlerin tümünde yalnızca üst yüzey hasar görmüş, çekirdek yapı ve alt yüzeyde herhangi bir hasar meydana gelmemiştir. Bu nedenle, 20J darbe enerjisine maruz kalan numunelerin bozunma ölçümleri üst yüzeyde gerçekleştirilmiştir. 60J enerji seviyesinde ise, düzlemsel sandviç kompozitlerin tümünde üst yüzey delinmiş, çekirdek yapı ve alt yüzeyde hasar meydana gelmiştir. 60J darbe enerjisine maruz kalan numunelerin bozunma ölçümleri alt yüzeyde gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.17. Düzlemsel sandviç kompozitlerin darbe testi sonrası bozunma ölçüm sonuçları.

Darbe enerjisi	Kod	Çökme derinliği (mm)		Deformasyon eni (mm)		Deformasyon boyu (mm)	
		Üst yüzey	Alt yüzey	Üst yüzey	Alt yüzey	Üst yüzey	Alt yüzey
20J	2KS-3L	1,13 (±0,27)	Hasar yok	16,94 (±0,64)	Hasar yok	21,18 (±2,92)	Hasar yok
	2KS-3S	0,83 (±0,17)	Hasar yok	15,64 (±1,07)	Hasar yok	19,87 (±1,38)	Hasar yok
	2KS-6L	0,91 (±0,13)	Hasar yok	17,47 (±0,01)	Hasar yok	20,81 (±0,54)	Hasar yok
	2KS-6S	0,44 (±0,04)	Hasar yok	16,96 (±0,97)	Hasar yok	21,97 (±0,67)	Hasar yok
	4KS-3L	1,25 (±0,04)	Hasar yok	17,14 (±0,58)	Hasar yok	19,78 (±2,03)	Hasar yok
	4KS-3S	0,74 (±0,05)	Hasar yok	13,36 (±1,65)	Hasar yok	24,16 (±2,21)	Hasar yok
	4KS-6L	2,35 (±0,18)	Hasar yok	18,90 (±0,81)	Hasar yok	23,68 (±1,12)	Hasar yok
	4KS-6S	1,07 (±0,10)	Hasar yok	17,74 (±0,13)	Hasar yok	24,26 (±0,31)	Hasar yok
	6KS-3L	1,23 (±0,10)	Hasar yok	16,89 (±1,08)	Hasar yok	21,32 (±1,12)	Hasar yok
	6KS-3S	1,09 (±0,18)	Hasar yok	15,88 (±0,27)	Hasar yok	21,05 (±0,58)	Hasar yok
	6KS-6L	1,31 (±0,40)	Hasar yok	15,30 (±0,67)	Hasar yok	18,82 (±0,05)	Hasar yok
	6KS-6S	0,73 (±0,23)	Hasar yok	14,95 (±1,26)	Hasar yok	20,61 (±0,72)	Hasar yok
60J	2KS-3L	Delindi	5,63 (±0,24)	Delindi	28,77 (±1,50)	Delindi	30,90 (±1,73)
	2KS-3S	Delindi	5,36 (±0,03)	Delindi	23,94 (±0,72)	Delindi	30,46 (±1,82)
	2KS-6L	Delindi	6,04 (±0,43)	Delindi	27,54 (±0,98)	Delindi	30,16 (±2,69)
	2KS-6S	Delindi	5,86 (±0,33)	Delindi	24,39 (±1,67)	Delindi	37,18 (±0,52)
	4KS-3L	Delindi	2,57 (±0,17)	Delindi	18,93 (±2,03)	Delindi	22,22 (±2,19)
	4KS-3S	Delindi	1,88 (±0,19)	Delindi	16,96 (±0,82)	Delindi	21,43 (±4,56)
	4KS-6L	Delindi	5,39 (±0,33)	Delindi	16,68 (±0,37)	Delindi	23,45 (±1,35)

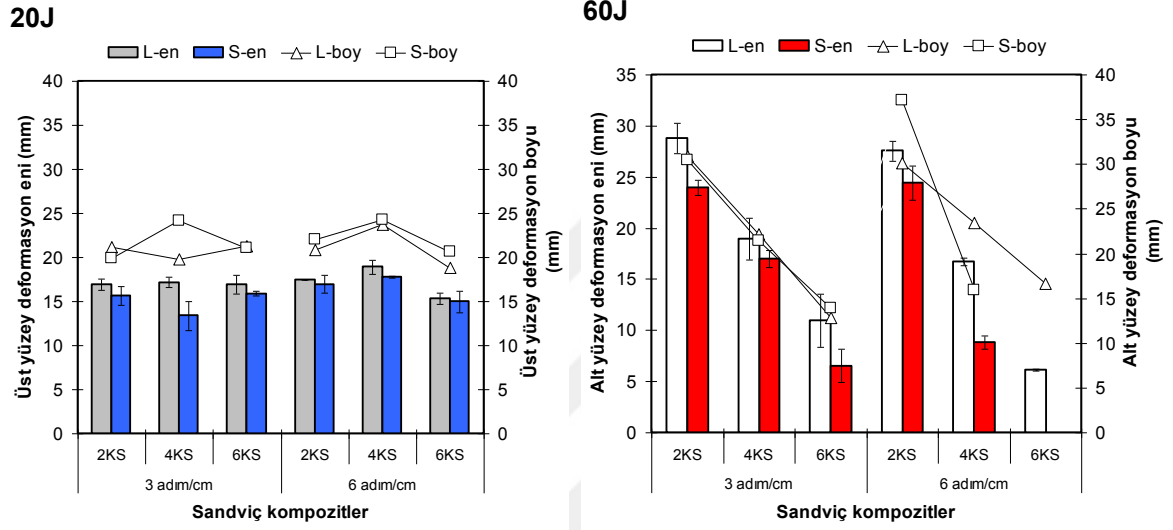
	4KS-6S	Delindi	0,81 (±0,11)	Delindi	8,81 (±0,67)	Delindi	15,94 (±6,43)
	6KS-3L	Delindi	1,41 (±0,18)	Delindi	10,94 (±2,61)	Delindi	12,84 (±2,69)
	6KS-3S	Delindi	0,44 (±0,04)	Delindi	6,54 (±1,62)	Delindi	13,91 (±4,37)
	6KS-6L	Delindi	0,60 (±0,04)	Delindi	6,14 (±0,11)	Delindi	16,61 (±8,10)
	6KS-6S	Delindi	Hasar yok	Delindi	Hasar yok	Delindi	Hasar yok

Şekil 4.34'te, düzlemsel sandviç kompozitlerin darbe testi sonrası üst yüzey (20J) ve alt yüzey (60J) çökme derinliği değerleri verilmiştir. Buna göre, hem 20J hem de 60J enerji seviyelerinde, küçük hücreli sandviç kompozitlerde gerçekleşen çökme derinliği değerlerinin, büyük hücreli sandviç kompozitlere kıyasla daha düşük olduğu belirlenmiştir. Küçük hücreli sandviç kompozitlerde birim alanda daha fazla çekirdek hücresinin bulunması, yapıyı rijitleştirmekte ve bu da darbe yükününün arka yüzeye daha az etkiyle geçmesini sağlamaktadır. 20J enerji seviyesinde, sandviç kompozitlerin üst yüzeylerinde kısmi deformasyon meydana gelmiş ve darbe yükü çekirdek yapıyı etkileyecek enerjide oluşmamıştır. 20J enerji seviyesinde, kat sayısı ve dikiş yoğunluğunun üst yüzey çökme derinliğine belirgin bir etkisi bulunmamaktadır. Ancak, 60J enerji seviyesinde kat sayısı arttıkça yapının kalınlığı arttığından çökme derinliği azalmıştır. 60J enerji seviyesinde genel olarak, 6 adım/cm dikiş yoğunluğundaki küçük hücreli sandviç kompozitlerin alt yüzey çökme derinliği, 3 adım/cm dikiş yoğunluğundaki küçük hücreli sandviç kompozitlere kıyasla daha düşüktür. 6 katlı ve 6 adım/cm dikiş yoğunluğundaki sandviç kompozitin (6KS-6S) alt yüzeyinde hasar gerçekleşmemiştir.



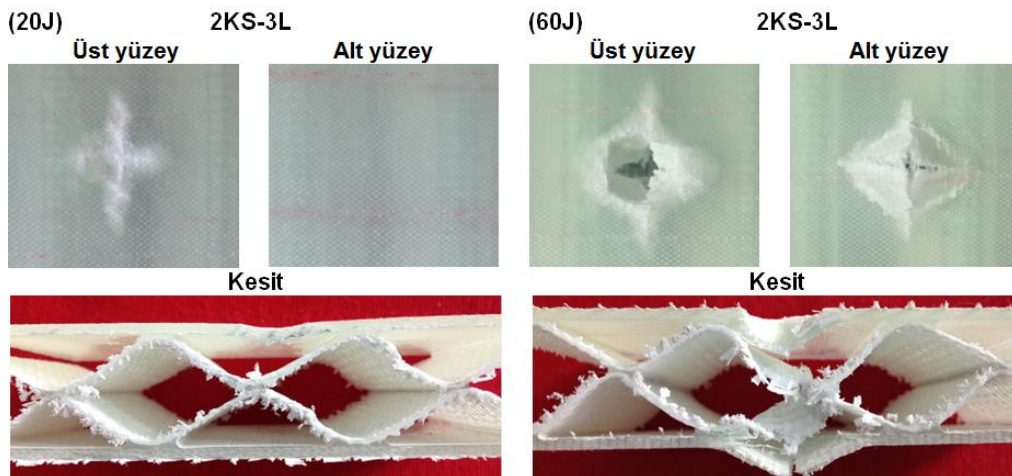
Şekil 4.34. Düzlemsel sandviç kompozitlerin darbe testi sonrası üst yüzey (20J) ve alt yüzey (60J) çökme derinliği değerleri.

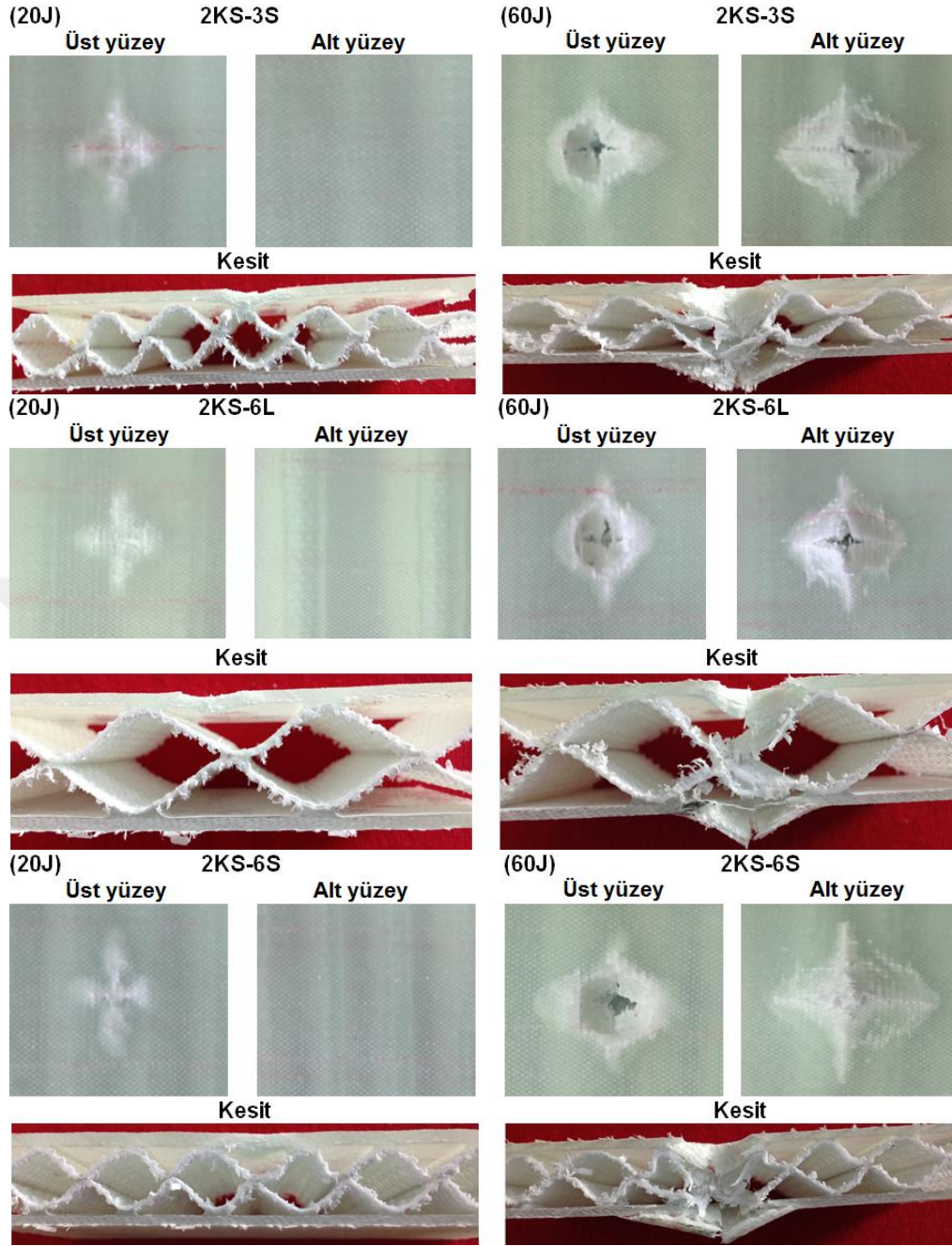
Şekil 4.35'te, düzlemsel sandviç kompozitlerin darbe testi sonrası üst yüzey (20J) ve alt yüzey (60J) deformasyon eni-boyu verilmiştir. Buna göre, hem 20J hem de 60J enerji seviyelerinde, küçük hücreli sandviç kompozitlerde gerçekleşen deformasyon eni ve boyunun, büyük hücreli sandviç kompozitlere kıyasla genel olarak daha düşük olduğu belirlenmiştir. 20J enerji seviyesinde, kat sayısı ve dikiş yoğunluğunun üst yüzey deformasyon eni ve boyuna belirgin bir etkisi bulunmamaktadır. 60J enerji seviyesinde, hem büyük hem de küçük hücreli sandviç kompozitlerde, kat sayısı ve dikiş yoğunluğu arttıkça alt yüzey deformasyon eni ve boyu azalmıştır.



Şekil 4.35. Düzlemsel sandviç kompozitlerin darbe testi sonrası üst yüzey (20J) ve alt yüzey (60J) deformasyon eni-boyu.

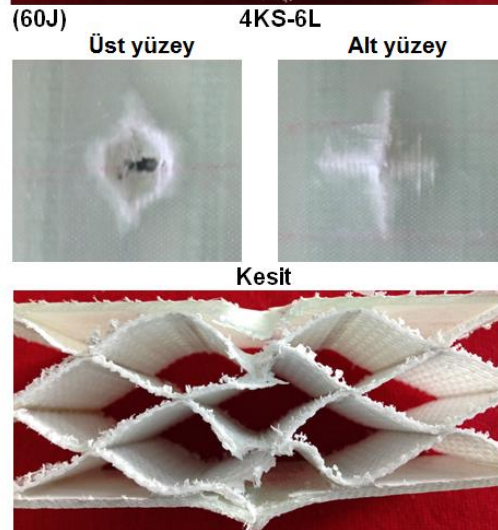
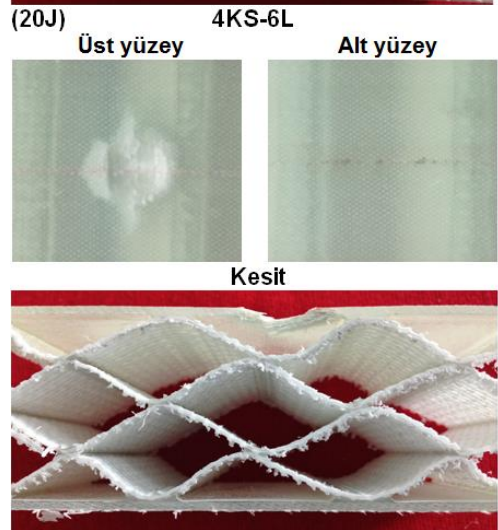
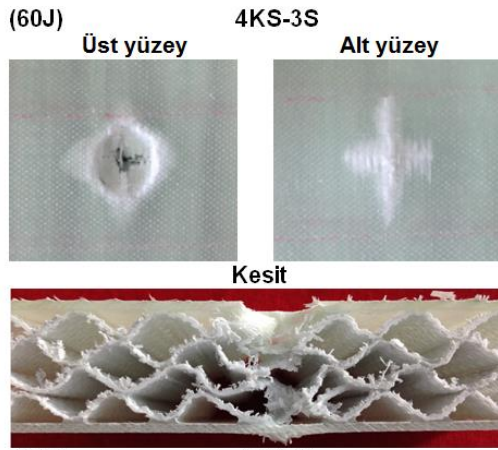
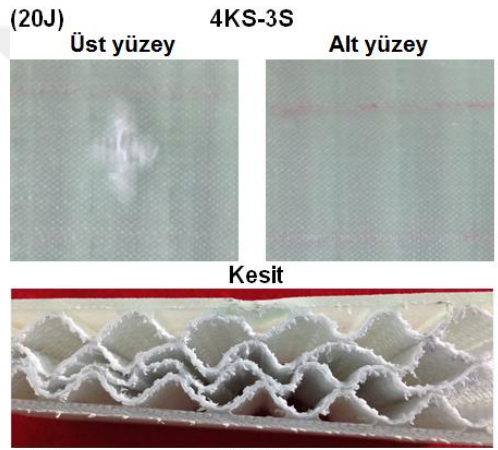
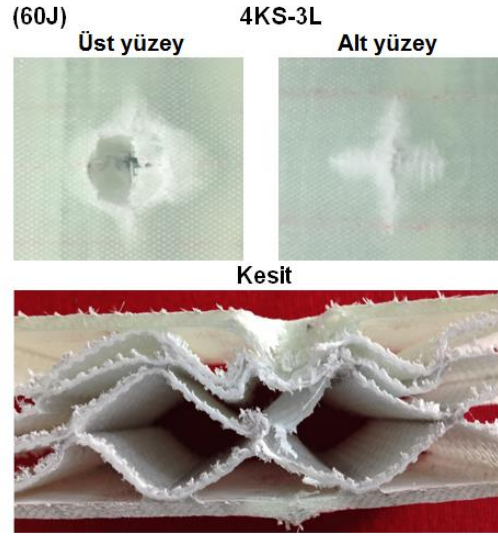
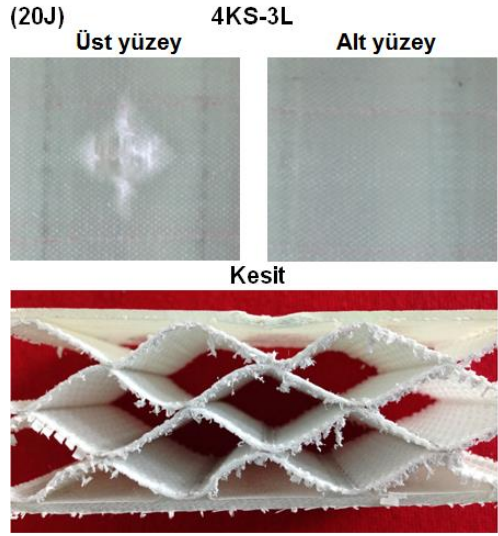
Şekil 4.36'da, 2 katlı düzlemsel sandviç kompozitlerin darbe testi sonrası bozunma görüntüleri verilmiştir. 20J enerji seviyesinde, yalnızca üst yüzey hasar görmüş, çekirdek yapı ve arka yüzeyde herhangi bir hasar meydana gelmemiştir. 60J enerji seviyesinde, büyük hücreli ve 3 adım/cm dikiş yoğunluğundaki yapılarda daha fazla bozunma gerçekleşmiştir.

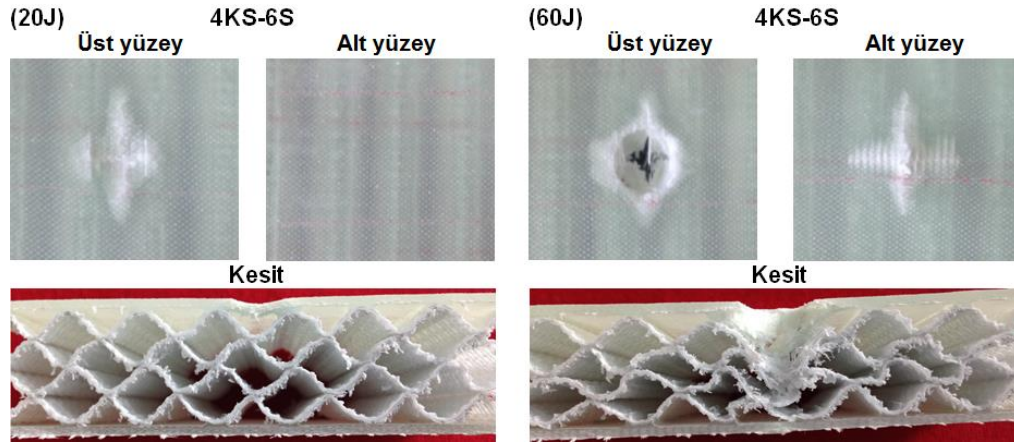




Şekil 4.36. 2 katlı düzlemsel sandviç kompozitlerin darbe testi sonrası bozunma görüntüleri.

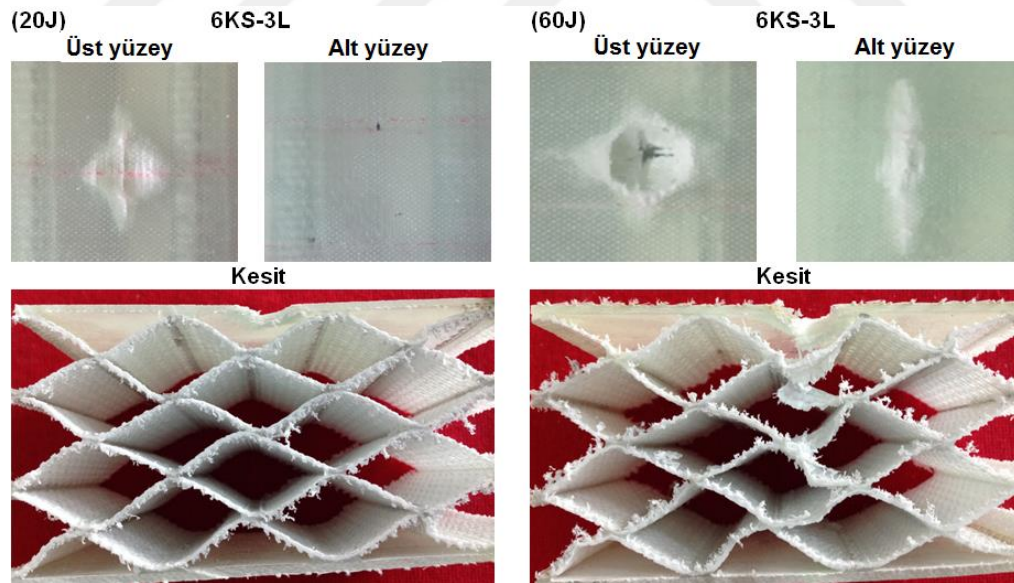
Şekil 4.37’de, 4 katlı düzlemsel sandviç kompozitlerin darbe testi sonrası bozunma görüntüleri verilmiştir. 20J enerji seviyesinde, yalnızca üst yüzey hasar görmüş, çekirdek yapı ve arka yüzeyde herhangi bir hasar meydana gelmemiştir. Büyük hücreli ve 3 adım/cm dikiş yoğunluğundaki yapılarda daha fazla bozunma gerçekleşmiştir. 60J enerji seviyesinde, hücre küçüldükçe ve dikiş yoğunluğu arttıkça alt yüzeyde gerçekleşen darbe esaslı bozunmanın azaldığı ve kesit görüntülerinden anlaşılacağı gibi çekirdek yapının bozunma davranışında önemli bir etkisinin olduğu sonucuna varılmıştır.

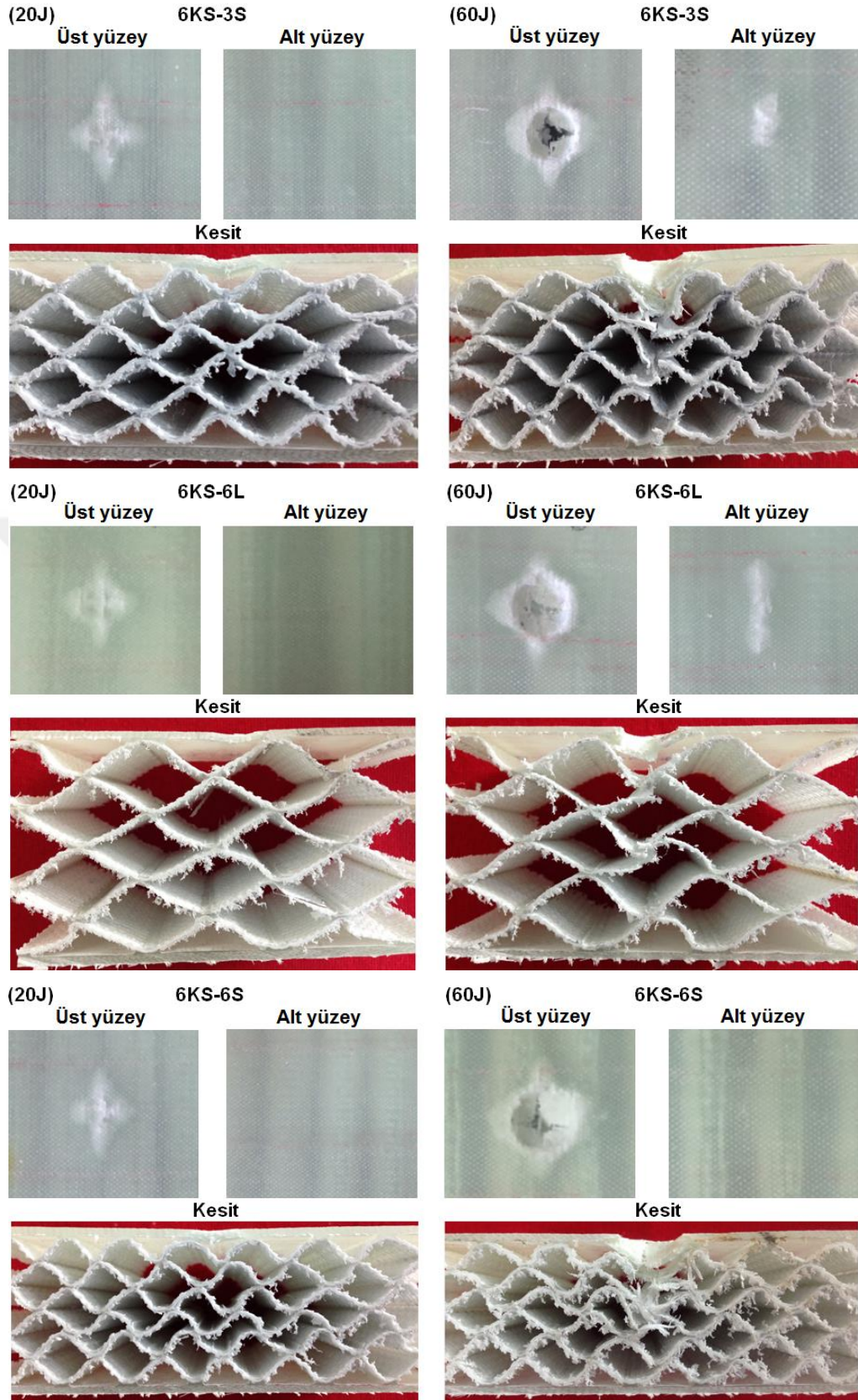




Şekil 4.37. 4 katlı düzlemsel sandviç kompozitlerin darbe testi sonrası bozunma görüntüleri.

Şekil 4.38’de, 6 katlı düzlemsel sandviç kompozitlerin darbe testi sonrası bozunma görüntüleri verilmiştir. 20J enerji seviyesinde, yalnızca üst yüzey hasar görmüş, çekirdek yapı ve arka yüzeyde herhangi bir hasar meydana gelmemiştir. Kesit görüntüleri, 60J enerji seviyesinde darbe yükünün orta katmanlarda durdurulmaya başladığını göstermiş ve hücre küçüldükçe ve dikiş yoğunluğu arttıkça alt yüzeyde gerçekleşen darbe esaslı bozunmanın azaldığı belirlenmiştir.





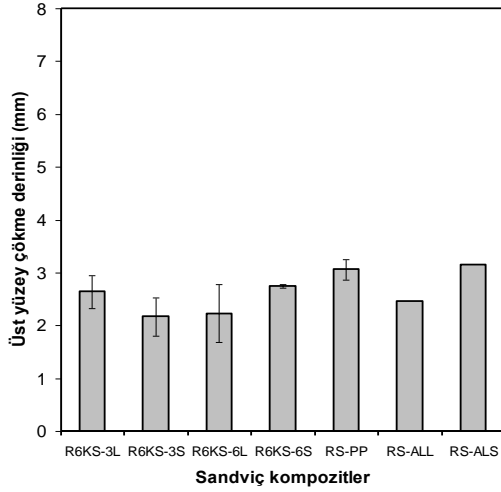
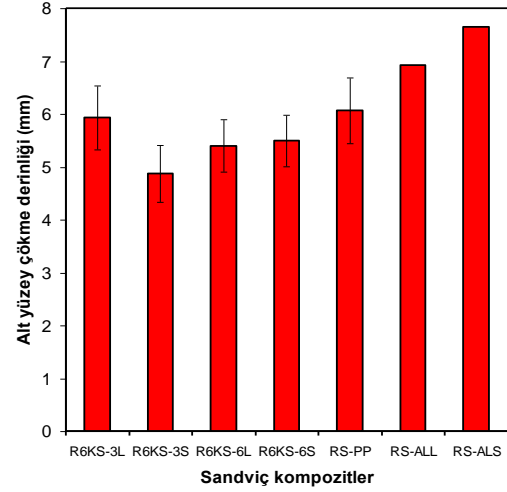
Şekil 4.38. 6 katlı düzlemsel sandviç kompozitlerin darbe testi sonrası bozunma görüntüleri.

Çizelge 4.18’de düzlem-dışı sandviç kompozitlerin darbe testi bozunma ölçümlerine ait sonuçlar verilmiştir. 20J enerji seviyesinde, düzlem-dışı sandviç kompozitlerin tümünde yalnızca üst yüzey hasar görmüş, çekirdek yapı ve arka yüzeyde herhangi bir hasar meydana gelmemiştir. Bu nedenle, 20J darbe enerjisine maruz kalan numunelerin bozunma ölçümleri üst yüzeyde gerçekleştirilmiştir. 60J enerji seviyesinde ise, düzlem-dışı sandviç kompozitlerin tümünde üst yüzey delinmiş, çekirdek yapı ve alt yüzeyde hasar meydana gelmiştir. 60J darbe enerjisine maruz kalan numunelerin bozunma ölçümleri alt yüzeyde gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.18. Düzlem-dışı sandviç kompozitlerin darbe testi sonrası bozunma ölçüm sonuçları.

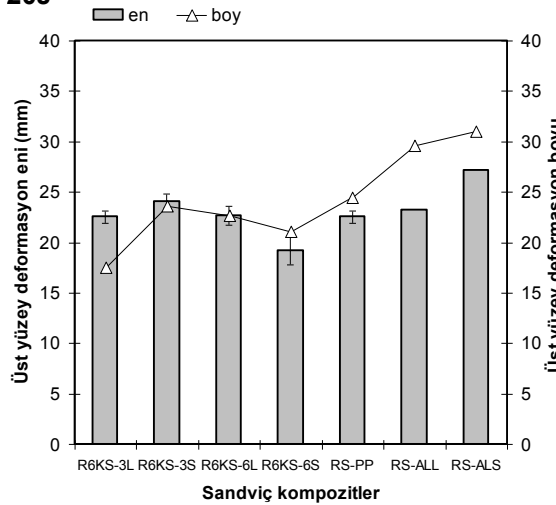
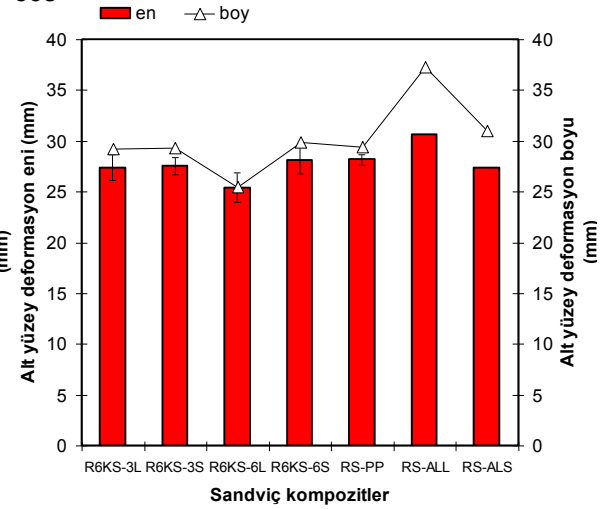
Darbe enerjisi	Kod	Çökme derinliği (mm)		Deformasyon eni (mm)		Deformasyon boyu (mm)	
		Üst yüzey	Alt yüzey	Üst yüzey	Alt yüzey	Üst yüzey	Alt yüzey
20J	R6KS-3L	2,64 (±0,31)	Hasar yok	22,56 (±0,60)	Hasar yok	17,56 (±0,43)	Hasar yok
	R6KS-3S	2,17 (±0,36)	Hasar yok	24,12 (±0,69)	Hasar yok	23,63 (±0,99)	Hasar yok
	R6KS-6L	2,23 (±0,55)	Hasar yok	22,66 (±0,93)	Hasar yok	22,71 (±0,84)	Hasar yok
	R6KS-6S	2,75 (±0,03)	Hasar yok	19,17 (±1,36)	Hasar yok	21,10 (±1,24)	Hasar yok
	RS-PP	3,06 (±0,19)	Hasar yok	22,56 (±0,60)	Hasar yok	24,49 (±2,40)	Hasar yok
	RS-ALL	2,46	Hasar yok	23,22	Hasar yok	29,56	Hasar yok
	RS-ALS	3,15	Hasar yok	27,13	Hasar yok	30,99	Hasar yok
60J	R6KS-3L	Delindi	5,93 (±0,61)	Delindi	27,39 (±1,30)	Delindi	29,25 (±0,60)
	R6KS-3S	Delindi	4,88 (±0,54)	Delindi	27,55 (±0,82)	Delindi	29,35 (±1,20)
	R6KS-6L	Delindi	5,40 (±0,50)	Delindi	25,41 (±1,46)	Delindi	25,49 (±0,40)
	R6KS-6S	Delindi	5,50 (±0,49)	Delindi	28,14 (±1,32)	Delindi	29,87 (±2,59)
	RS-PP	Delindi	6,07 (±0,62)	Delindi	28,15 (±0,47)	Delindi	29,45 (±0,98)
	RS-ALL	Delindi	6,93	Delindi	30,67	Delindi	37,31
	RS-ALS	Delindi	7,64	Delindi	27,37	Delindi	30,97

Şekil 4.39’da, düzlem-dışı sandviç kompozitlerin darbe testi sonrası üst yüzey (20J) ve alt yüzey (60J) çökme derinliği değerleri verilmiştir. Buna göre, hem 20J hem de 60J enerji seviyelerinde, küçük hücreli ve 3 adım/cm dikiş yoğunluğundaki sandviç kompozit (R6KS-3S) en düşük çökme derinliğini göstermiştir. Geliştirilen sandviç kompozitlerin çökme derinliği değerlerinin, ticari kompozitlere kıyasla daha düşük olduğu belirlenmiştir. Geliştirilen sandviç kompozitlerde çekirdek yapının hücrelerinin birleştirilmesinde kullanılan dikiş, darbe yükünün yapıda meydana getirdiği bozunmayı azaltmıştır.

**20J****60J**

Şekil 4.39. Düzlem-dışı sandviç kompozitlerin darbe testi sonrası üst yüzey (20J) ve alt yüzey (60J) çökme derinliği değerleri.

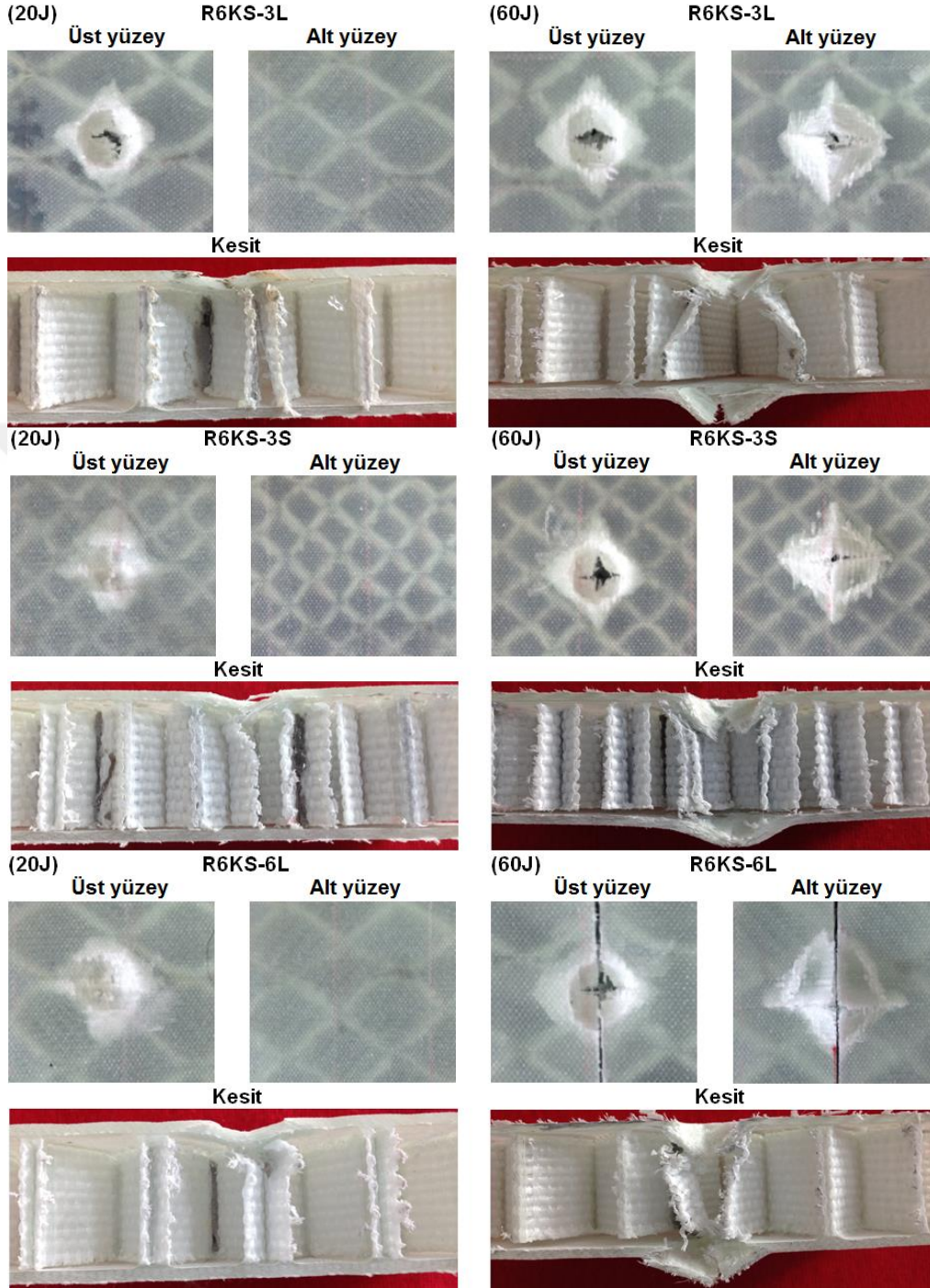
Şekil 4.40'ta, düzlem-dışı sandviç kompozitlerin darbe testi sonrası üst yüzey (20J) ve alt yüzey (60J) deformasyon eni-boyu değerleri verilmiştir. Geliştirilen sandviç kompozitlerin deformasyon eni ve boyunun, ticari kompozitlere kıyasla daha düşük olduğu belirlenmiştir.

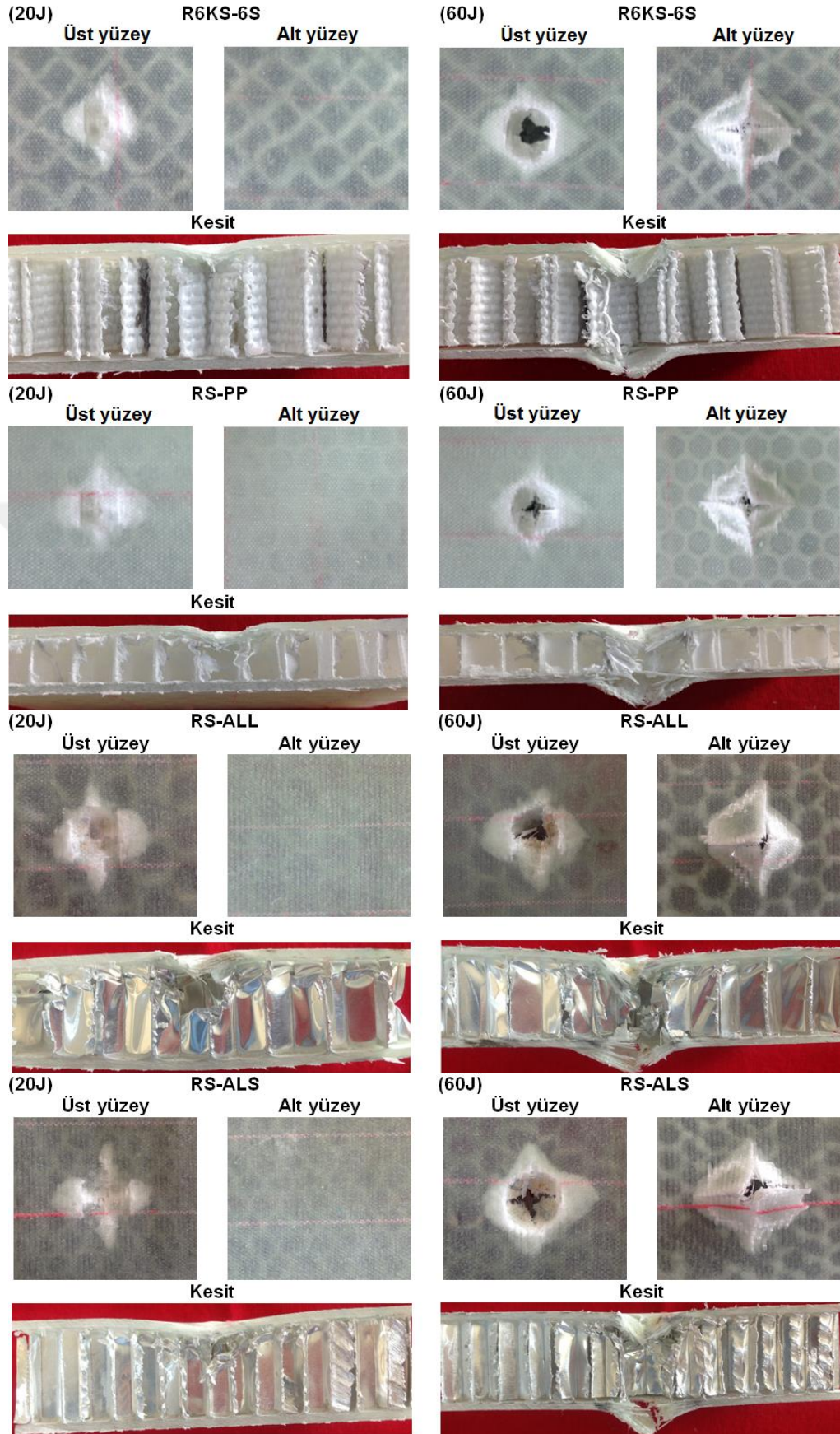
**20J****60J**

Şekil 4.40. Düzlem-dışı sandviç kompozitlerin darbe testi sonrası üst yüzey (20J) ve alt yüzey (60J) deformasyon eni-boyu.

Şekil 4.41'de, düzlem-dışı sandviç kompozitlerin darbe testi sonrası bozunma görüntüleri verilmiştir. 20J enerji seviyesinde, yalnızca üst yüzey hasar görmüş, çekirdek yapı kısmi hasar almış ancak arka yüzeyde herhangi bir hasar meydana gelmemiştir. 60J enerji seviyesinde, darbe yükü üst yüzeyi delerek çekirdeğe hasar vermiş ve alt yüzeyde kısmi delinmeye sebep olmuştur. Hücre büyüklüğü ve dikiş yoğunluğunun, düzlem-dışı sandviç kompozitlerin darbe esaslı bozunma davranışlarına belirgin bir etkisi bulunmamaktadır.

Ancak, geliştirilen sandviç kompozitlerin çekirdek yapısındaki hasarın ticari kompozitlere kıyasla daha düşük olduğu belirlenmiştir.





Şekil 4.41. Düzlem-dışı sandviç kompozitlerin darbe testi sonrası bozunma görüntüleri.

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, katmanlı PP çuval dokuma kumaşlar, dikiş yöntemi ile birleştirilerek sandviç kompozitler için rombus hücreli özgün çekirdek yapılar geliştirilmiştir. Geliştirilen çekirdek yapılar kullanılarak üretilen sandviç kompozitlerin, eğme, basma ve darbe davranışları incelenerek, hasar dayanımları belirlenmiştir. Tez çalışmasından elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

### 1. Kumaş kopma dayanımı test sonuçlarına göre;

- PP çuval dokuma kumaşa epoksi reçine uygulanması, kumaşın kopma dayanımında çözümlü yönünde yaklaşık %30, atkı yönünde ise yaklaşık %26'lık bir artış sağlamıştır.
- Epoksili kumaşın, kuru kumaşa kıyasla hem atkı hem de çözümlü yönünde daha rijit bir davranış sergilediği belirlenmiştir.
- Kuru kumaşta kopma davranışı kayma esaslı gerçekleşmiş olup, epoksili kumaşta iplik setlerinin epoksi reçine ile sabitlemesinden dolayı gerçekleşen daha kısıtlı kayma, iplik kopuşlarının daha katastrofik ve fibrilasyon esaslı oluşmasına neden olmuştur.

### 2. Dikiş dayanımı test sonuçlarına göre;

- Epoksili PP çuval dokuma kumaşın çözümlü yönündeki dikiş dayanımı, kuru kumaşın çözümlü yönündeki dikiş dayanımına kıyasla 3 adım/cm dikiş yoğunluğunda yaklaşık %70, 6 adım/cm dikiş yoğunluğunda ise yaklaşık %80 daha yüksektir.
- Dikiş dayanımı, dikiş kayma kuvveti ve dikiş verimliliği, hem kuru hem de epoksili kumaşta dikiş yoğunluğu arttıkça artış göstermiştir. Epoksi reçine, hem PP kumaş hem de dikiş ipliğini güçlendirmiştir. Ayrıca, epoksi reçine dikiş ipliğini sabitleyerek kaymasını önlemiş ve dikişin sebep olduğu hasar ise yine epoksi reçine ile doldurulmuştur.
- Dikiş ilmeleri ve kumaşın çözümlü/atkı ipliklerinin epoksi reçine ile sabitlenmesinden dolayı, yük altında hareket kabiliyetleri kısıtlanmış, bu da dikiş kayma dayanımının daha yüksek olmasını sağlamıştır.
- Çözümlü ve atkı yönlerindeki kumaşların her iki dikiş yoğunluğundaki yük-uzama eğrileri, kuru kumaşın epoksili kumaşa kıyasla daha sünek bir davranış sergilediğini göstermiştir.

### 3. Eğme testi sonuçlarına göre (düzlemsel sandviç kompozitler);

- Küçük hücreli sandviç kompozitlerin eğme yükü, eğme dayanımı ve eğme modülü değerleri, genel olarak büyük hücreli sandviç kompozitlere kıyasla daha yüksektir. Bu durum, küçük hücreli sandviç kompozitin eğme yüküne maruz kalması durumunda birim alanda daha fazla çekirdek hücresinin bulunmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca, küçük hücreli yapılarda çekirdek/dış yüzey bağlantı/yapışma noktasının büyük hücreli yapılara kıyasla daha fazla olması da küçük hücreli sandviç kompozitlerin eğme dayanımının büyük hücreli sandviç kompozitlere kıyasla daha yüksek olmasını sağlamıştır.
- Çekirdek yapının kat sayısı arttıkça, hem büyük hem de küçük hücreli yapıların eğme dayanımı değerleri düşmüştür. Bunun nedeni, artan çekirdek kat sayısı ile birlikte, sandviç kompozitin kalınlık değerinin de artış göstermesidir. Ayrıca, çekirdek yapıdaki kat sayısı arttıkça, sandviç kompozit esnek bir yapıya dönüşmektedir. Aksi durumda ise, çekirdek yapıdaki kat sayısının azalması, sandviç kompozitin rijitleşmesine neden olmaktadır.
- Dikiş yoğunluğu arttıkça, hem büyük hem de küçük hücreli sandviç kompozitlerin eğme dayanımları artmıştır. Çekirdek yapının katları arasındaki birleşimi ve hücre yapısının oluşmasını dikiş sağlamaktadır. Bu birleştirme işleminin daha yoğun dikiş ilmeleri ile yapılması, sandviç kompozitin eğme yüküne karşı gösterdiği direnci de arttırmaktadır.
- Çekirdek yapının kat sayısı arttıkça, hem büyük hem de küçük hücreli yapıların eğme modülü değerleri düşmüştür. Özellikle büyük hücreli yapıların eğme modülü değerlerinde belirgin bir düşüş meydana gelmiştir. Büyük hücreli çekirdek yapıların genel olarak daha esnek bir yapısı bulunmaktadır ve kat sayısı arttıkça dış yüzey ile doğrudan bağlantı yapmayan çekirdek hücrelerinin eğme yükü altındaki davranışı oldukça sünek gerçekleşmiştir. Bu durum, büyük hücreli yapılar ile küçük hücreli yapıların eğme modülü değerleri arasındaki farkı da arttırmıştır. Dikiş yoğunluğu arttıkça, genel olarak eğme modülün arttığı söylenebilir.
- Sandviç kompozitlerin eğme dayanımı-deformasyon eğrileri incelendiğinde, kat sayısı arttıkça yapının sünek bir davranış sergilediği belirlenmiştir. Ancak, küçük hücreli sandviç kompozitlerin deformasyon eğrilerinin, büyük hücreli sandviç kompozitlere kıyasla daha rijit olduğu belirlenmiştir.

- Büyük hücreli sandviç kompozitlerin çekirdek kayma dayanımı, küçük hücreli sandviç kompozitlere kıyasla daha düşüktür. Dış yüzey gerilmesi, küçük hücreli yapılarda çekirdek/dış yüzey bağlantı/yapışma noktasının büyük hücreli yapılara kıyasla daha fazla olması ve küçük hücreli çekirdek yapının daha rijit yapısından dolayı, büyük hücreli yapılara kıyasla daha yüksektir. Küçük hücre yapısı, eğme yükü altında kaymaya karşı direnci arttırmış, bu da daha rijit bir sandviç kompozit yapısı sağlamıştır. Kat sayısı arttıkça, hem büyük hem de küçük hücreli sandviç kompozitlerin çekirdek kayma dayanımının düştüğü belirlenmiştir. Bunun nedeni, çekirdek yapıdaki kat sayısının artmasıyla birlikte, orta kısımda dış yüzey ile doğrudan bağlantı kurmayan serbest haldeki çekirdek hücrelerinin artması ve daha esnek bir sandviç kompozitin oluşmasıdır. Böylece, eğme yükü altında kayma davranışına eğilim gösteren hücre yapısı da artış göstermekte, bu da daha düşük çekirdek kayma dayanımı ile sonuçlanmaktadır. Eğme testi sonrası kırılma görüntüleri de bu sonucu doğrulamaktadır.
- Düzlemsel sandviç kompozitlerin eğme yüküne maruz kaldıkları dış yüzey kompozitte, genel olarak kırılma gerçekleşmiştir. Büyük hücreli yapılarda, yapı boyunca çekirdek deformasyonu ezilme biçiminde (flexural crushing) gerçekleşirken, küçük hücreli yapılarda çekirdek yapıda bölgesel ezilme davranışı (local crushing) gözlenmiştir.

#### **4. Eğme testi sonuçlarına göre (düzlem-dış sandviç kompozitler);**

- Ticari çekirdek yapılar ve geliştirilen çekirdek yapıları içeren sandviç kompozitlerin eğme yükleri genel olarak yakındır. En düşük eğme yükünü ticari PP balpeteği çekirdek yapı içeren sandviç kompozit (RS-PP) göstermesine karşın, düşük kalınlık değerinden dolayı en yüksek eğme dayanımını da yine aynı sandviç kompozit sergilemiştir. Geliştirilen çekirdek yapılarda hücre büyüklüğü ve dikiş yoğunluğunun, eğme dayanımı üzerinde belirgin bir etkisi bulunmamaktadır. Bu yapıların, eğme yüküne maruz kalmaları durumunda bozunma davranışı, çekirdek ve dış yüzeyin delaminasyonu biçiminde gerçekleşmiştir. Bu durum, hücre büyüklüğü ve dikiş yoğunluğu gibi çekirdek ile ilgili parametrelerin etkisinin belirgin hale gelmesini önlemiştir. Ticari çekirdek yapılarda ise bozunmanın buckling ve çekirdek ezilmesi biçiminde gerçekleşmesinden dolayı, eğme dayanımının daha yüksek olduğu sonucuna

varılmıştır. En yüksek eğme modülünü RS-ALS gösterirken, geliştirilen düzlem-dışı sandviç kompozitlerin ticari kompozitlere kıyasla daha düşük eğme modülüne sahip oldukları belirlenmiştir.

- Düzlem-dışı sandviç kompozitlerin eğme dayanımı-deformasyon eğrileri incelendiğinde, çekirdek yapının hücresinin küçülmesi ve hücrelerin birleştirilmesinde kullanılan dikiş yoğunluğunun artmasıyla birlikte, sandviç kompozitin rijitleştiği belirlenmiştir.
- Küçük hücreli sandviç kompozitlerin çekirdek kayma dayanımları ve dış yüzey gerilmesi değerleri, genel olarak büyük hücreli yapılardan daha yüksektir. Bunun nedeni, küçük hücreli çekirdek yapıların daha rijit olması ve dış yüzey ile olan bağlantı/yapışma noktasının daha fazla olmasıdır.

##### **5. Basma testi sonuçlarına göre (düzlemsel sandviç kompozitler);**

- Küçük hücreli sandviç kompozitlerin basma dayanımı ve basma modülü değerlerinin büyük hücreli sandviç kompozitlerden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durum, küçük hücreli sandviç yapıların basma yüküne maruz kalması durumunda birim alanda daha fazla çekirdek hücresinin bulunmasından kaynaklanmaktadır.
- Kat sayısı arttıkça, hem büyük hem de küçük hücreli sandviç kompozitlerin basma dayanımı düşmüş ancak, basma modülleri artış göstermiştir. Büyük hücreli sandviç kompozitlerin basma dayanımı ve modülünde kat sayısına ve dikiş yoğunluğuna bağlı olarak bir değişim belirlenememiştir. Ancak, küçük hücreli sandviç kompozitlerde, genel olarak dikiş yoğunluğu arttıkça basma dayanımı ve basma modülünün artış eğiliminde olduğu söylenebilir.
- Basma testi sonrasında sandviç kompozitlerin deformasyonları incelendiğinde, büyük hücreli çekirdek yapıların esnek davranışından dolayı, basma yükü kaldırıldığında daha az ezilme göstererek eski haline dönme eğilimi belirlenmiştir. Özellikle 4 kat ve 6 katlı küçük hücreli çekirdek yapılarda ise, hücrelerde ezilme ve genel itibarıyla kalıcı bir deformasyon gerçekleşerek panel kalınlığında azalma meydana gelmiştir.

##### **6. Basma testi sonuçlarına göre (düzlem-dışı sandviç kompozitler);**

- Küçük hücreli kompozit yapılar (R6KS-3S ve R6KS-6S) en yüksek basma dayanımı değerlerini göstermiştir.

- Küçük hücreli düzlem-dışı sandviç kompozitlerin basma dayanımları, büyük hücreli yapılara kıyasla daha yüksektir.
- Küçük hücreli 6 adım/cm dikiş yoğunluğundaki sandviç kompozitin (RSKS-6S) basma dayanımının, ticari büyük hücreli alüminyum çekirdek içeren sandviç kompozitten (RS-ALL) %69, ticari küçük hücreli alüminyum çekirdek içeren sandviç kompozitten (RS-ALS) %40 ve ticari PP çekirdek içeren sandviç kompozitten (RS-PP) ise yaklaşık %27 daha fazla olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, R6KS-6S'nin basma modülü değeri de RS-PP'den yaklaşık %47 daha yüksektir.
- Basma testi sonrasında sandviç kompozitlerin deformasyonları incelendiğinde, hem büyük hem de küçük hücreli çekirdek yapılarda kalıcı şekil değişimi gerçekleşmiştir. Dikiş yoğunluğu attıkça, sandviç kompozitlerin basma esaslı yüklere maruz kalması durumundaki kalıcı deformasyonun azaldığı belirlenmiştir.
- Ticari PP çekirdek içeren sandviç kompozitte, çekirdek hücrelerinin kırıldığı gözlenirken, ticari alüminyum çekirdek içeren yapılarda ise çekirdek yapılar ezilerek, sandviç kompozitin formunu tamamıyla kaybettiği gözlenmiştir.

#### **7. Darbe testi sonuçlarına göre (düzlemsel sandviç kompozitler);**

- Darbe enerjisi arttıkça, hem büyük hem de küçük hücreli sandviç kompozitlerin maksimum kuvvetleri, absorpladığı enerji ve deformasyon değerleri artmıştır.
- 20J enerji seviyesinde, sandviç kompozitlerin üst yüzeylerinde kısmi deformasyon meydana gelmiş ve darbe yükü çekirdek yapıyı etkileyecek enerjide oluşmamıştır. Bu nedenle, 20J enerji seviyesindeki maksimum kuvvet ve absorplanan enerji değerlerinde, hücre büyüklüğü, kat sayısı ve dikiş yoğunluğuna bağlı olarak belirgin bir değişim gerçekleşmemiştir.
- 60J enerji seviyesinde ise genel olarak, küçük hücreli sandviç kompozitlerin maksimum kuvvet ve absorplanan enerji değerlerinin büyük hücreli yapılara kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Birim alanda daha fazla çekirdek hücresinin bulunduğu küçük hücreli yapılar daha rijit bir davranış sergilemektedir. Kat sayısı arttıkça, maksimum kuvvet değerinin ve absorplanan enerjinin arttığı ve dikiş yoğunluğunun belirgin etki göstermediği sonucuna varılmıştır.

- 20J ve 60J enerji seviyelerindeki deformasyon değerlerinde, hücre büyüklüğü, kat sayısı ve dikiş yoğunluğuna bağlı olarak belirgin bir değişim gerçekleşmemiştir.
- 20J enerji seviyesinde, kat sayısı arttıkça absorplanan enerjide meydana gelen elastik-toparlanma artmıştır. Genel olarak, büyük hücreli yapıların küçük hücreli yapılara kıyasla daha yüksek elastik-toparlanma gösterdiği belirlenmiştir.
- 60J enerji seviyesinde de, kat sayısı arttıkça ve hücre büyüdükçe elastik-toparlanma artmıştır.
- Özellikle 60J enerji seviyesinde, küçük hücreli sandviç kompozitlerde büyük hücreli yapılara kıyasla daha fazla kalıcı deformasyonun gerçekleştiği belirlenmiştir. Bu durum, küçük hücreli sandviç kompozitlerin daha rijit yapısından kaynaklanmaktadır.
- Küçük hücreli sandviç kompozitlerde gerçekleşen çökme derinliği ve deformasyon değerlerinin, büyük hücreli sandviç kompozitlere kıyasla daha düşük olduğu belirlenmiştir.
- 20J enerji seviyesinde, sandviç kompozitlerin üst yüzeylerinde kısmi deformasyon meydana gelmiş ve darbe yükü çekirdek yapıyı etkileyecek enerjide oluşmamıştır. Ancak, 60J enerji seviyesinde kat sayısı ve dikiş yoğunluğu arttıkça, çökme derinliği ve deformasyon azalmıştır.
- 6 katlı ve 6 adım/cm dikiş yoğunluğundaki sandviç kompozitin (6KS-6S) alt yüzeyinde hasar gerçekleşmemiştir.

#### **8. Darbe testi sonuçlarına göre (düzlem-dışı sandviç kompozitler);**

- Düzlem-dışı sandviç kompozitler, 60J enerji seviyesinde darbe yükü altında iki maksimum kuvvet ve iki maksimum deformasyon göstermiştir. Bu durum, sandviç kompozitin üst yüzeyinin tamamen delinmesi ve darbe ucunun, sandviç kompozitin kalan enerjisiyi absorplayabilecek alt yüzeye ulaşmasından kaynaklanmaktadır.
- 20J enerji seviyesinde tek maksimum kuvvet görülmesinin nedeni ise, sandviç kompozitinin üst yüzeyinin tamamen delinmemesi ve darbe enerjisinin üst yüzey tarafından neredeyse tamamen absorplanmasıdır.
- 60J enerji seviyesinde, düzlem-dışı sandviç kompozitlerin tamamında, 1. maksimum kuvvetin, 2. maksimum kuvvetten daha yüksek olduğu

belirlenmiştir. Bu durum, darbe enerjisinin önemli bir kısmının sandviç kompozitin üst yüzeyi ve çekirdek yapı tarafından absorplandığını ve alt yüzey tarafından absorplanan enerjinin daha az olduğunu ifade etmektedir.

- Darbe enerjisinin artması, sandviç kompozitlerin maksimum kuvvetlerine belirgin bir etkide bulunmamıştır. Hücre küçüldükçe ve dikiş yoğunluğu arttıkça, maksimum kuvvet değerinin arttığı belirlenmiştir.
- Darbe enerjisi arttıkça, enerji absorpsiyonu ve deformasyon değerlerinin arttığı belirlenmiştir. 20J enerji seviyesinde deformasyon değerlerinin birbirine yakın olduğu ancak, küçük hücreli ve 6 adım/cm dikiş yoğunluğundaki sandviç kompozit (R6KS-6S) en yüksek enerji absorpsiyonunu göstermiştir. Benzer eğilim 60J enerji seviyesinde olmakla birlikte, hücre küçüldükçe ve dikiş yoğunluğu arttıkça, enerji absorpsiyonunun arttığı belirlenmiştir.
- Ticari alüminyum çekirdek içeren sandviç kompozitlerin hem 20J hem de 60J enerji seviyesinde daha düşük deformasyon gösterdiği belirlenmiştir.
- Hücre küçüldükçe ve dikiş yoğunluğu arttıkça, elastik-toparlanmanın arttığı belirlenmiştir.
- Geliştirilen sandviç kompozitlerin çökme derinliği değerlerinin, ticari kompozitlere kıyasla daha düşük olduğu belirlenmiştir.
- Geliştirilen sandviç kompozitlerde çekirdek yapının hücrelerinin birleştirilmesinde kullanılan dikiş, darbe yükünün yapıda meydana getirdiği bozunmayı azaltmıştır.

Elde edilen test sonuçları, tez kapsamında geliştirilen sandviç kompozitlerin, ticari olarak kullanılan yapılara fiyat ve performans bakımından alternatif olabileceği, başta rüzgar tribünü kanat malzemesi olmak üzere birçok endüstriyel uygulama alanında kullanılma potansiyeli bulunduğunu göstermiştir.

## KAYNAKLAR

- Akatay, A., Bora, M. Ö., Çoban, O., Fidan, S., Tuna, V., 2015. The Influence of Low Velocity Repeated Impacts on Residual Compressive Properties of Honeycomb Sandwich Structures. *Composite Structures*, 125, 425-433.
- Baser, G. 1998. Dokuma Tekniği ve Sanatı, (2. Basım) Cilt I. Tekstil Mühendisleri Odası Yayınları.
- Berthelot, J. M., 1999. Composite Materials- Mechanical Behaviour and Structural Analysis, Springer, New York, pp. 211, ISBN: 978-0387984261.
- Bilisik K., Özdemir, H., Yolacan Kaya G., 2016. Interlaminar Shear Strength Properties of Multistitched Preform Nano Composites. *Industria Textila*, 67(2), 127-131.
- Bilisik K., Yolacan G., 2012. Experimental Determination of Bending Behavior of Multilayered and Multidirectionally-Stitched E-Glass Fabric Structures for Composites. *Textile Research Journal*, 82(10), 1038-1049.
- Bilisik K., Yolacan G., 2014a. Low-Velocity Impact Characterization of Multistitched Woven E-Glass/Polyester Nano/Micro Composites. *Textile Research Journal*, 84(13), 1411-1427.
- Bilisik K., Yolacan G., 2014b. Experimental Off-Axis Tensile Characterization of Multistitched Woven Nano Composites. *Fibers and Polymers*, 15(3), 614-624.
- Bilisik K., Yolacan G., 2014d. Warp and Weft Directional Tensile Properties of Multistitched Woven Fabric E-Glass/Polyester Nano Composites. *Fibers and Polymers*, 15(5), 1051-1061.
- Bilisik K., Yolacan G., 2014e. Warp and Weft Directional Tensile Properties of Multistitched Biaxial Woven E-Glass/Polyester Composites. *The Journal of The Textile Institute*, 105(10), 1014-1028.
- Bilisik K., Yolacan G., 2014f. Experimental Characterization of Multistitched Two-Dimensional (2D) Woven E-Glass/Polyester Composites Under Low-Velocity Impact Load. *Journal of Composite Materials*, 48(17), 2145-2162.
- Bilisik K., Yolacan G., 2015a. In-Plane Shear Properties of Multistitched Nano Composites by Bias Tensile Test. *Fibers and Polymers*, 16(12), 2636-2644.
- Bilisik K., Yolacan G., 2015b. Short Beam Strength Properties of Multistitched Biaxial Woven E-Glass/Polyester Nano Composites. *Journal of Industrial Textiles*, 45(2), 199-221.
- Bilisik K., Yolacan G., 2015c. Warp-Weft Directional Bending Properties of Multistitched Biaxial Woven E-Glass/Polyester Nano Composites. *Journal of Industrial Textiles*, 45(1), 66-100.
- Bilisik K., Yolacan G., 2014c. Off-Axis Tensile Properties of Multistitched Plain Woven E-Glass/Polyester Composites. *Fibers and Polymers*, 15(3), 589-598.
- Billur, E., Çevik, E., Parnas, L., Balya, B., Şenel, F., 2017. Rüzgar Türbinleri Rotor Kanatlarının Üretimi ve Belgelendirilmesi, *TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası*.
- Blacketter, D. M., Walrath, D. E., Hansen, A. C., 1993. Modeling Damage in a Plain Weave Fabric-Reinforced Composite Material. *Journal of Composites Technology & Research*, 15 (2), 136-142.

- Brandrup, J., Immergut, H., Grulke, A., 1999. *Polymer Handbook (Fourth Edition)*. New York, John Willey Sons Inc., pp. 772, ISBN: 978-0471479369.
- Bureau, M. N., Denault, J., 2004. Fatigue Resistance of Continuous Glass Fiber/Polypropylene Composites: Consolidation Dependence. *Composites Science and Technology*, 64, 1785-1794.
- Bureau, M. N., Perrin, F., Denault, J., Dickson, J. I., 2002. Interlaminar Fatigue Crack Propagation in Continuous Glass Fiber/Polypropylene Composites. *International Journal of Fatigue*, 24, 99-108.
- Cabrera, N.O., Alcock, B., Peijs, T., 2008. Design and Manufacture of All-Pp Sandwich Panels Based on Co-Extruded Polypropylene Tapes. *Composites Part B: Engineering*, 39, 1183-1195.
- Chandradass, J., Ramesh Kumar, M., and Velmurugan, R., 2008. Effect of Clay Dispersion on Mechanical, Thermal and Vibration Properties of Glass Fiber-Reinforced Vinyl Ester Composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 27 (15), 1585-1601.
- Chapman, C. D., Whitcomb, J. D., 1995. Effect of Assumed Tow Architecture on Predicted Moduli and Stresses in Plain Weave Composites. *Journal of Composite Materials*, 29 (16), 2134-2159.
- Çitoğlu, F., Yükseloğlu, S. M., Akgün Kuyucu, Y., 2011. The Study of Stitch Parameters on the Effect of Stitch Strength of the Polyester Lining Fabrics. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 1, 82-86.
- Dasgupta, A., Bhandarkar, S. M., 1994. Effective Thermalmechanical Behavior of Plain Weave Fabric-Reinforced Composites using Homogenization Theory. *Journal of Engineering Materials and Technology*, 116, 99-105.
- De Carvalho N. V., Pinho, S. T., Robinson, P., 2012. Analytical Modelling of the Compressive and Tensile Response of Woven Composites. *Composite Structures*, 94 (9), 2724-2735.
- Fan, H., Zhao, L., Chen, H., Kuang, N., Yang, C., Huang, S., Jiang, Y., 2012. Ductile Deformation Mechanisms and Designing Instructions for Integrated Woven Textile Sandwich Composites. *Composites Science and Technology*, 72, 1338-1343.
- George, T., Deshpande, V.S., Sharp, K., Wadley, H.N.G., 2014. Hybrid Core Carbon Fiber Composite Sandwich Panels: Fabrication and Mechanical Response. *Composite Structures*, 108, 696-710.
- Gustin, J., Joneson, A., Mahinfalah, M., Stone, J., 2005. Low Velocity Impact of Combination Kevlar/Carbon Fiber Sandwich Composites. *Composite Structures*, 69(4), 396-406.
- Gurarda, A., 2008. Investigation of the Seam Performance of PET/Nylon-Elastane Woven Fabrics. *Textile Research Journal*, 78(1), 21-27.
- Hamada, H., Fujihara, K., Harada, A. 2000., The Influence of Sizing Conditions on Bending Properties of Continuous Glass Fibre Reinforced Polypropylene Composites, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 31, 979-990.
- Hoa, S.V., 2009. *Principles of the Manufacturing of Composite Materials (Second edition)*. USA, DEStch Publications, pp.103, ISBN: 978-1932078268.
- Ishikawa, T., Chou, T. W., 1982. Elastic Behavior of Woven Hybrid Composites, *Journal of Composite Materials*. 16, 2-19.

- Karabağ, S., 2011. Rüzgâr Türbini Kanadı İmalatı, İzmir Rüzgâr Sempozyumu ve Sergisi, 23-24 Aralık, İzmir.
- Kaya, K., Koç, E., 2015. Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinlerinde Kanat Profil Tasarımı ve Üretim Esasları. *Mühendis ve Makina*, 56 (670), 38-48.
- Kim, J. K, Sham, M. L., 2000. Impact and Delamination Failure of Woven-Fabric Composites. *Composites Science and Technology*, 60, 745-761.
- Kollegal, M. G., Sridharan, S., 2000. Strength Prediction of Plain Woven Fabrics. *Journal of Composite Materials*, 34 (3), 240-257.
- Lascoup, B., Aboura, Z., Khellil, K., Benzeggagh, M., 2006. On the Mechanical Effect of Stitch Addition in Sandwich Panel. *Composites Science and Technology*, 66, 1385-1398.
- Mader, E., Freitag, K., 1990. Interface Properties and their Influence on Short Fibre Composites. *Composites*, 21 (5), 397-402.
- Meo, M., Vignjevic, R., Marengo, G., 2005. The Response of Honeycomb Sandwich Panels Under Low-Velocity Impact Loading. *International Journal of Mechanical Sciences*, 47(9), 1301-1325.
- Nagasankar, P., Prabu, S. B., Velmurugan, R., 2015. Role of Different Fiber Orientations and Thicknesses of the Skins and the Core on the Transverse Shear Damping of Polypropylene Honeycomb Sandwich Structures. *Mechanics of Materials*, 91, 252-261.
- Naik, N. K., Shembekar, P. S., 1992a. Elastic Behavior of Woven Fabric Composites: II – Laminate Analysis. *Journal of Composite Materials*, 26, 2226-2235.
- Naik, N.K., Shembekar, P.S., 1992b. Elastic Behavior of Woven Fabric Composites: I- Lamina Analysis. *Journal of Composite Materials*, 26, 2196-2225.
- Namiranian, R., Najar, S.S., Etrati, S.M., Manich, A.M., 2014. Seam Slippage and Seam Strength Behavior of Elastic Woven Fabrics under Static Loading. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, 39, 221-229.
- Ratwani, M. M., 2010. Composite Materials and Sandwich Structures- A Primer, *Rto-En-Avt*. 156, 1-16.
- Schafer, J., Stolyarov, O., Ali, R., Greb, C, Seide, G., Gries, T. 2015., Process–Structure Relationship of Carbon/Polyphenylene Sulfide Commingled Hybrid Yarns used for Thermoplastic Composites. *Journal of Industrial Textiles*, 45 (6), 1661-1673.
- Schubel, P. J., Crossley, R. J., 2012. Wind Turbine Blade Design. *Energies*, 5, 3245-3449.
- Seo, Y., Kim, J., Kim, K. U., Kim, Y. C., 2000. Study of the Crystallization Behaviors of Polypropylene and Maleic Anhydride Grafted Polypropylene. *Polymer*, 41, 2639-2646.
- Shahdin, A., Mezeix, L., Bouvet, C., Morliera, J., Gourinat, Y., 2009. Fabrication and Mechanical Testing of Glass Fiber Entangled Sandwich Beams: A Comparison with Honeycomb and Foam Sandwich Beams. *Composite Structures*, 90(4), 404-412.
- Shi, S. S., Sun, Z., Hua, X. Z., Chen, H. R., 2014. Carbon-Fiber and Aluminum-Honeycomb Sandwich Composites with and without Kevlar-Fiber Interfacial Toughening. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 67, Pages 102-110.

- Sorrentino, L., Simeoli, G., Iannace, S., Russo, P., 2015. Mechanical Performance Optimization Through Interface Strength Gradation in PP/Glass Fibre Reinforced Composites. *Composites Part B: Engineering*, 76, 201-208.
- Tan, C.Y., Akil, H.M., 2012. Impact Response of Fiber Metal Laminate Sandwich Composite Structure With Polypropylene Honeycomb Core. *Composites Part B: Engineering*, 43(3), 1433-1438.
- Thomason, J.L., 2002. Micromechanical Parameters from Macromechanical Measurements on Glass Reinforced Polypropylene. *Composites Science and Technology*, 62, 1455-1468.
- Thomason, J.L., 2007. The Influence of Fibre Length and Concentration on the Properties of Glass Fibre Reinforced Polypropylene. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 38, 210-216.
- Ullah, H., Harland, A. R., Silberschmidt, V. V., 2015. Characterisation of Mechanical Behaviour and Damage Analysis of 2D Woven Composites under Bending. *Composites Part B: Engineering*, 75 (15), 156-166.
- URL-1, Enerji Atlası, Rüzgar Enerji Santralleri, <http://www.enerjiatlası.com/ruzgar/>. 20.01.2018.
- URL-2, Wind Power, On Reflection: Designing Within The Environmental Envelope, <https://www.windpowermonthly.com/article/1305166/reflection-designing-within-environmental-envelope>, 25.04.2019.
- URL-3, DIAB Knowledge Series, Sandwich composites and core materials, [www.diabgroup.com/.../DIA0151CoreGuide82pagesEN30Nov2012Mar](http://www.diabgroup.com/.../DIA0151CoreGuide82pagesEN30Nov2012Mar), 22.03.2019.
- URL-4 <http://muhendislik.istanbul.edu.tr/metalurji/wp-content/uploads/2013/09/k09.ppt>, 09.09.2018.
- URL-5: Stack, R.M., Lai, F., 2016. Development in Thermoforming Thermoplastic Composites”, SPE Thermoforming Division Web Site. [http://thermoformingdivision.com/wp-content/uploads/Development-in-Thermoforming-Thermoplastic-Composites\\_FINAL.pdf](http://thermoformingdivision.com/wp-content/uploads/Development-in-Thermoforming-Thermoplastic-Composites_FINAL.pdf), 09.09.2018.
- Uysal, A., 2008. Rüzgâr Türbini Kanat Malzemelerinin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Vina, J., Arguelles, A., Canteli, A. F., 2011. Influence of temperature on the fatigue behavior of glass fibre reinforced polypropylene. *Strain*, 47, 222-226.
- Weimer, C., Mitschang, P., 2001. Aspects of the Stitch Formation Process on the Quality of Sewn Multi-Textile-Preforms. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 32, 1477-1484.
- Whitcomb, J. D., 1991. Three Dimensional Stress Analysis of Plain Weave Composites, *Composite Materials: Fatigue and Fracture (Third Volume)*, ASTM STP 1110, *American Society for Testing and Materials*, Philadelphia, 417-439.
- Whitcomb, J. D., Tang, X., 1999. Effect of Tow Architecture on Stresses in Woven Composites, 40th Structural Dynamics and Materials Conference and Exhibit, AIAA-99-1479.
- Whitcomb, J. D., Tang, X., 2001. Effective moduli of woven composite. *Journal of Composite Materials*, 35 (23), 2127-2144.

- Whitcomb, J., Srirengan, K., 1996. Effect of Various Approximations on Predicted Progressive Failure in Plain Weave Composites. *Composite Structures*, 34, 13-20.
- Xu, G., Yang, F., Zeng, T., Cheng, S., Wang, Z., 2016. Bending Behavior of Graded Corrugated Truss Core Composite Sandwich Beams. *Composite Structures*, 138, 342-351.
- Yang, B., Wang, Z., Zhou, L., Zhang, J., Tong, L., Liang, W., 2015. Study on the Low-Velocity Impact Response and CAI Behavior of Foam-Filled Sandwich Panels with Hybrid Facesheet. *Composite Structures*, 132, 1129-1140.



## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Adı, soyadı : Neslihan HAYTA  
Uyruğu : T.C.  
Doğum tarihi ve yeri : 31.08.1982 Kahramanmaraş  
Medeni hali : Bekâr  
Telefon : 0 (507) 466 34 43  
e-posta : [neslihan464646@gmail.com](mailto:neslihan464646@gmail.com)

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	KSÜ /Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı	Halen
Lisans	KSÜ/ Tekstil Mühendisliği Bölümü	2016
Ön Lisans	KSÜ/ Tekstil	2004
Lise	Atatürk Kız Lisesi	1999

### Yabancı Dil

İngilizce

### Yayınlar

1. Hayta Neslihan, Kaya Gaye (2019). Investigation of the Seam Strength Properties of Composite Laminates for Sandwich Core Applications. EJONS VI- International Conference on Mathematics- Engineering- Natural Medical Sciences (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum).
2. Kaya Gaye, Hayta Neslihan (2018). Mechanical and Impact Properties of Packaging Waste/EGlass/Epoxy Sandwich Composites for Construction Applications. 8th International Istanbul Conference on Evolution Technical Textile (ETT2018) (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum).
3. Gaye Kaya, Neslihan Hayta, Arzu Atıcı, Burak Öztaş, Cemal Mert Kazancı, Rıdvan Biçer, Osman Yayla, Muhammet Tunç, Ambalaj Atıklarından Yüksek Performanslı Dokuma Kumaş Takviyeli Balistik Koruyucu Kompozit Üretimi, KSÜ Müh. Mim. Fak. 7. Ar-Ge Proje Pazarı, 22-23 Mayıs 2017, Kahramanmaraş.
4. Pınar Çam, Neslihan Hayta, Erdem Selver, Gaye Kaya, Darbe Dayanımı Yüksek Sandviç Kompozit Malzeme Tasarımı, KSÜ Müh. Mim. Fak. 7. Ar-Ge Proje Pazarı, 14-15 Mayıs 2018, Kahramanmaraş.