

T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ÖZGÜN PETEK YAPILI SANDVIÇ KOMPOZİT PANELİN
ÜRETİMİ VE DÜŞÜK HIZLI DARBE DAVRANIŞININ
İNCELENMESİ

Hazırlayan
Kadir DANACIOĞLU

DANIŞMAN
Doç.Dr. Fehmi NAİR

Yüksek Lisans Tezi

EKİM 2013
KAYSERİ

T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ÖZGÜN PETEK YAPILI SANDVIÇ KOMPOZİT PANELİN
ÜRETİMİ VE DÜŞÜK HIZLI DARBE DAVRANIŞININ
İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Hazırlayan
Kadir DANACIOĞLU

Danışman
Doç. Dr. Fehmi NAİR

EKİM 2013
KAYSERİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Kadir DANACIOĞLU

YÖNERGEYE UYGUNLUK

“Özgün Petek Yapılı Sandviç Kompozit Panelin Üretimi ve Düşük Hızlı Darbe Davranışının İncelenmesi” adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ne uygun olarak hazırlanmıştır.



Tezi Hazırlayan

Kadir DANACIOĞLU



Danışman

Doç. Dr. Fehmi NAİR



Anabilim Dalı Başkanı

Prof. Dr. İbrahim UZMAY

ONAY SAYFASI

Doç. Dr. Fehmi NAİR danışmanlığında **Kadir DANACIOĞLU** tarafından hazırlanan “**Özgün Petek Yapılı Sandviç Kompozit Panelin Üretimi ve Düşük Hızlı Darbe Davranışının İncelenmesi**” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği** Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

25.09.2013

JÜRİ:

Başkan: Prof. Dr. M. Baki KARAMIŞ

Üye : Doç. Dr. Fehmi NAİR

Üye : Doç. Dr. Recep GÜNEŞ

**ONAY:**

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulunun 05/11/2013 tarih ve 2013/48-04 sayılı kararı ile onaylanmıştır.



Prof. Dr. Kâzım KEŞLİOĞLU
Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

“Özgün Petek Yapılı Sandviç Kompozit Panelin Üretimi ve Düşük Hızlı Darbe Davranışının İncelenmesi” konulu tez çalışmamın seçiminden sonuçlandırılmasına kadar geçen sürede benden emeğini, kıymetli zamanını ve güleryüzünü eksik etmeyen bana her zaman cesaret veren saygıdeğer hocam Doç. Dr. Fehmi NAİR ‘e, darbe deneylerinin yapılmasında mekanik laboratuvarının imkanlarını sağlayan ve deney sonuçlarının değerlendirilmesinde yardımcı olan başta Doç. Dr. Recep GÜNEŞ ve Öğr. Gör. Murat AYDIN’a teşekkür ederim.

Ayrıca, çalışmalarım süresince desteğini esirgemeyen ve bana her zaman güvenen aileme teşekkür eder, saygı ve sevgilerimi sunarım.

Bu çalışmanın daha iyi ve ileri, yapıcı sağlam çalışmalara küçük bir katkı, büyük bir dürtü olmasını içtenlikle dilerim

Kadir DANACIOĞLU
Kayseri, Ekim 2013

“ÖZGÜN PETEK YAPILI SANDVIÇ KOMPOZİT PANELİN ÜRETİMİ VE DÜŞÜK HIZLI DARBE DAVRANIŞININ İNCELENMESİ”

Kadir DANACIOĞLU

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek lisans Tezi, Ekim 2013

Danışmanı: Doç.Dr. Fehmi NAİR

ÖZET

Tüm mühendislik malzemeleri çalıştırıldıkları ve kullanıldıkları ortamlara göre değişik yüklere maruz kalmaktadırlar. Devamlı gelişen teknoloji ve artan ihtiyaçlar doğrultusunda tek bir karakteristlikteki malzemeler mühendislik uygulamaları için yeterli olmamaktadır. Farklı malzemelerin mekanik olarak birleştirilmesiyle elde edilen kompozit malzemeler imalat endüstrisinde çoğu uygulamada metallerin yerini almıştır.

Kompozit malzemeler en az iki farklı malzemenin 3 boyutlu olarak birleştirilmesiyle elde edilirler ve amaçlanan doğrultuda kullanılmak üzere üretilirler. Yüksek sıcaklık, korozyon dayanımı, hafiflik gibi özelliklerinden dolayı geniş kullanım alanlarına sahiptirler.

Yapılan bu çalışmada içi boş alüminyum Ø8, Ø10 ve Ø12 mm çaplarında ki borulardan 6 cm uzunluğunda parçalar kesilmiştir. Kesilen parçaların yüzey temizliği yapıldıktan sonra çift bileşenli metal-metal yapıştırıcı ile birleştirilmiştir. Birleştirilen borular 10 mm kalınlığında kesildikten sonra 1 mm alüminyum yüzey örtüsü ile yine çift bileşenli metal-metal yapıştırıcı ile alt ve üst yüzeyleri kapatılmıştır.

Elde edilen 10 mm kalınlığında alt ve üst yüzey örtülü kompozit malzeme düşük hızlı darbe deneylerine tabi tutulmuştur. Her bir çapta numuneler 2m/s, 3m/s ve 5m/s vurucu hızlarında yüklemelere maruz bırakılmış ve elde edilen temas kuvveti-zaman, kinetik enerji-zaman, deplasman-zaman, temas kuvveti-deplasman grafikleri irdelenmiş ve malzeme hasarları ile kıyaslanmıştır.

Grafikler ve hasar analizlerini incelediğimizde farklı çaplardaki boruların darbelere karşı farklı mukavemet özellikleri gösterdiği, boru çapındaki artışla beraber yüzey ve malzeme hasarının arttığı, aynı vurucu hızlarında; küçük boru çaplarında imal edilen sandviç kompozitlerin darbe dayanımının geniş boru çaplarında imal edilen sandviç kompozitlere kıyasla rijitliğinin daha yüksek olduğu ve darbeyi daha çok absorbe ederek hasarın daha az oluştuğu grafiklerle ve darbe deneyi sonucu elde edilen malzeme hasarları incelenerek kanıtlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kompozitler, sandviç kompozit, darbe testi, petek yapıli kompozitler

**THE PRODUCTION OF AN ORIGINAL HONEYCOMB SANDWICH
COMPOSITE PANEL AND INVESTIGATION OF LOW-SPEED IMPACT
BEHAVIOR**

Kadir DANACIOĞLU

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M. Sc. Thesis October 2013

Supervisor: Assoc. Prof. Dr Fehmi Nair

ABSTRACT

All engineering materials, according to the environments that are used and worked, have been subjected to different loads. In line with the increasing demands and continuously improving technology, materials which have a single characteristic features are not sufficient to engineering applications. Composite materials obtained with mechanically combination of different materials have replaced metals in many applications in manufacturing industry.

Composite materials are obtained by combining at least two different materials in 3D and produced for use in the intended direction. Due to the properties such as high-temperature, corrosion resistance, lightness has a broad range of application.

In this study, Ø 8, Ø 10 and Ø 12 mm diameters hollow aluminium pipes were cut into 6cm long pieces. After cleaning the surface of cut pieces, they were combined with bicomponent metal-metal adhesive. Cut in thickness of 10 mm, the upper and lower surfaces of combined pipes were closed with 1mm aluminium surface cover and bicomponent metal-metal adhesive.

The resulting 10 mm thick upper and lower surface coated composite material was subjected to high-velocity impact test. In each diameter, samples were exposed to 2m/s, 3m/s and 5m/s strike speed downloads and the resulting contact force-time, kinetic energy-time, displacement-time, contact force-displacement graphics were scrutinized and compared with material damage.

When we examine the graphics and damage analysis, pipes of different diameters showed a different strength properties against shocks, together with increase in pipe diameter surface and material damage is also increased at the same strike speeds; the toughness of sandwich composites made of small diameter pipes, compared to sandwich composites made of large diameter pipes, is high and absorbing the impact more less damage occurs has been proven by graphics and material damage resulting in impact test.

Key Words: Composites, sandwich composite, impact test, honeycomb composites

İÇİNDEKİLER

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK	i
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	ii
ONAY SAYFASI	iii
TEŞEKKÜR	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	xii
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM

KOMPOZİT MALZEMELERİ

1.1. Giriş.....	1
1.2. Kompozit malzemelerin avantajları ve dezavantajları.....	1
1.3. Modern kompozit malzemeler ve sınıflandırılması.....	4
1.3.1. Elyaf takviyeli kompozit malzemeler	5
1.3.1.1. Sürekli elyaf takviyeli kompozit malzemeler	6
1.3.1.2. Kısa elyaf takviyeli kompozit malzemeler	7
1.3.1.3.Rastgele düzlemsel yönlendirilmiş kompozitler.....	7
1.3.2. Parçacıklarla takviyeli kompozitler	8
1.3.3. Tabakalı kompozitler	8

2. BÖLÜM

PETEKLİ YAPILI KOMPOZİTLER

2.1. Petek yapılı kompozitler.....	11
2.1.1. Giriş	11
2.1.2. Petek yapı elemanları.....	13
2.1.2.1. Yüzey levha malzemeleri.....	14

2.1.2.2. Çekirdek malzemeleri.....	14
2.1.2.3. Yapıştırıcılar.....	15
2.1.3. Sandviç yapı dizaynında uygun malzeme seçimi	16
2.1.3.1 Yapısal etmenler	16
2.1.3.1.1 Dayanım	16
2.1.3.1.2 Rijitlik	16
2.1.3.1.3 Yapıştırma bağlantı performansı	16
2.1.3.1.4 Ekonomik etmenler.....	17
2.1.3.2 Çevresel etmenler	17
2.1.3.2.1 Sıcaklık.....	17
2.1.3.2.2 Yanıcılık özellikleri	17
2.1.3.2.3 Yapıştırma solisyonları ve buharlaşma	17
2.2. Balpeteği yapılarındaki birim hücre ve bağıl yoğunluk ilişkisi	18
2.3. Geleneksel petekli yapı kompozitlerin üretim yöntemleri.....	22
2.3.1. Uzatarak şekil verme yöntemi	22
2.3.2. Kıvrırma yöntemi	23
2.3.3. Hücre karakteristikleri.....	24
2.4. Petek Yapılı kompozit panel üretim yöntemleri	27
2.4.1. Sıcak presleme yöntemi	28
2.4.2. Vakum torbasında üretim	28
2.4.3. Uygun kalıpta üretim	29
2.5. Balpeteği kompozitlerde hasar oluşum türleri.....	30
2.5.1. Dayanç	30
2.5.2. Rijitlik.....	30
2.5.3. Panel burkulması	31
2.5.4. Kesme kıvrırması.....	31
2.5.5. Yüzey ezilmesi.....	32
2.5.6. Hücreler arası kıvrırılma	32
2.5.7. Bölgesel basınç	33
2.6. Petek yapılı sandviç kompozitlerin mekanik davranışı üzerine yapılan çalışmalar	33

3. BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal.....	37
3.2. Alüminyum boru profiller	37
3.3. Yapıştırıcı özellikleri	39
3.4. Düşük hızlı çarpma test cihazı.....	42

4. BÖLÜM

DENEYSEL BULGULAR

4.1. Birim hücre çapındaki değişikliğin darbe davranışına etkisi.....	44
4.2. Vurucu hızının darbe dayanımına etkisi	52
4.3. Yapının desteklenip desteklenmemesine bağlı olarak deformasyon davranışı.....	55

5. BÖLÜM

TARTIŞMA –SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar ve değerlendirme	59
5.2. Öneriler.....	60
KAYNAKLAR	61
ÖZGEÇMİŞ.....	64

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması	4
Şekil 1.2. Elyaf takviyeli kompozitler a) tek yönlü ve sürekli elyaflar, b) kesikli elyaflar, c) ortogonal elyaflar, d) parçacık şekilli elyaflar, e) rastgele düzlemsel yönlendirilmiş elyaflar	6
Şekil 1.3. Dayanımı artırılmış kompozitler a) parçacıkla, b) dispersiyonla.....	8
Şekil 1.4. Tabakalı kompozitler a) izotropik, b) ortotropik	9
Şekil 2.1. Sandviç yapı.....	11
Şekil 2.2. Petek yapıli kompozit levha ve hücre boyutları	12
Şekil 2.3. Bal peteği kompozitler	13
Şekil 2.4. Çekirdek malzeme tipleri a) sürekli, b) bal peteği, c) oluklu	15
Şekil 2.5. Birim hücre çekirdek yapıları.....	19
Şekil 2.6. Birim hücre çekirdek yapıları.....	19
Şekil 2.7. Petekli yapılardaki birim hücre ve bağıl yoğunluk ilişkisi.....	20
Şekil 2.8. Birim hücre çekirdek yapıları.....	21
Şekil 2.9. Birim hücre çekirdek yapıları.....	21
Şekil 2.10. Örgü kafesli yapılarda birim hücre ve bağıl yoğunluk ilişkisi	22
Şekil 2.11. Uzatarak şekil verme yöntemi ile petek hücre üretimi	23
Şekil 2.12. Kıvrırma yöntemi ile petekli yapı hücre üretimi.....	24
Şekil 2.13. Özel işlem yapılmış petek yapıli paneller	24
Şekil 2.14. Petekli yapı hücre türleri (Bitzer,1980;Hexcel,2000).....	26
Şekil 2.15. Isıtılmış basınç altında üretilmiş metal tabaka, metal petek hücre (alüminyum) den oluşan balpeteği kompozit malzeme	27
Şekil 2.16. Isıtılmış basınç altında üretilmiş metal olmayan tabaka (prepreg) ve metal olmayan petek hücre (kevlar) den oluşan balpeteği kompozit malzeme	27
Şekil 2.17. Isıtılmış basınç altında üretim tekniği (Hexcell, 2003).....	28
Şekil 2.18. Basit vakum torbası usulü ve üretilen malzeme (Hexcell, 2003)	29
Şekil 2.19. Uygun kalıpta üretim usulü ve üretilen malzeme (Hexcell, 2003)	29
Şekil 2.20. Dayanç hatası	30

Şekil 2.21. Balpeteği kompozitlerinin rijitliği	30
Şekil 2.22. Balpeteği kompozitin burkulması	31
Şekil 2.23. Balpeteği kompozitte kesme kıvrımlarının oluşumu	31
Şekil 2.24. Yüzey ezilmesi modeli.....	32
Şekil 2.25. Hücreler arası kıvrılma	32
Şekil 2.26. Bölgesel basınçla oluşabilecek hata modeli.....	33
Şekil 3.1. Öngörülen boru profil şekli.....	37
Şekil 3.2. Kalıp tasarımı ve imalatı tamamlanan alüminyum kalıp.....	38
Şekil 3.3. Kullanılan çift kompozitli yapıştırıcı, karıştırıcı uç tertibatı	39
Şekil 3.4. Alüminyum boruların kalıba yerleştirilmesi teorik.....	40
Şekil 3.5. Alüminyum borulara kalıpta yapıştırıcı uygulanması.....	40
Şekil 3.6. Alüminyum boruların kurumaya bırakılması.....	40
Şekil 3.7. Alüminyum boruların kalıptan çıkmış hali ve kurumaya bırakılması	41
Şekil 3.8. Alüminyum boruların 10mm kalınlıkta kesme ve yüzey temizliği işlemi.....	41
Şekil 3.9. Alüminyum boruların 10mm kalınlıkta kesilmiş hali ve önden görünüşü.....	41
Şekil 3.10. Elde edilen sandviç kompozit ve kesiti.....	42
Şekil 3.11. CEAST marka çarpma test cihazı	43
Şekil 4.1. Ø8, Ø10, Ø12 mm çaplarında destekli (d) ve desteksiz çalışılan numunelerin aynı vurucu hızlarında karşılaştırmalı temas kuvveti-deplasman grafikleri.....	46
Şekil 4.2. Ø8, Ø10, Ø12 mm çaplarında destekli (d) ve desteksiz çalışılan numunelerin üzerinde oluşan vurucu izleri	47
Şekil 4.3. Ø8, Ø10, Ø12 mm çaplarında destekli (d) ve desteksiz çalışılan numunelerin aynı vurucu hızlarında karşılaştırmalı kinetik enerji-zaman grafikleri	48
Şekil 4.4. Ø8, Ø10 ve Ø12 mm çapında birim hücreli sadviç kompozitin desteksiz olarak 2m/sn hızında vurucu ile darbe testi sonrası numunenin kesiti.....	59
Şekil 4.5. Ø8, Ø10 ve Ø12 mm çapında birim hücreli sadviç kompozitin desteksiz olarak 3m/sn hızında vurucu ile darbe testi sonrası numunenin kesiti.....	59
Şekil 4.6. Ø8, Ø10, Ø12 mm çaplarında destekli (d) ve desteksiz çalışılan numunelerin temas kuvveti-zaman grafikleri.....	50

Şekil 4.7. Ø8, Ø10, Ø12 mm çaplarında destekli (d) ve desteksiz çalışılan numunelerin aynı vurucu hızlarında karşılaştırmalı temas kuvveti-zaman grafikleri	51
Şekil 4.8. Ø8, Ø10 ve Ø12 mm çapında birim hücreli sadviç kompozitin desteksiz olarak 5m/s hızında vurucu ile darbe testi sonrası numunenin kesiti.....	52
Şekil 4.9. Ø8, Ø10, Ø12 mm çaplarında destekli (d) ve desteksiz çalışılan numunelerin kinetik enerji-zaman grafikleri.....	53
Şekil 4.10. Ø8, Ø10, Ø12 mm çaplarında destekli (d) ve desteksiz çalışılan numunelerin temas kuvveti-deplasman grafikleri	54
Şekil 4.11. Ø8, Ø10 ve Ø12 mm çapında birim hücreli sadviç kompozitin destekli olarak 2m/sn hızında vurucu ile darbe testi sonrası numunenin kesiti.....	56
Şekil 4.12. Ø8, Ø10 ve Ø12 mm çapında birim hücreli sadviç kompozitin destekli (d) olarak 3m/sn hızında vurucu ile darbe testi sonrası numunenin kesiti	56
Şekil 4.13. Ø8, Ø10 ve Ø12 mm çapında birim hücreli sadviç kompozitin destekli olarak 5m/sn hızında vurucu ile darbe testi sonrası numunenin kesiti.....	57
Şekil 4.14. Ø8 mm çapında birim hücreli sandviç kompozitin desteksiz olarak 2,3 ve 5m/sn vurucu hızlarında deneyden sonra alt ve üst yüzey örtüsünün hasar durumu	57
Şekil 4.15. Ø8 mm çapında birim hücreli sandviç kompozitin destekli olarak 2,3 ve 5m/sn vurucu hızlarında deneyden sonra alt ve üst yüzey örtüsünün hasar durumu	58

GİRİŞ

İlerleyen teknoloji ve artan ihtiyaçları karşılamak, yeni teknolojilerle birlikte açığa çıkan malzeme ihtiyacına cevap verebilmek ve istenen özelliklerde malzeme temini için, günümüzde uzay teknolojilerinden, otomotiv sektörüne küçük ev aletlerinden inşaat uygulamalarına ve gemi yapımına kadar pek çok alanda kompozit malzemelerin kullanımı hızla artmaktadır. Son yıllarda kompozit malzemelerin üretimi çeşitlilik kazanmış, ihtiyaçları karşılamak için kompozit malzeme esasına dayanan farklı metaryaller kullanılarak farklı ihtiyaçlara hitap eden yeni kompozit malzemeler piyasada hızla yerini almıştır.

Kompozit malzeme; birbiri içerisinde çözölemeyen farklı iki veya daha fazla malzemenin birbirine tutunmasını sağlayacak mekanik bir etki veya kimsayal özellikli bir yapıştırıcı ile bir bütün oluşturarak kullanım özelliği ve mekanik özellikleri daha iyi tek bir malzeme oluşturması esasına dayanmaktadır. Kompozit malzemeler genel itibariyle hafiflikleriyle ön plana çıkarlar, hafiflik haricinde ısıya karşı dayanım, titreşim söndürme, yüksek mukavemet, kolay şekillendirilebilme, elektriksel özellikler gibi yüksek kabiliyetlere sahiptirler.

Mühendislik uygulamalarında gün geçtikçe kullanım alanı artan ve büyük bir sektör haline gelen kompozit malzemelerin gelişmesine katkıda bulunmak için bu tez çalışması kapsamında özgün hücre yapısına sahip sandviç sistem kompozit malzeme üretilerek mekanik özellikleri değerlendirilmiş ve darbeli yükleme etkisi altındaki davranışı incelenmiştir.

1. BÖLÜM

KOMPOZİT MALZEMELER

1.1. Giriş

Kompozit malzeme, belirli bir amaca yönelik olarak, en az iki farklı malzemenin bir araya getirilmesiyle meydana gelen malzeme gurubudur. Üç boyutlu nitelikteki bu bir araya getirmede amaç, bileşenlerin hiç birinde tek başına mevcut olmayan bir özelliğin elde edilmesidir. Diğer bir deyişle, amaçlanan doğrultuda bileşenlerinden daha üstün özelliklere sahip bir malzeme üretilmesi hedeflenmektedir.

Kompozit malzemede genelde üç koşul aranmaktadır:

- Kimyasal bileşimleri birbirinden farklı belirli ara yüzeylerle ayrılmış en az iki malzemenin bir araya getirilmiş olması,
- Farklı malzemenin üç boyutlu olarak bir araya getirilmiş olması,
- Bileşenlerin hiç birinin tek başına sahip olmadığı özellikleri taşıması.

Buna göre malzeme, mikroskobik açıdan heterojen bir malzeme özelliği göstermekte, ancak makroskobik açıdan homojen bir malzeme gibi davranmaktadır.

1.2. Kompozit malzemelerin avantajları ve dezavantajları

Kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin metallerinkine göre farklılıklar göstermesinden dolayı, metal malzemelere kıyasla son zamanlarda önem kazanmışlardır. Kompozitlerin özgül ağırlıklarının düşük oluşu hafif konstrüksiyonlarda kullanımda büyük bir avantaj sağlamaktadır. Bunun yanında, fiber takviyeli kompozit

malzemelerin korozyona dayanımları, ısı, ses ve elektrik izolasyonu sağlamaları da ilgili kullanım alanları için bir üstünlük sağlamaktadır.

1. Yüksek mukavemet

Kompozitlerin çekme ve eğilme mukavemeti birçok metalik malzemeye göre çok daha yüksektir. Ayrıca kalıplama özelliklerinden dolayı kompozitlere istenen yönde ve bölgede gerekli mukavemet verilebilir. Böylece malzemedan tasarruf yapılarak, daha hafif ve ucuz ürünler elde edilir.

2. Kolay şekillendirebilme

Büyük ve kompleks parçalar tek işleme bir parça halinde kalıplanabilir. Bu da malzeme ve işçilikten kazanç sağlar. Kolay şekillendirilebilme özellikleri sayesinde maliyetler düşmekte ve kompozit malzemeler uzay mekikleri, savaş uçakları gibi zor imalat süreçleri gerektiren teknolojik aletlerde kullanımları artmaktadır.

3. Elektriksel özellikler

Uygun malzemelerin seçilmesiyle çok üstün elektriksel özelliklere sahip kompozit ürünler elde edilebilir. Bugün büyük enerji nakil hatlarında kompozitler iyi bir iletken ve gerektiğinde de başka bir yapıda, iyi bir yalıtkan malzemesi olarak kullanılabilirler.

4. Korozyona ve kimyasal etkilere karşı mukavemet

Kompozitler, hava etkilerinden, korozyondan ve çoğu kimyasal etkilerden zarar görmezler. Bu özellikleri nedeniyle kompozit malzemeler kimyevi madde tankları, boru ve aspiratörler, tekne ve diğer deniz araçları yapımında güvenle kullanılmaktadır. Özellikle korozyona karşı mukavemetli olması, endüstride birçok alanda avantaj sağlamaktadır. Kompozit malzemeler bu özellikleri sayesinde uzun yıllar boyunca hasar görmeden ve işlevlerini kaybetmeden kullanılabilirler.

5. Isıya ve ateşe dayanıklılığı

Isı iletim katsayısı düşük malzemelerden oluşabilen kompozitlerin ısıya dayanıklılık özelliği, yüksek ısı altında kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır. Bazı özel katkı maddeleri ile kompozitlerin ısıya dayanımı artırılabilir.

6. Kalıcı renklendirme

Kompozit malzemeye, kalıplama esnasında reçineye ilave edilen pigmentler sayesinde istenen renk verilebilir. Bu işlem ek bir masraf ve işçilik gerektirmez.

7. Titreşim sönümlendirme

Kompozit malzemelerde süneklik nedeniyle doğal bir titreşim sönümlenme ve şok yutabilme özelliği vardır. Çatlak yürümesi olayı da böylece minimize edilmiş olmaktadır.

Bütün bu olumlu yanların dışında kompozit malzemelerin uygun olmayan yanları da şu şekilde sıralanabilir:

1. Kompozit malzemelerdeki hava zerrecikleri malzemenin yorulma özelliklerini olumsuz etkilemektedir.
2. Kompozit malzemeler değişik doğrultularda değişik mekanik özellikler gösterirler.
3. Aynı kompozit malzeme için çekme, basma, kesme ve eğilme mukavemet değerleri farklılıklar gösterir.
4. Kompozit malzemelerin delik delme, kesme türü operasyonları liflerde açılmaya neden olduğundan, bu tür malzemelerde hassas imalattan söz edilemez.
5. Malzemenin kalitesi üretim yönteminin kalitesine bağlıdır.
6. Uzman personel gerekmektedir.
7. Kompozitler onarılmaları diğer malzeme türlerine göre daha zordur ve onarıldıktan sonra tekrar kullanılmaları yeni problemler yaratabilir.
8. En genel biçimiyle malzeme heterojen ve anizotropdur. Kompozit malzemeyi oluşturan bileşenler olumlu ya da olumsuz özelliklerini ana malzemeye yansıtır.

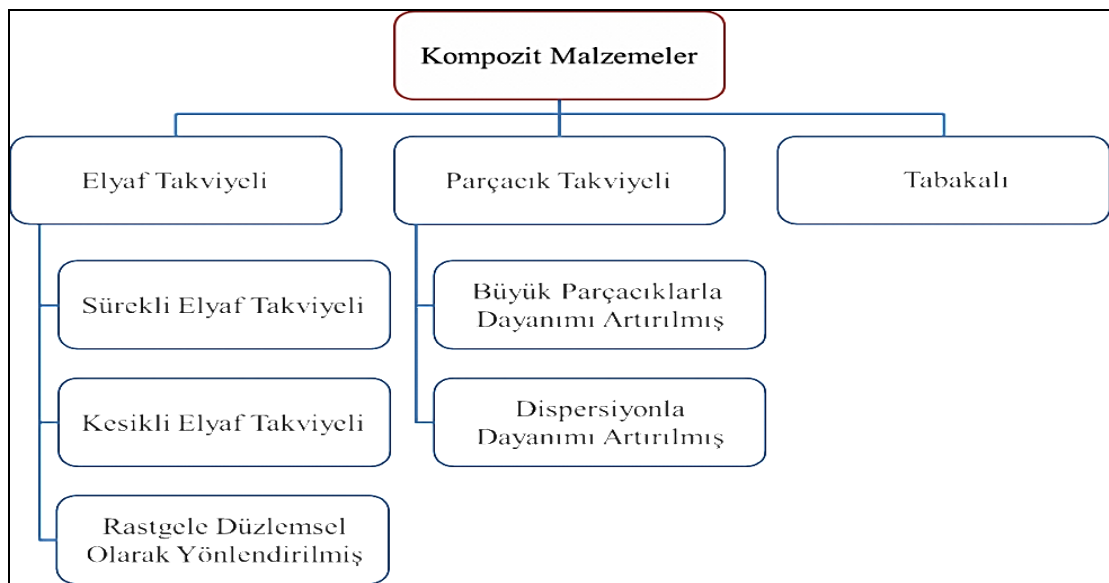
Örnek olarak bileşenlerden matris ısı ve neme karşı duyarlı ise kompozit malzeme de ısı ve neme karşı duyarlıdır.

9. Hammaddesi pahalı olmasına karşın, bağlantı elemanlarındaki azalış, ağırlık azalması gibi etkenler gözönüne alındığında toplam maliyette düşüş gözlenecektir. Çağdaş bir konu olan geri dönüşüm veya yeniden kazanım; kompozitler için olası ancak pahalı bir yöntemdir. Çevrede kendi kendine yok olmamasından dolayı, özellikle plastik matrisli karbon, cam vb. takviyeli kompozitlerde yeniden kazanım günümüzde pahalı bir yöntem olarak kendini göstermektedir. [5,6,11]

Görüldüğü gibi kompozit malzemeler, bazı dezavantajlarına rağmen çelik ve alüminyuma göre birçok avantaja sahiptir. Bu özellikleri ile kompozitler otomobil gövde ve tamponlarından deniz teknelerine, bina cephe ve panolarından komple banyo ünitelerine, ev eşyalarından tarım araçlarına kadar bir çok sanayi kolunda problemleri çözümlenecek bir malzemedir.

Kompozit malzemelerin dezavantajlı yanlarını ortadan kaldırmaya yönelik deneysel ve teorik çalışmalar devam etmektedir.

1.3. Modern kompozit malzemeler ve sınıflandırılması



Şekil 1.1. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması

Üç çeşit kompozit malzeme grubu bulunmaktadır. Bunlar takviye elemanlarına göre;

1. Elyaf takviyeli kompozit malzemeler,
2. Parçacık takviyeli kompozit malzemeler,
3. Tabakalı kompozit malzemeler.

Bu üç tip takviye elemanlı kompozit; yine plastik, metal veya seramik matris içinde olabilir. İkinci faz veya takviye elemanı her zaman net özellik sağlanması için matristen daha serttir. Burada elyaf takviyeli kompozitler de;

- a. Sürekli elyaf takviyeli kompozitler,
- b. Kesikli elyaf takviyeli kompozitler,
- c. Rastgele düzlemsel olarak yönlendirilmiş kompozitler olarak alt sınıflara ayrılabilir.

Parçacık takviyeli kompozitler de iki alt gruba ayrılabilir:

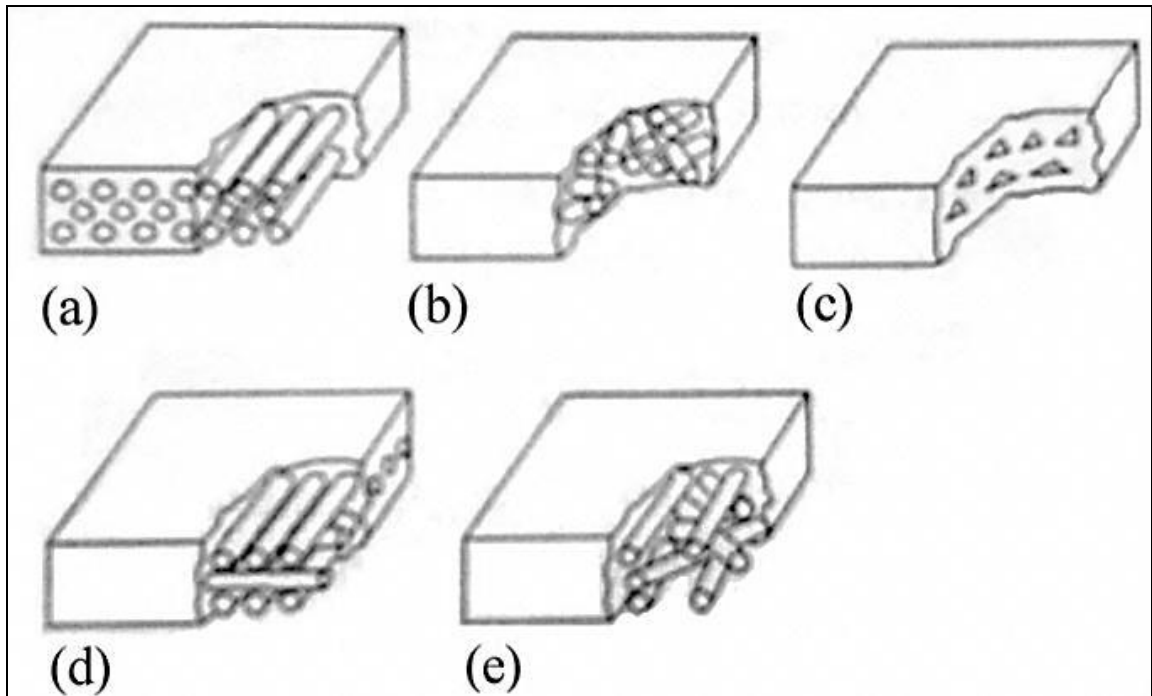
- a. Büyük parçacıklarla dayanımı artırılmış kompozitler,
- b. Dispersiyonla dayanımı artırılmış kompozitler

1.3.1. Elyaf takviyeli kompozit malzemeler

Elyaf takviyeli kompozitler; yumuşak ve sünek matris içine sert dayanıklı elastikliği yüksek elyaflar ilave edildiğinde çekme dayanımı, yorulma dayanımı, özgül modül ve özgül dayanım özellikleri iyileştirilir. Matris malzemesi kuvveti elyaflara transfer ederek yumuşaklık ve tokluk özelliği sağlarken elyaf uygulanan yükün çoğunu taşımaktadır. Çökeltmeyle sertliği artırılmış kompozitlerin aksine kompozitin dayanımı hem oda hem de yüksek sıcaklıklarda artırılır. Bu takviyeli kompozitlerde oldukça değişik takviye elemanı kullanılmaktadır. Elyaf lar örme veya fitil şeklinde olabilmekte beraber tabakalar halinde yönlü elyaflar da kullanılır.

1.3.1.1. Sürekli elyaf takviyeli kompozit malzemeler

Sürekli elyafları çok yönlü takviyelendirmek için çoklu filamentler halinde veya dokunmuş örgü halinde kalıp içerisine yerleştirilir. Ön ısıtmadan sonra metal veya alaşımı sıvı metal emdirme veya infiltrasyon metodu ile emdirilerek üretilmektedir. Bu işlem genellikle metal matrisli kompozitlere uygulanmaktadır. İlk üretilen sürekli elyaflar boron ve SiC olmasına rağmen daha sonra karbon, alümina esaslı elyaflar da uzun olarak üretilmektedir. Elyaf takviyeli kompozitin mikro-yapısal özelliği, elyafların uzun ve tek boyutlu olmasıdır. Bunlarda; elyaf, kuvvetleri taşıırken matris de kuvvetleri elyafa iletir. Genelde elyaf yönlendirildiği için mekanik özellikleri anizotropiktir. Sürekli elyaflar yönlendirilme özelliğinden dolayı diğer takviye elemanlarına göre daha üstün özelliklere sahiptirler. Kompozitin kullanıldığı yer ve üzerine gelen yüklemeye çekme, basma ve eğilme gerilmeleri için istenilen dayanıma ulaşılabilir.



Şekil 1.2. Elyaf takviyeli kompozitler a) tek yönlü ve sürekli elyaflar, b) kesikli elyaflar, c) ortogonal elyaflar, d) parçacık şekilli elyaflar, e) rastgele düzlemsel yönlendirilmiş elyaflar

1.3.1.2. Kısa elyaf takviyeli kompozit malzemeler

Kısa elyaf olarak adlandırılan elyaflar yaklaşık 3-5 µm çapında ve 0,5-6 mm uzunluğunda üretilirler. Bu elyafla takviyelendirilen kompozitler, takviye elemanının eriyik içinde malzeme ile birleştirilmesi için sıkıştırılmalı döküm yöntemi ile preformlara basınçlı olarak eriyik emdirilir. Eriyik içinde takviye elemanının hacim oranı, aslında sıvının viskozitesinin yükselmesi ile sınırlı kalmaktadır. Preform halindeki elyaflara sıvı metal emdirilirken hacim oranları önem arz ettiğinden elyaf oranı yaklaşık %33 civarında olup bu değer üzerine çıktığında istenilen özellikleri elde etmek zorlaşmaktadır.

Kısa elyaflı kompozitleri üretmek için en uygun olan metot sıkıştırılmalı döküm tekniğidir. Toz metalürjisi ve plazma püskürtmeli çökeltme metotları aracılığı ile kısa elyaflı kompozitler üretilmektedir. Toz metalürji metodunda mekanik kuvvetlerden dolayı elyaflar hasar görebilmekte iken plazma püskürtme metodunda ise şekil ve ölçü faktörlerinin sınırlı olması sebebiyle üretilen kompozitin özelliği düşük olabilmektedir. Ancak sürekli elyaflara göre kısa elyaflı kompozitlerde üretim işleminin hızlı ve maliyetinin düşük oluşu ve şekil verme yeteneğinin yüksek olması nedeni ile tercih edilirler.

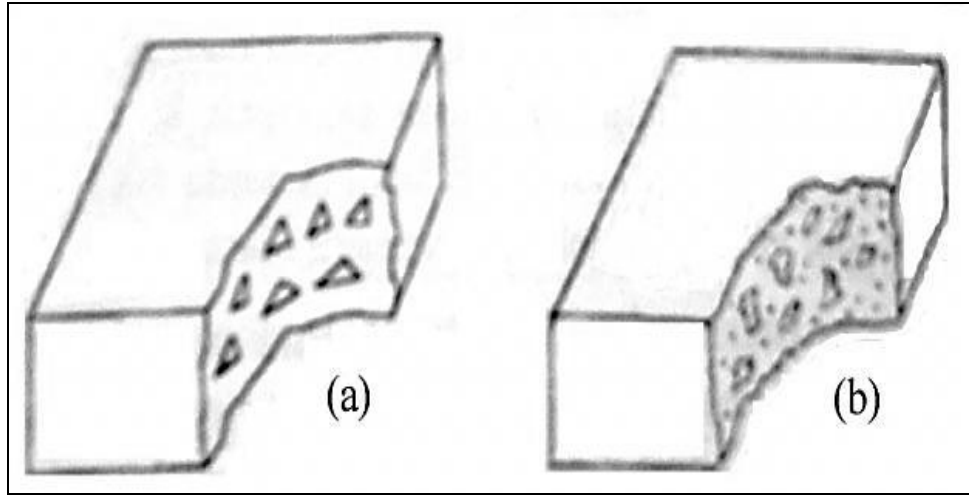
1.3.1.3. Rastgele düzlemsel yönlendirilmiş kompozitler

Bu kompozitler de kısa elyaflardan oluşur fakat elyaflar matris içinde rastgele iki boyutlu olarak yönlendirilmektedir. Bu tip yönlendirilmiş bazı kompozitler sodyum silisten oluşan orta sululukta bir bağlayıcı ile tutularak katı preform (ön biçim verilmiş şekil) haline getirilir. Bu işlemden sonra preslenir veya santrifüj sistemi ile iyice sıkıştırılıp kurutularak fırınlanır. Ön biçimlenmiş elyaflar genellikle gelişigüzel veya iki boyutlu yerleştirilerek yönlendirilir. Bu tür üretim yöntemlerinde preformların dar alanlar ve küçük oyuklar gibi belli kısımlara yerleştirilip emdirilmesine müsaade etmesi ile üretim maliyetini düşürür. Bundan dolayı bu sıvı metal emdirilme tekniği diğer tekniklerle karşılaştırıldığında daha cazip görünmektedir. Ancak yönlendirme açısı, yer değiştirme, akış alanına, işlem durumuna ve bunlarla birlikte elyafların boyuna, hacim

oranına ve kalıbın şekline bağlıdır. Elyafların kompozit içerisinde gelişigüzel yerleştirilmeleri ne kadar düzenli olursa elyaf hacim oranı o kadar artar. Kompozitin tüm yönlerindeki mekanik özellikleri elyafların yerleştirilmelerine bağlı olarak değişir. İşlem düzgün yapılırsa tüm yönlerde aynı mekanik özellikler elde edilebilir.

1.3.2. Parçacıklarla takviyeli kompozitler

Bu tip kompozitler; tek veya iki boyutlu makroskobik partiküllerin veya sıfır boyutlu olarak kabul edilen mikroskobik partiküllerin matris ile oluşturdukları malzemeler olup ortalama gömülen parçacık boyutu $1\mu\text{m}$ 'den büyük ve elyaf hacim oranı %25'den fazla kullanılmaktadır. En çok kullanılan parçacıklar ise Al_2O_3 ve SiC 'den oluşan seramiklerdir. Burada yük, elyaf ve matris tarafından birlikte taşınır ve özellikler yine izotropiktir. Bu kompozitler; dayanımı iyileştirmekten ziyade beklenilmeyen alışılmışın dışında birleştirilmiş özellikler elde etmek için tasarlanmaktadır. Bu kompozitler; metal, seramik ve polimerlerin birleştirilmesinden oluşabilirler. Sert metal uçlar ve beton örnek verilebilir.



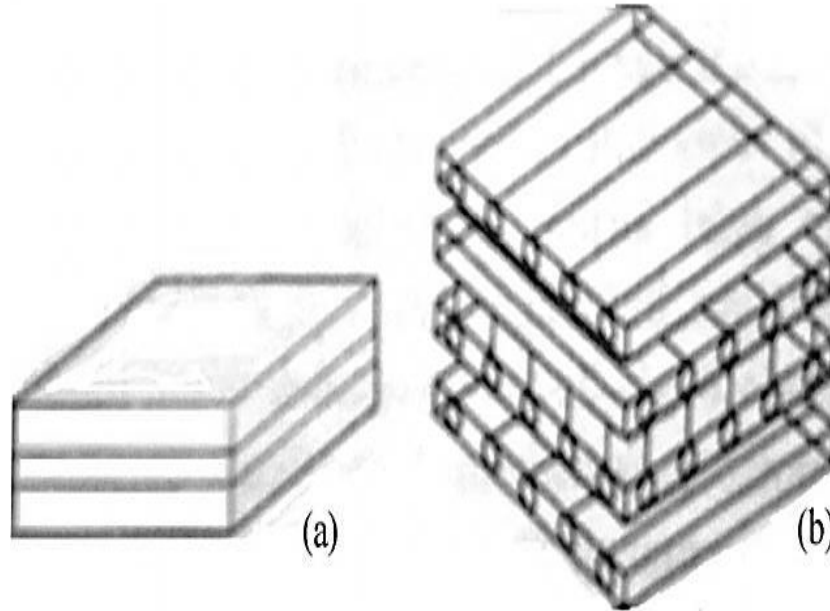
Şekil 1.3. Dayanımı Artırılmış Kompozitler a) parçacıklarla, b) dispersiyonla

1.3.3. Tabakalı kompozitler

Tabakalı kompozit, temel malzeme eksenleri doğrultusunda değişik yönlerdeki tabaka ve katmanların üst üste konularak bir araya getirilmesi ile tabakalı (laminat) kompozitlerin elde edilmesi mümkün olmaktadır. Laminetler, matris içerisine rastgele

yönlenmiş elyaflar, tek yönlü elyaflar veya farklı elyaf takviyeli tabakadan oluşabilir. Örneğin silindirik bir halka ilk önce halka eksenine paralel şekilde mil üzerine reçineye batırılmış elyaflarla helisel sarma metodu ile sonra belli bir açıda diğer bir elyaf demeti onu takip ederek gerekli kalınlık elde edilinceye kadar bu işlem sürdürülür.

Lamine kompozit için esas sebep, bu kompozitin maruz kalacağı yüklere uyum sağlaması için dayanım ve rijitliğin doğrusal bağımlılığından avantaj sağlamaktır. Bu nedenle, laminetler sadece bu amaç için uygundur. Çünkü her tabakanın esas malzeme yönleri istenilen doğrultuda yapılabilir. Örneğin, 10 tabakadan 6 tanesi 1 doğrultuda ve diğer 4 tanesi bu yöne dik 90° lik doğrultuda yönlenebilir.



Şekil 1.4. Tabakalı kompozitler a) izotropik, b) ortotropik

Sonuçta 1 doğrultuda yönlenmiş tabakalı kompozitin dayanım ve rijitliği yaklaşık %50 oranında diğerinden daha büyük olacaktır. Her iki doğrultuda uzama rijitlik oranı yaklaşık 6/4'dür fakat eğilme rijitliği orta yüzey için belli değildir. Orta yüzeydeki laminate simetrik düzenlenmemişse eğilme ve uzama arasında birleşmeden kaynaklanan rijitlik bileşenleri mevcut olabilmektedir. Her bir tabakanın bitişiğindeki tabakadan bağımsız olarak deforme olma eğilimi olduğu için laminetlerde, kayma gerilmeleri oluşabilir. Bu, bütün tabakalarda temel malzeme doğrultularındaki farklı yönlenme

kadar farklı özelliklerden de ileri gelebilir. Bu kayma gerilmeleri, laminet kenarları yakınında en büyük olur ve orada delaminasyon başlama sebebi olabilir.

tabakalı malzemeler olarak da sınıflanabilir. Tek katlı kompozitler birkaç farklı lamineden yapılabilir, her tabaka aynı yönelme ve özelliklere sahip, sonuçta tüm laminete tek katlı tabakalı kompozit olarak düşünülebilir. Kesikli elyaf takviye içeren kalıpla üretilen kompozitlerde de elyaf dağılımı, kalınlık boyunca uniform olmamasına rağmen farklı laminet mevcut olmaz. Bu nedenle malzeme tek katlı kompozitler olarak sınıflandırılabilir [30]

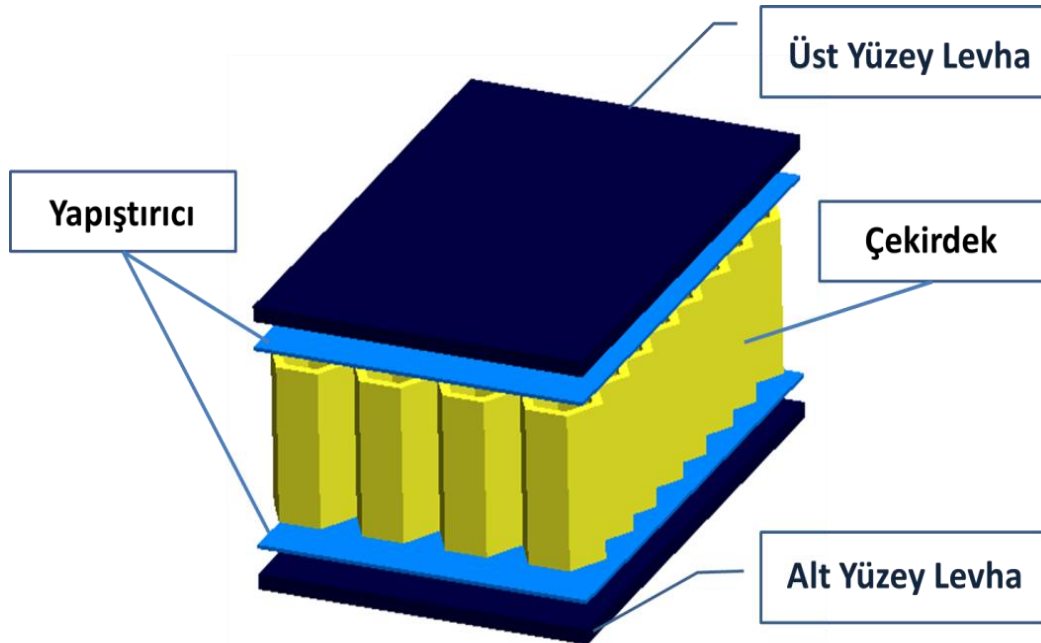
2. BÖLÜM

PETEKLİ YAPILI KOMPOZİTLER

2.1. Petek yapı kompozitler

2.1.1. Giriş

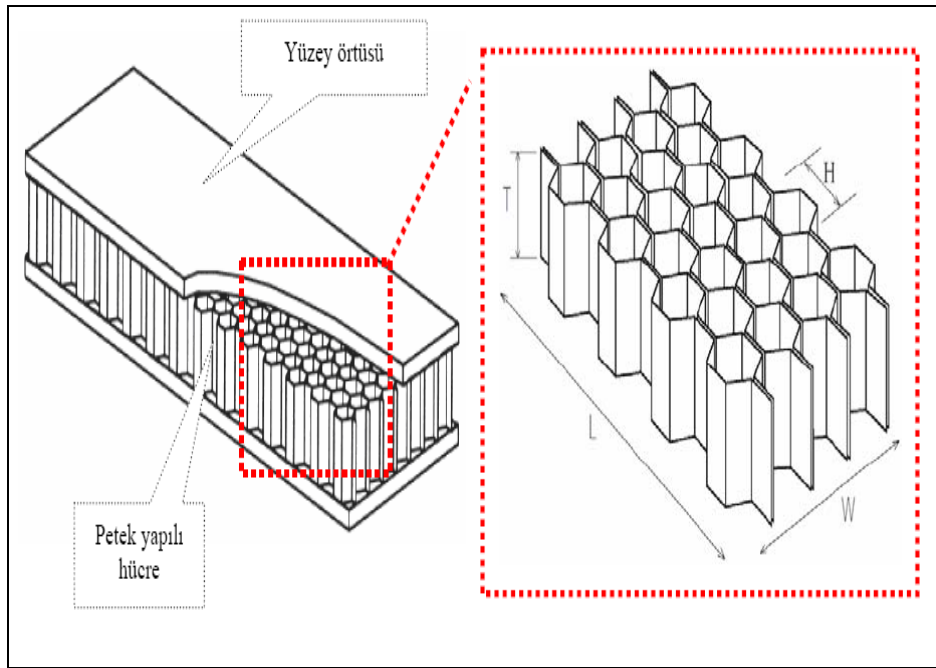
Kompozit imalatında kullanılan petekli yapı, çok ince tabakaların şekillendirilmesi sonucu elde edilen hücrelerin birleştirilmesi ile oluşturulur. Bu tür yapılar bal arılarının doğal olarak yaptıkları bal petekleri ile birebir benzerlik göstermektedir. Petekli kompozit yapılar yaklaşık olarak 1940 yılından sonra havacılık sektöründe, uçakların gövde panellerinde kullanılmaya başlanmıştır.



Şekil 2.1. Sandviç yapı

Günümüzde kullanılan petekli yapıların büyük bir çoğunluğu bir yapıştırıcı sayesinde hücrelerin birbirleri ile yapıştırılması sonucu oluşturulurlar. Petekli yapılar genellikle sandviç yapılarda dolgu elemanı olarak kullanılırlar. Buradan hareketle sandviç panellerden söz etmek yerinde olacaktır. Bir sandviç panel, petekli yapının alt ve üst yüzeylerin yapıştırıcı kullanılarak yüzey örtüleri ile yapıştırılması sonucu elde edilir.

Çelik, titanyum ve nikel alaşımlı metal hücre yapılı petekli yapılar yapıştırıcı yerine daha çok kaynak ve lehimleme ile birleştirilirler. Bu tür hücreler öncelikle yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılır. Yüksek rijitlik ve dayanım/ağırlık oranına sahip olan sandviç yapılar son derece hafif konstrüksiyonlardır. Petek yapılı kompozitler, diğer sandviç konstrüksiyon ara malzemelerine oranla daha pahalıdır ve sandviç yapı haline dönüştürülmesi daha özel işçilik gerektirmektedir. Bu nedenle, genellikle denizcilik, havacılık ve uzay sektöründe yüksek mekanik dayanım sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. [2,5]

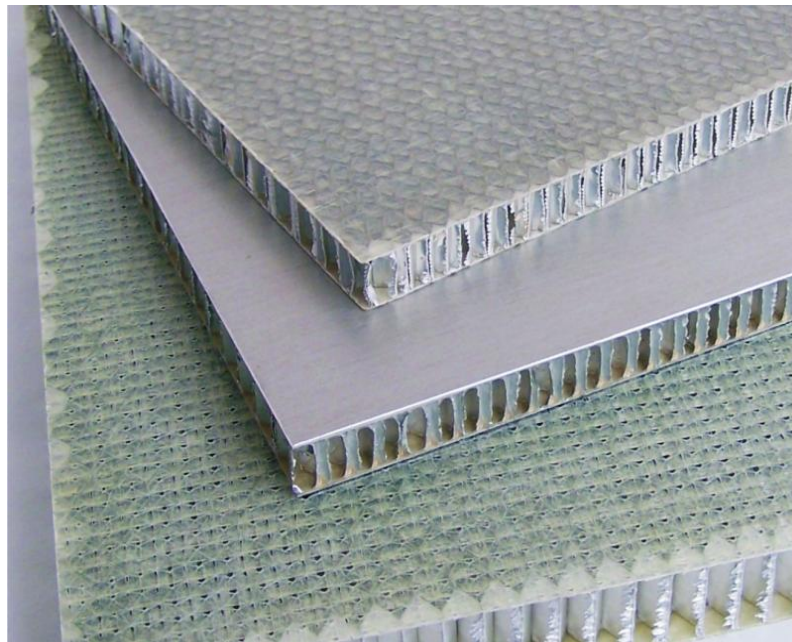


Şekil 2.2. Petek yapılı kompozit levha ve hücre boyutları [13]

Sandviç konstrüksiyon, günümüzün uçak, gemi, otomobil vb. vasıta sanayiisinde kullanımı için tasarlanıp kullanıma hazır bulunan, yapım tekniğidir.

Yukarıda bahsedilen sanayilerde, özellikle bir cismin hareketi için gerekli enerjiyi (manyetik, elektrik ve akaryakıt) mümkün en asgariye düşürmek gözönünde bulundurularak, varsayılan alüminyum, demir, çelik ve plastik sanayii maddelerinin özelliklerini bir maddede bulundurmak gereksinimi olmuştur.

Yıllarca tasarım ve denemeler sonunda, özellikle uçak ve gemi için, sandviç tekniği kullanılmaktadır. Burada alüminyum saclar yeni oluşacak parçanın yüzey bölümlerini oluştururlar, içeriği ise, gereksinime göre çelik ve demir özelliğini elde etmek için, alüminyum ve özel plastik bileşimleri 6 köşeli arı petekleri şekline getirilerek, bu iki yüzey sacının arasına yapıştırılır. Sonuçta, saf bir alüminyum sacı özelliği taşıyan mekanik özellikleri daha iyi ve daha hafif yeni yapı elde edilmiş olur.



Şekil 2.3. Bal peteği kompozitler

2.1.2. Petek yapı elemanları

Petek yapılar temelde üç grup malzemeden oluşmaktadır. Bunlar;

- Alt ve üst yüzey levhaları,
- Ara yapıştırıcı,
- Çekirdek malzemesidir.

2.1.2.1. Yüzey levha malzemeleri

Yüzey levhalarının birincil görevi gerekli bükülmeye destek sağlamak ve düzlem kayma gerilmesini aksel, bükülme ve düzlem kayma yüklemesine taşımaktadır. Yüzey levhası olarak kullanılmak üzere çeşitli malzemeler bulunmaktadır. Örnek olarak;

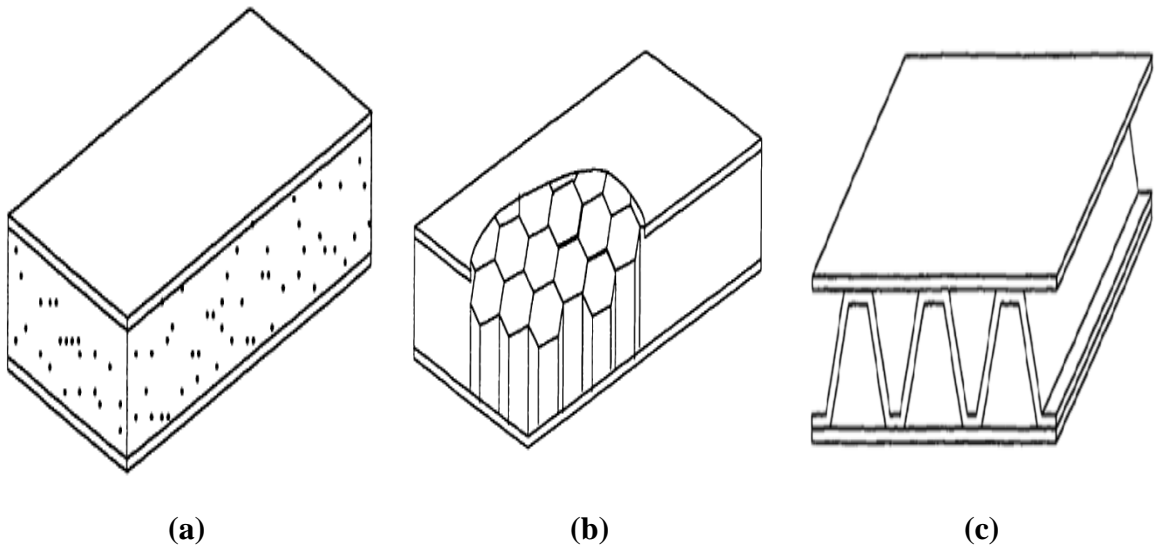
- Alüminyum
- Paslanmaz Çelik
- Karbon/Epoksi
- Fiberglas/Epoksi
- Aramid/Epoksi
- Kontraplak

Bir panelde genellikle her iki tarafta aynı malzemenin kullanılması istenir. Dengesiz termal uzama etkilerinden dolayı, farklı yüzey levhalarına ihtiyaç olduğunda, yüzey levha distorsiyonunu ortadan kaldırmaya dikkat edilmelidir.

2.1.2.2 Çekirdek malzemeleri

Çekirdek birkaç hayati fonksiyona sahiptir. Panellere dik yöndeki yüklemelere dayanacak kadar katı olmalıdır, bu yüzden alt ve üst yüzey levhaları arasındaki mesafe sabittir. Aynı zamanda kesmede yüzey levhalarının birbirleri üzerinden kaymasını önleyecek kadar da katı olmalıdır. Şayet bu durum sağlanmazsa, yüzey levhaları iki bağımsız panel gibi hareket eder ve sandviç etkisi kaybolur. Buna ek olarak çekirdek, ince yüzey levhalarını dengeleyecek kadar katı olmalıdır. Aksi durumda yüzey levhalarında yerel bükülmeler meydana gelir. Çekirdek malzemesi olarak kullanılan materyalleri üç grupta sınıflandırmak mümkündür:

1. Sürekli çekirdek
2. Oluklu çekirdek
3. Bal peteği çekirdek



Şekil 2.4. Çekirdek malzeme tipleri a) sürekli, b) bal peteği, c) oluklu

2.1.2.3. Yapıştırıcılar

Sandviç yapılarıdaki yapıştırıcıların (veya bağlantı katmanı) görevi levhalar ve çekirdeğin birlikte kalmasını sağlamaktır. Çekirdek ve levhalar arasındaki yapıştırıcı, bunlar arasındaki kayma gerilmelerini aktarmak zorundadır. Yapıştırıcı mutlaka kayma ve gerilme zorlamalarını taşıyabilmelidir. Bağlantılar üzerindeki zorlanmaları belirtmek zordur; basit bir kural gösterir ki yapıştırıcı ve çekirdek aynı kayma gerilmesine sahiptir. Fenolik gibi bazı yapıştırıcı tipleri, çekirdekleşme tepkimesi esnasında buharı dağıtırlar. Buhar bir takım problemlere neden olur. Eğer bu buhar tutulursa; aynı alanlarda az miktarda bağlantının kalmasına hatta hiçbir bağlantının olmamasına neden olur, basınç çekirdek malzemesine zarar verebilir veya çekirdeğin arzu edilmeyen pozisyona taşınmasına sebebiyet verebilir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan yapıştırıcılar şunlardır:

1. Nitril Fenolik
2. Vinil Fenolik
3. Epoksi
4. Üretan
5. Polimid
6. Poliamid[31]

2.1.3. Sandviç yapı dizaynında uygun malzeme seçimi

Sandviç bir yapının dizaynında belirli bir plan ve prosedür oluşturulması gerekir. Mukavemet, statik, mekanik ve malzeme bilimleri kombinasyonu ile oluşturulan sistematik bir yaklaşıma ihtiyaç duyulur. Yapının çalışma şartları göz önüne alınarak konstrüksiyondan beklenen verimin sağlanması hedef alınmalıdır. Tüm bunlar detaylı bir mühendislik araştırması ve yaklaşımı ile mümkün olacaktır. Her mühendislik uygulamasında olduğu gibi girdi ve çıktılar tanımlanmalı prosesler arasında geri beslemelerle optimum dizaynlar oluşturulmalıdır. İmkanlar dâhilinde bilgisayar destekli mühendislik programlarıyla simülasyonlar yapılmalıdır.

2.1.3.1 Yapısal etmenler

2.1.3.1.1 Dayanım

Giriş bölümünde bahsettiğimiz üzere kompozit bir malzemede her bir eleman kendi mekanik özelliklerini koruyabilmekteydi bu kuralı göz önüne alarak sandviç yapının çalışacağı yük koşullarını düşünerek düzgün çekirdek ve yüzey malzemesi kombinasyonu oluşturmalıyız.

2.1.3.1.2 Rijitlik

Sandviç malzemeler çok düşük ağırlıklarda yüksek rijitlik sağlamak için kullanılırlar. Pek çok çekirdek malzemesi düşük kayma modülüne sahiptir, ancak deplasman hesaplamalarında bükülmeden kaynaklanan çökmeye ilaveten kaymadan kaynaklanan çökmeyi de inceleyebilmeliyiz.

2.1.3.1.3 Yapıştırma bağlantı performansı

Bir yüzeyden diğer yüzeye düzgün yük iletimi için yüzeyler kor malzemeye rijit bir şekilde yapıştırılmalıdır. Uygun yapıştırıcılar yüksek kayma modülüne sahiptirler. Depolama, tamirat veya kullanım sırasında hasara maruz kalabilecek hafif sandviç

yapılarda kesinlikle düşük soyulma gerilmesine sahip yapıştırıcılar ile relativ olarak gevrek yapıştırıcılar kullanılmamalıdır.

2.1.3.1.4 Ekonomik etmenler

Kompozit sandviç panellerden maliyet konusunda çok etkili sonuçlar alınabilmektedir. Ancak toplam maliyet hesaplamaları sırasında üretim maliyetleri yanında montaj, ilk kurulum ve de sandviç yapı destek sitemlerinin de masrafları hesaba katılmalıdır.

2.1.3.2 Çevresel etmenler

2.1.3.2.1 Sıcaklık

Pek çok konstruktif sistemde olduğu üzere sandviç yapılarda da termal çevre önemli bir rol oynamaktadır. Genellikle sandviç yapılar oda sıcaklığı koşullarında etkin bir biçimde kullanılabilceği gibi pek çoğu da $-550C$ ila $1700C$ arasında istenilen performansı karşılayabilecek düzeydedir. İstenilen özellikler ve de üretim koşulları doğrultusunda malzemenin kürlenme sıcaklıkları da incelenmelidir.

2.1.3.2.2 Yanıcılık özellikleri

Yapıştırma bağlantılı sandviç yapıları yanıcılık bakımından üçe ayırmaktayız. İlki yanıcı olmayan yapılar ki, ne yüzey malzemesi ne de çekirdek malzemesi yanıcı değildir. Sistem bir bütün olarak yanmaya karşı dayanım gösterir. İkinci tip yarı yanıcılar; bu sistemlerde yapı alev maruz kaldığı sürece yanar, alev ortadan kalkarsa malzemenin tutuşması söz konusu olmaz. Son olarak, üçüncü tip yapılar ise yanıcı olanlarıdır. Bu malzemelerde genellikle belirlenen koşullar altında alevin yayılma hızına göre bir sınıflandırılmaya tabi tutulabilirler.

2.1.3.2.3 Yapıştırma solisyonları ve buharlaşma

Bir kısım yapıştırıcılar kürlenme sırasında bazı reçinelerle ve de metal olmayan çekirdeklerle reaksiyon oluşturarak dışarı solvent buharı verirler. Bu olay sandviç yapı

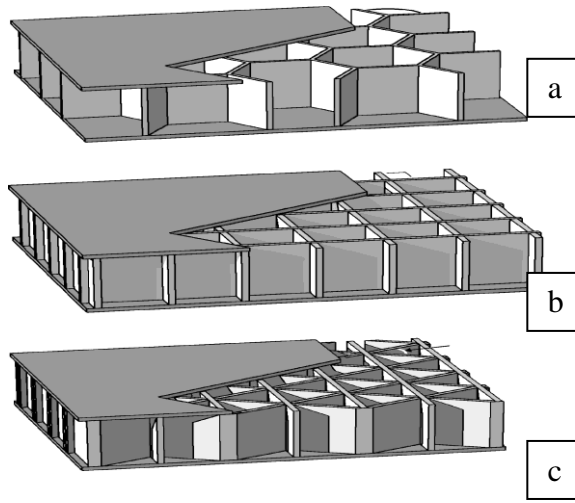
üretiminde istenmez; çünkü hatırlanacağı üzere kompozit yapılarda bir araya gelen malzemeler ayrı ayrı mekanik özelliklerini korumak durumunda idi; reaksiyonun oluşması yeni tip bir malzeme oluşumu ve sonuç olarak, farklı mekanik özellik oluşumu anlamına geleceğinden, üretimde bu hususa dikkat edilerek doğru yapıştırma sistemlerinin tercih edilmesi gerekmektedir. [26,27]

2.2. Balpeteği yapılarındaki birim hücre ve bağıl yoğunluk ilişkisi

Periyodik hücreli metaller, iç hacimlerinin %20'si veya daha azı metalle kaplı yüksek geçirgenliği olan metallerdir. Altıgen balpeteği sandviç yapıda çok yönlü sıvı akışı, enerji darbelerinin emilmesi, ısının sandviç panellerinden geçmesinin engellenmesi ve akustik sönüm sağlanması açısından sıkça kullanılmaktadır. Aynı zamanda prizmatik materyaller de periyodik hücreli metal yapının bir formudur. Sıvı akışını tek bir tarafa yönlendirmek için tek yönlü boşluklara sahiptirler. Çapraz ısı eşanjörleri, gemi ve bina yapımında çok sık kullanılmaktadırlar. Yakın zamanda, sıvı akımını sağlamakta kullanılan 3 boyutlu bağımsız boşlukları olan kafes yapılarda kullanımları büyük ölçüde ilgi görmeye başlamıştır. Burada, ilgi gören yapılar, çapları olarca mikrometreden onlarca milimetreye kadar uzanan tekrar eden birim hücreler tarafından oluşturulmaktadır.

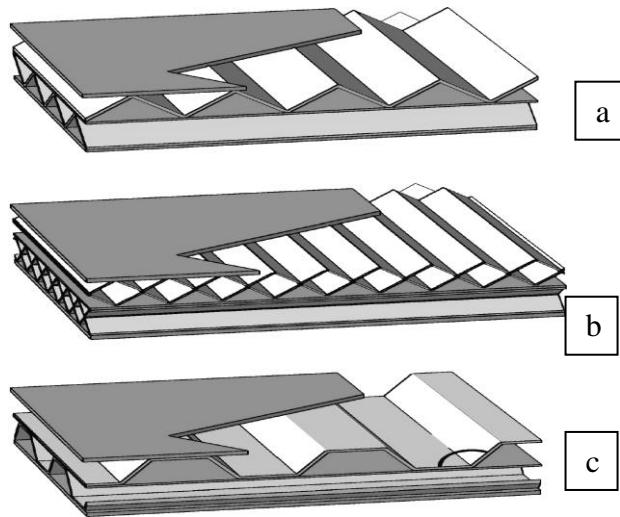
Balpeteği yapılar, birim hücrelerin uçlarını oluşturan levha veya sacdan oluşur. Hücresel bir cisim oluşturmak için birim hücreleri 2 boyutlu olarak tekrarlanır, Altıgen bir balpeteği oluşturmak için kullanılan yöntemlerden biri de her ağın duvar kalınlığını iki kat artırarak eşyönsüz mekanik bir hareket oluşturmaktır. [4]

Sandviç kompozit birim hücreleri günümüzde kullanım amacı ve istenen rijitlik değerlerine göre çok farklı yapılarda olabilir, Birim hücrenin şekline göre üretim yöntemleri ve maliyetler değişmektedir. Birim hücrelerdeki farklılıklara göre birim hücre bağıl yoğunluk ilişkileri aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.

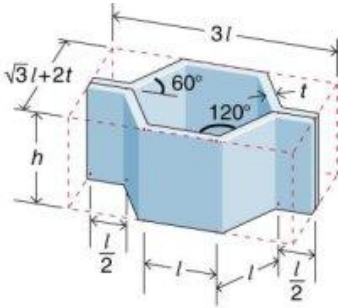

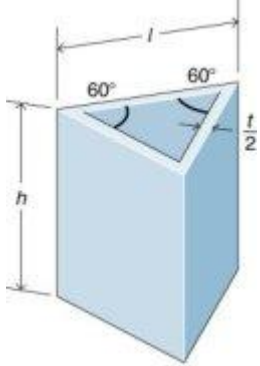
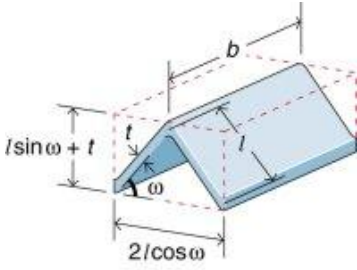
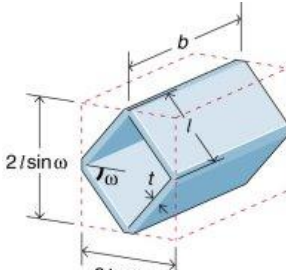
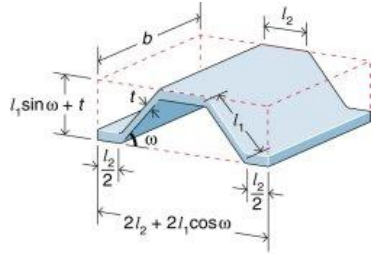


Şekil 2.5. Birim hücre çekirdek yapıları a) altıgen hücreli çekirdek, b) kare hücreli çekirdek, c) üçgen hücreli çekirdek

Prizmatik Yapılar, çekirdekler yatay açılarında yaklaşık 90 derece çevrildiklerinde, 2 ortogonal yönden kapalı hücreli ve 1 yönden açık hücreli prizmatik yapılar halini alırlar. Prizmatik katmanlar 90 derecelik düz bir rotasyonla sandviç panellerde kullanıldığında yapının anizotropisini çoğaltabilme ve hücre boyutunun levhalar arasındaki uzaklıktan bağımsız olabilme olasılığını göstermektedir. [4,28]



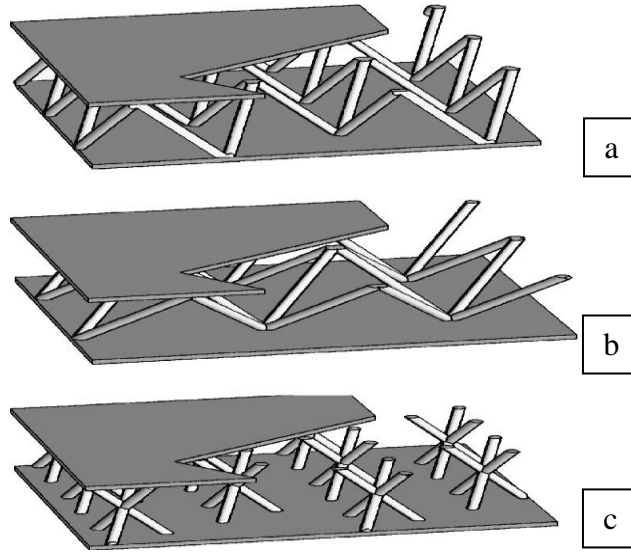
Şekil 2.6. Birim hücre çekirdek yapıları a) oluklu prizmatik çekirdek, b) elmas oluklu çekirdek, c) kesik prizmatik çekirdek

Altıgen	Kare	Üçgen
		
$\rho/\rho_s = \frac{8t}{3(\sqrt{3}l + 2t)}$ $\cong \frac{8}{3\sqrt{3}} \frac{t}{l} \text{ for } l \gg t$	$\rho/\rho_s = \frac{(2l-t)t}{l^2}$ $\cong \frac{2t}{l} \text{ for } l \gg t$	$\rho/\rho_s = \frac{(2\sqrt{3}l - 3t)t}{l^2}$ $= 2\sqrt{3} \frac{t}{l} \text{ for } l \gg t$
Oluklu	Elmas Oluklu	Kesik
		
$\rho/\rho_s = \frac{t}{\left(\frac{1}{2}l \sin 2\omega + t \cos \omega\right)}$ $\cong \frac{2t}{l} \text{ for } \omega = 45^\circ, l \gg t$	$\rho/\rho_s = \frac{2t}{l \sin 2\omega}$ $= \frac{2t}{l} \text{ for } \omega = 45^\circ$	$\rho/\rho_s = \frac{(l_1 + l_2)t}{(l_2 + l_1 \cos \omega)(l_1 \sin \omega + t)}$

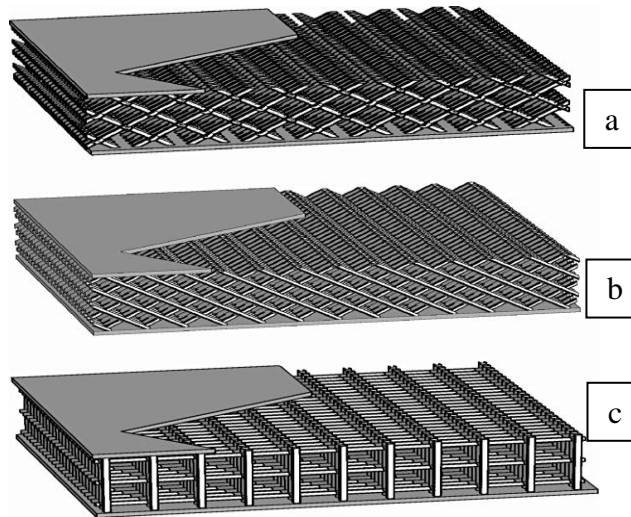
Şekil 2.7. Petekli yapılardaki birim hücre ve bağıl yoğunluk ilişkisi

Örgülü Kafes Yapılar, kapalı hücreli petek yapısı ve kısmen açık prizmatik yapılar levha yada sac maddeden yapılırlar. Tamamen açık yapılar her türlü şekle sahip ince

örgülerden yapılabilir. Uygulanmak istenen şekile bağlı olarak örgülerde farklı kombinasyonlar kullanılabilir. [4,28]



Şekil 2.8. Birim hücre çekirdek yapıları a) dörtyüzlü örgülü çekirdek, b) pyramit yüzlü örgülü çekirdek, c) üç boyut örgülü çekirdek



Şekil 2.9. Birim hücre çekirdek yapıları a) elmas dokuma örgülü çekirdek, b) elmas doğrusal örgülü çekirdek, c) kare dokuma örgülü çekirdek

Dörtüzlü/Kagomé	Piramit	Elmas Dokuma	Oyuk Elmas
$\rho/\rho_s = \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{wt}{(l^2 \cos^2 \omega \sin \omega)}$ $= 3\sqrt{2} \frac{wt}{l^2} \text{ for } \omega = 54.7356^\circ$	$\rho/\rho_s = \frac{2wt}{l^2 \cos^2 \omega \sin \omega}$ $= 4\sqrt{2} \frac{wt}{l^2} \text{ for } \omega = 45^\circ$	$\rho/\rho_s = \frac{\pi d}{l \sin 2\omega}$ $= \frac{\pi d}{4 l} \text{ for } \omega = 45^\circ$	$\rho/\rho_s = \frac{\pi (d_o^2 - d_i^2)}{8 l d_o \sin \omega \cos \omega}$ $= \frac{\pi (d_o^2 - d_i^2)}{4 l d_o} \text{ for } \omega$

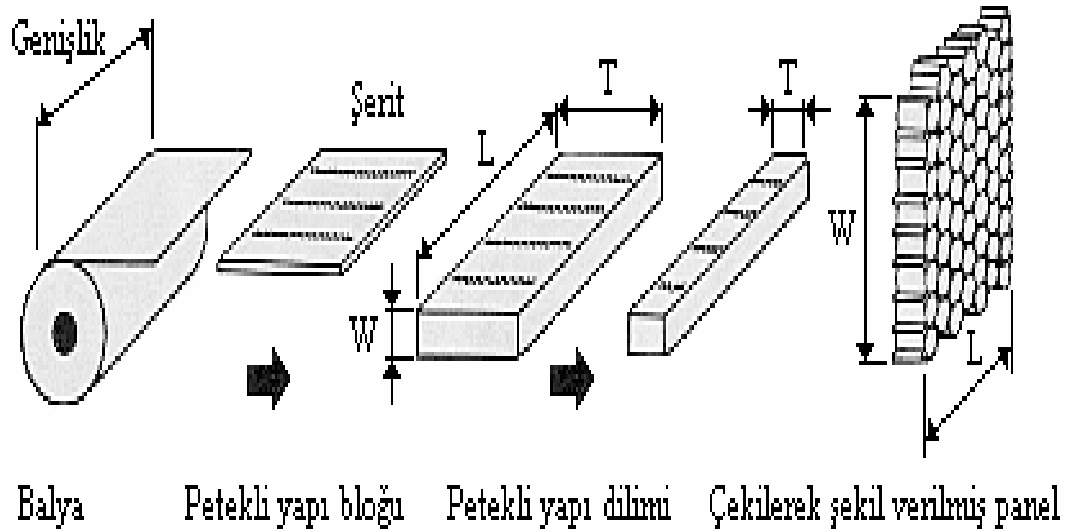
Şekil 2.10. Örgü kafesli yapılarda birim hücre ve bağıl yoğunluk ilişkisi

2.3. Geleneksel petekli yapı kompozitlerin üretim yöntemleri

Petekli yapıların üretiminde uzatma ve kıvrılarak şekil verme olmak üzere genellikle iki temel teknik kullanılır.

2.3.1. Uzatarak şekil verme yöntemi

Bu yöntem metal ve metal olmayan hücre imalatında kullanılır. Petek yapılı hücrelerin büyük bir çoğunluğu bu yöntemle üretilir. Bu yöntem genel olarak; şerit halinde levhaların kesilmesi ve yapıştırıcının sürülmesi, levhaların üst üste dizilmesi ve petekli yapı bloğun seçilen sıcaklıkta pres içerisinde işlenmesi aşamalarını içerir. Alüminyum blokları çekme işleminden önce genellikle istenilen kalınlıkta dilimlere ayrılırlar. Dilimler kalıpta çekilirken, her bir şerit halindeki plaka, komşu hücrelerle birleşmenin olmadığı noktalarda akma gösterir ve böylece levhalara şekil verilmiş olur. Aynı yöntem diğer metalik malzemeler içinde rahatlıkla kullanılabilir.

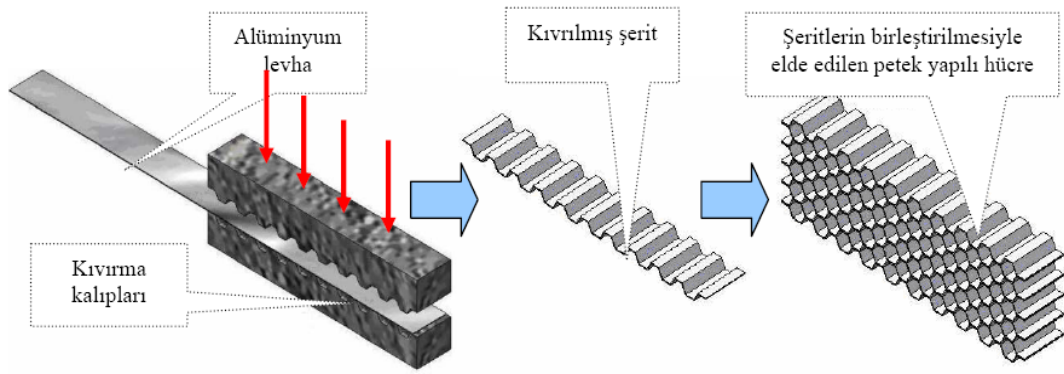


Şekil 2.11. Uzatarak şekil verme yöntemi ile petek hücre üretimi

Metal olmayan şerit levhalar da benzer biçimde hazırlanmasına rağmen bazı önemli farklar söz konusudur. Metal dışı malzemeler yapıştırıcı sürme işlemi öncesi korozyona karşı direnç artırıcı işlemler gerektirmez. Ancak bazı malzemelerin reçineye iyice doyurulması için bir ilave ön işlem gerekebilir. Metalik malzemelerin aksine metal dışı petekli yapı malzemeleri kalıp içerisinde kalıbın şeklini alması için gerekli çekme işlemi sonunda kendi şekillerini koruyamazlar. Bu malzemelerde kalıplama daha fazla sürede yapılmalı ve şekil alma işlemi gerçekleşene kadar bir fırın içerisinde ısıtılmalıdır. Daha sonra çekilmiş ve ısıtılmış blok sıvı reçineye daldırılır ve hücrelerin oluşumu tamamlanana kadar ısıtma işlemi sürdürülür. Daldırma süreci blokların istenilen yoğunluğa ulaşmaya kadar tekrarlanır. Petekli yapı imalatı bu bloklardan istenilen kalınlıkta dilimlerin kesilmesi ile tamamlanmış olur. Bu çalışmada kullanılan cam elyaf ve kağıt takviyeli polyester reçineli petekli yapı hücrelerin imalatı bu yöntem ile gerçekleştirilmiştir. [5,2,6]

2.3.2. Kıvrırma yöntemi

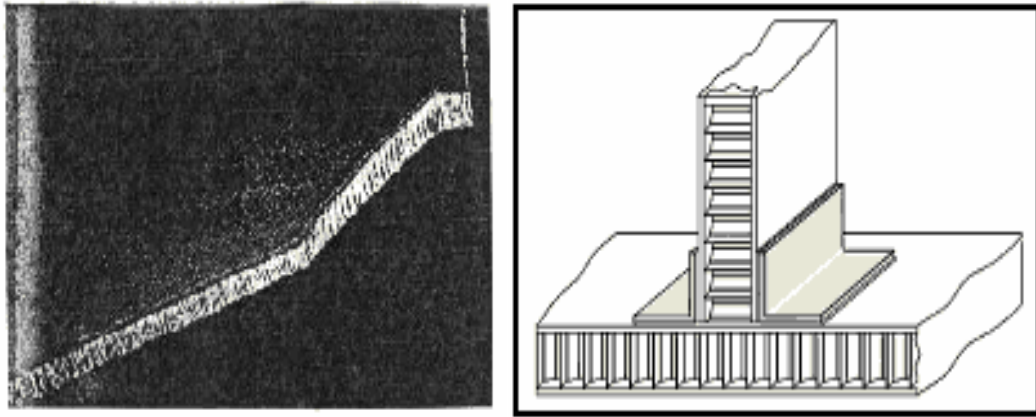
Bu yöntem yüksek sıcaklık altında çalışan, et kalınlığı ve yoğunluğu oldukça fazla olan petekli yapıların imalatında tercih edilir. Bu yöntemde şerit levhalar istenilen biçimde kıvrılarak düğüm noktalarına yapıştırıcı tatbik edilir.



Şekil 2.12. Kıvrırma yöntemi ile petekli yapı hücre üretimi [13]

Ardından şekil verilmiş şerit levhalar üst üste konur ve kıvrılmış blok seçilen sıcaklıkta bekletilir. İstenilen kalınlıkta dilimler bloktan kesilerek elde edilir.

Üretimi gerçekleştirilen petekli yapılar kullanılacak yerin özellikleri de dikkate alınarak; temizleme (kenar traşlama), kesme ve gerekirse şekil verme ve ekleme işlemlerine de maruz bırakılır. [5,2,6]

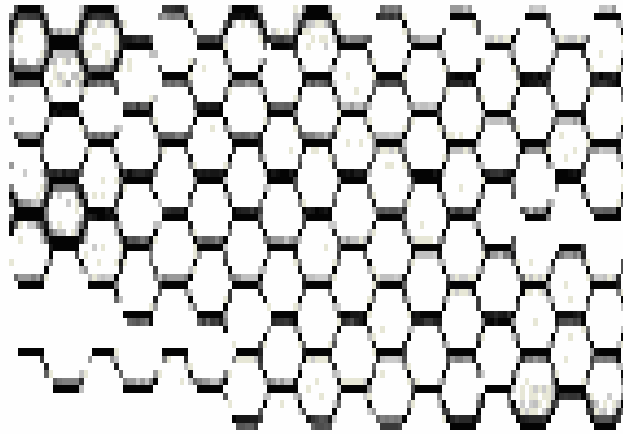


Şekil 2.13. Özel işlem yapılmış petek yapıli paneller [23]

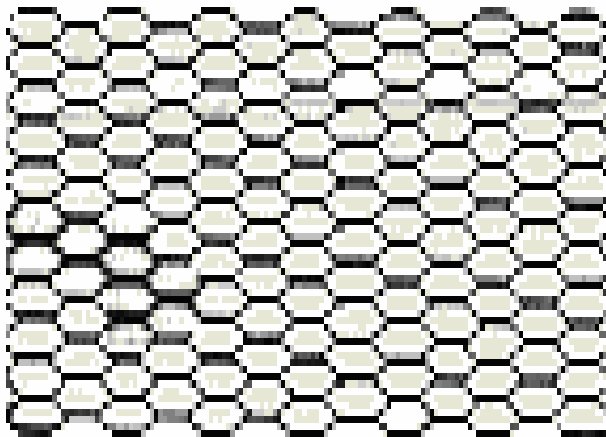
2.3.3. Hücre karakteristikleri

Genel olarak metalik hücre malzemeleri alüminyum, korozyona karşı dayanıklı çelik, titanyum ve nikel esaslı alaşımlardır. En yaygın metal dışı hücre malzemeleri ise nomex, cam, elyaf, termoplastikler ve kraft kağıdıdır. Metal olmayan hücreler son

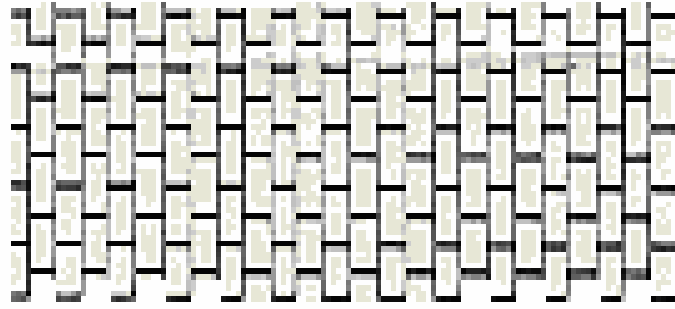
yoğunluğa ulaşabilmek için sıvı fenolik, polyester veya poliamid reçineye daldırılır. İdeal olanı reçine oranının %50 civarında olmasıdır. Bu nedenle şerit kalınlıklarının çeşitli yoğunlukta hücre yapımına imkan vermesine dikkat edilmelidir. Günümüze kadar petekli yapı üretiminde 500 den fazla farklı malzeme kullanılmıştır. Son zamanlarda grafit, aramid ve seramik üzerine çalışmalar yoğunlaşmıştır. Aşırı uzatılmış, altıgen ve eğip bükülebilir yapı (flex-core) olmak üzere üç temel hücre biçimi vardır. Aşırı çekilmiş hücre yapısı, altıgen hücrenin dikdörtgen biçime gelinceye kadar çekilmesi ile elde edilir. Bu hücre tipinin en önemli avantajı L doğrultusunda kolayca şekil verilebilmesidir. Altıgen hücre yapısında sadece bu doğrultuda şekil verilebilir. [5,2,6]



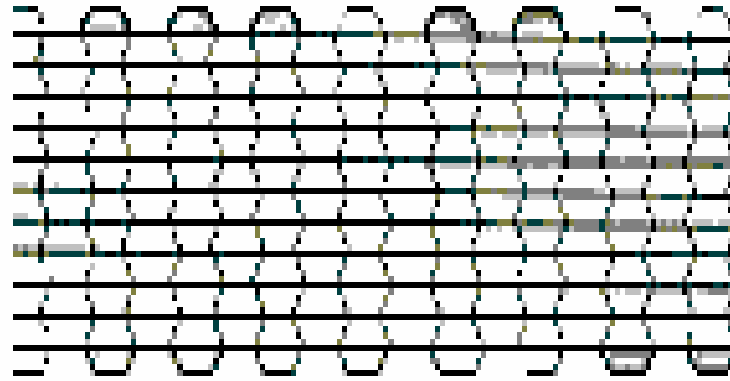
a) Altıgen petekli yapı



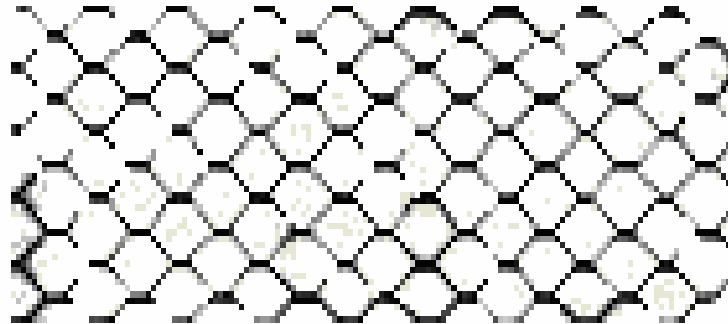
b) Az uzatılmış altıgen



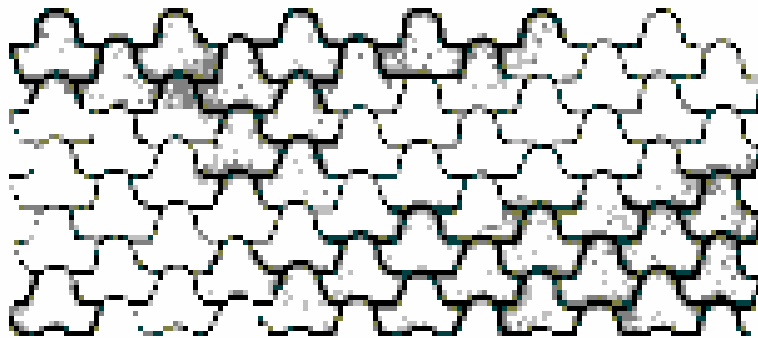
c) Aşırı uzatılmış dikdörtgen



d) Takviye edilmiş altıgen



e) Kare petekli yapı



f) Flex petekli yapı

Şekil 2.14. Petekli yapı hücre türleri (Bitzer,1980;Hexcel,2000) [7]

2.4. Petek yapılı kompozit panel üretim yöntemleri

Balpeteği sandviç yapı panelleri sıcak presleme vakum torbasında ve uygun kalıpta üretilirler. Sıcak pres yönteminde genelde levha ve önceden şekillendirilmiş paneller üretilir. Şekil 2.15 ve 2.16’da bu şekilde imal edilmiş ve deneylerde kullanılan paneller gösterilmiştir.



Şekil 2.15. Isıtılmış basınç altında üretilmiş metal tabaka

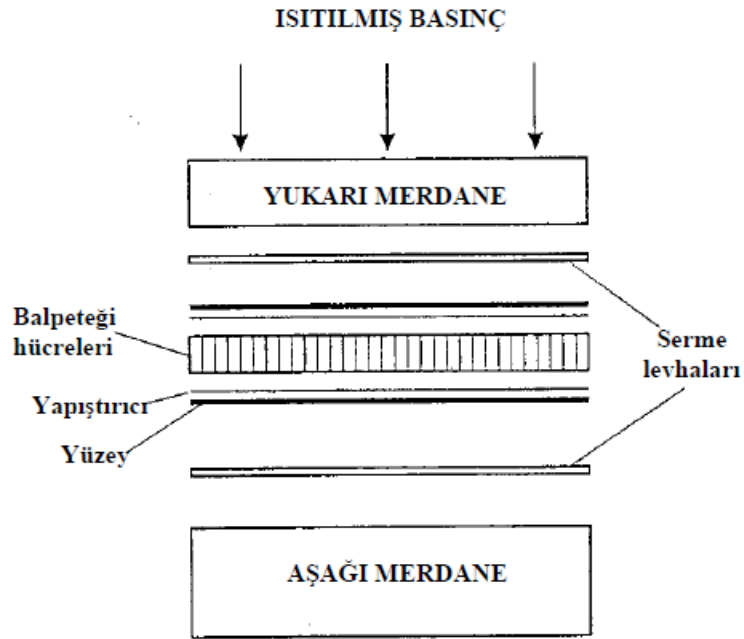


Şekil 2.16. Isıtılmış basınç altında üretilmiş metal olmayan tabaka

Vakum torbasında üretim, genelde kıvrımlı ve karışık şekilli parçalar için kullanılan bir methoddur. Genel olarak örülmüş parçaların birleştirilmesiyle oluşan panellerin üretimi kalıpta gerçekleştirilir.

2.4.1. Sıcak presleme yöntemi

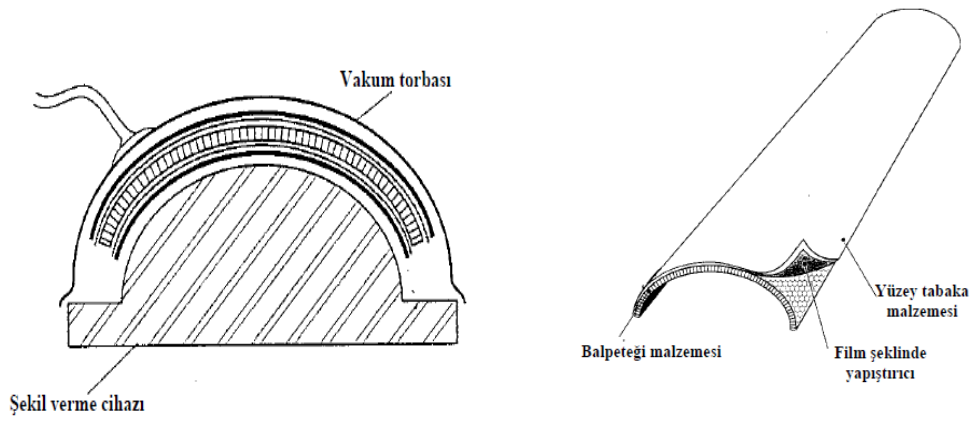
Genelde üretilmiş parça tek seferde netice alınacak şekilde hazırlanır. Bu metot metal ve prepreg yüzeylerde yaygın olarak kullanılır. Bu metotla yapılan üretimde diğer bir seçenek de, prepreg (önceden reçine emdirilmiş malzeme) yüzey tabakaları basınç altında önceden ısıtılarak yapıştırıcı ile birleştirilmesidir. Yöntemin uygulama esası Şekil 2.17’de gösterilmiştir.



Şekil 2.17. Isıtılmış basınç altında üretim tekniği (Hexcell, 2003)

2.4.2. Vakum torbasında üretim

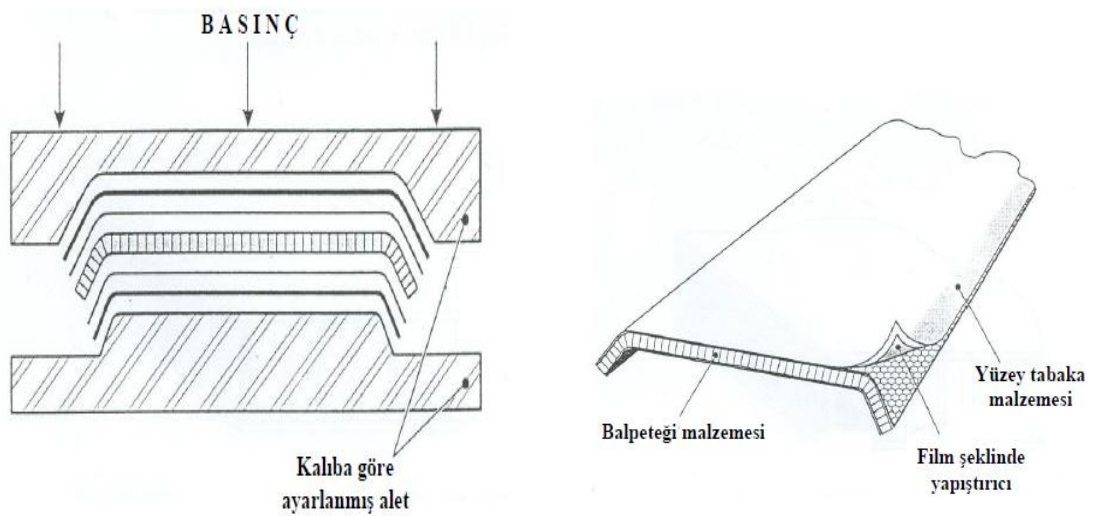
Üretilcek parçalar ısıtma işlemi için bir seferde netice alınacak şekilde montajlanmalıdır. Gerekli birleştirme vakum torbası kullanarak yapılır. Önce parça fırında ısıtılır ayrıca bütün üretim boyunca negatif basınç uygulanır. Vakum torbasında üretim yöntemi, prepreg, önceden şekil verilmiş el yatırması (wet layup) kompozit malzemeler veya metal tabakalı sandviç yapılara uygulanır. Bu üretim metoduyla şekil verilmiş balpeteği ve yapıştırıcı film tabakaları kullanmak suretiyle karmaşık şekilli kompozit parçaların üretimi mümkündür. Anlatılan hususlar Şekil 2.18’de şematik olarak verilmiştir.



Şekil 2.18. Basit vakum torbası usulü ve üretilen malzeme (Hexcell, 2003)

2.4.3. Uygun kalıpta üretim

Bu tür üretim metodunun temel amacı; imal edilecek parçayı yüksek toleransta (hassas boyutta) üretmek ve yüzey iyileştirilmesi yapılarak tek seferde sonuç alınmasıdır. Bu tür üretim için çeşitli işlem basamakları uygulanarak sıcaklık ve basınç ayarlamaları yapmak mümkündür. Isıtılmış donanımlarla mekanik basınç altında, ısıtılmamış aletlerle basınç altında ve fırın içinde kürelemeyle yapılan üretimler bunların bazılarıdır. Bunun dışında ısıtıcı kullanım imkânı yoksa veya sandviç yapı çok büyükse oda sıcaklığında soğuk yapıştırma işlemi de uygulanabilir. [3,11]



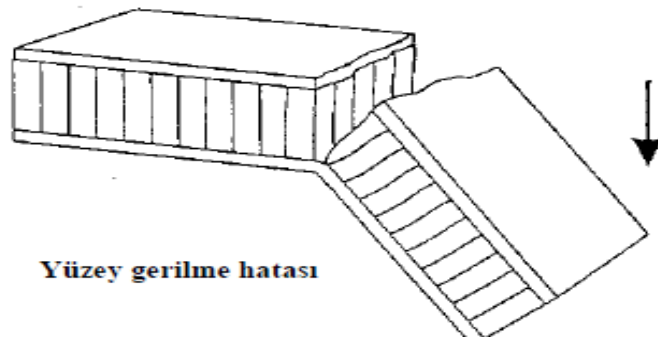
Şekil 2.19. Uygun kalıpta üretim usulü ve üretilen malzeme (Hexcell, 2003)

2.5. Balpeteği kompozitlerde hasar oluşum turleri

Sandviç kompozit yapıyı tasarlayanların analizlerinde mümkün olabilecek hatalı durumları yani hasar oluşum turlerini göz önünde bulundurmaları gerekir. Hasar oluşum turleri aşağıdaki gibi sıralanabilir. [4,11]

2.5.1. Dayanç

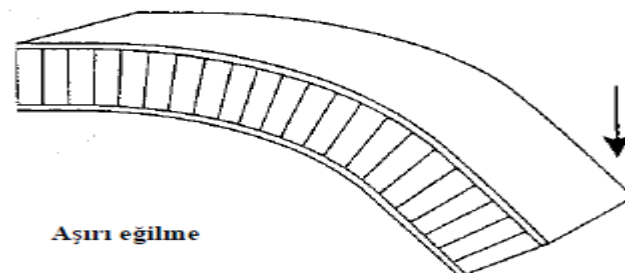
Tabaka ve petek hücre malzemelerinin tasarlanan yükün bağıl çekme, basınç ve kesme kuvvetlerine dayanmaları gerekir. Ayrıca tabaka ve hücre arasında kullanılan yapıştırıcının kesme kuvvetinin transfer kabiliyetinin olması gerekir. Şekil 2.20’de gösterilmiştir.



Şekil 2.20. Dayanç hatası

2.5.2. Rijitlik

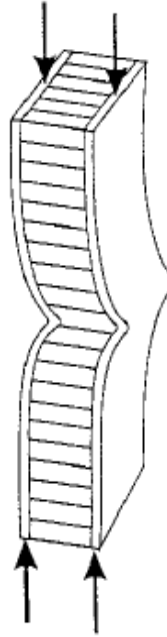
Sandviç kompozit panelin, aşırı eğilmeyi önlemek için Şekil 2.21’de gösterilen eğilmeye ve kesme kuvvetlerine karşı sağlam bir yapıda olması gerekir.



Şekil 2.21. Balpeteği kompozitlerinin rijitliği

2.5.3. Panel burkulması

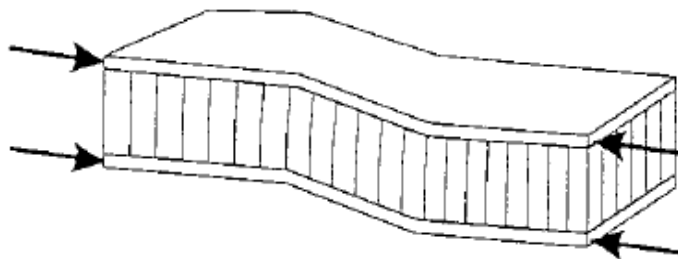
Petek hücre kalınlığının ve kesme modülünün Şekil 2.22’de verilen basınç yüklerinin etkisi altında panelin burkulmasını önleyecek derecede yeterli dayanıma sahip olması gerekir.



Şekil 2.22. Balpeteği kompozitin burkulması

2.5.4. Kesme kıvrımı

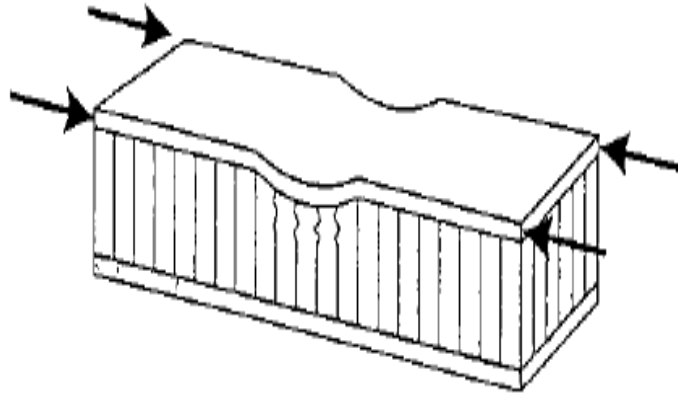
Petek hücre kalınlığının ve kesme modülünün Şekil 2.23’de gösterilen uç basınç yüklerinin etkisi altında, petek hücrelerinin erkenden kıvrım yapmaması için yeterli özelliklerde olması gerekir.



Şekil 2.23. Balpeteği kompozitte kesme kıvrımlarının oluşumu

2.5.5. Yüzey ezilmesi

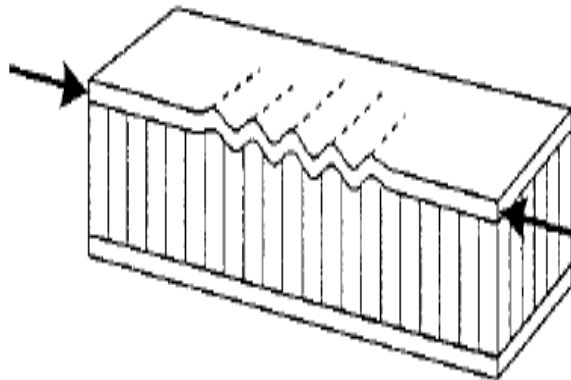
Şekil 2.24'de gösterilen petek hücre ile tabaka basınç modüllerinin ana yapının ezilmemesi için yeterli dayanımda olması gerekir.



Şekil 2.24. Yüzey ezilmesi modeli

2.5.6. Hücreler arası kıvrılma

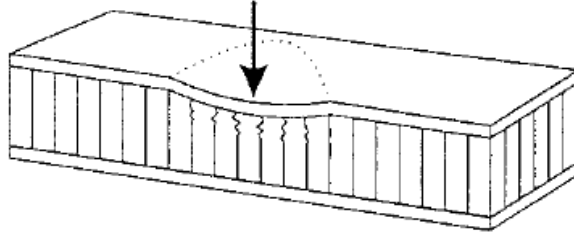
Kullanılan tabaka yapıya göre, petek hücre boyutunun hücreler arası kıvrılmayı önleyecek boyutta olması gerekir.



Şekil 2.25. Hücreler arası kıvrılma

2.5.7. Bölgesel basınç

Petek hücre basınç kuvvetinin panel yüzeyinde oluşacak bölgesel yüklere karşı koyacak yeterlilikte olması gerekir.[4,11]



Şekil 2.26. Bölgesel basınçla oluşabilecek hata modeli

2.6. Petek yapılı sandviç kompozitlerin mekanik davranışı üzerine yapılan çalışmalar

N. Arslan ve arkadaşları [2] çalışmalarında alüminyum folyo, (3000 serisi alüminyum) polyester reçine emdirilmiş kağıt ve cam elyaf kullanmışlardır. Deneyler sonucu petek yapılı kompozitlerin, maksimum dayanım, kırılma ve deformasyon değerleri ve enerji absorbe özelliklerini basma ve çarpma yükleri altında irdelemişlerdir. Deneyler sonucunda farklı et kalınlığı değerlerinde basma deneyi altında gerilme-şekil değiştirme değişimleri elde edilmiştir. Yük artışı ile şekil değişimleri belli bir değere kadar yaklaşık olarak lineer kalmıştır. Maksimum yük değerinden sonra artan şekil değişimine karşılık yük değerlerinde belirgin bir düşüş gözlenmiştir. Et kalınlığı fazla olan panellerin maksimum dayanım değerleri de daha büyük olmuştur. Sonuç olarak bu deneyleri göstermiştir ki et kalınlığı fazla olan panellerin maksimum dayanım değerleri de daha büyük olmuştur. Et kalınlığı sabit tutulup, hücre boyutu artırılır ise aynı şekil değişimine daha düşük yüklemelerde ulaşılır. Bu durum artan hücre boyutu ile birim alana düşen ve yükü taşıyan kaburga miktarının azalması ile açıklanmıştır.

Ural ve arkadaşları [8] yaptığı çalışmalar ile bal peteği sandviç panellerdeki yapıştırıcı bağı değerlendirmişler ve farklı yüzey örtüsü kalınlıkları ve çekirdek malzemeleri için farklı değerler elde edilerek karşılaştırılmıştır. Bir bal peteği sandviç panelin makroskobik malzeme özellikleri hücre geometrisi, hücre boyutu, hücre duvar kalınlığı,

yüzey örtüsü malzemesi ve yüzey örtüsü kalınlığına bağlıdır. Çalışmalar sonucunda elde edilen veriler göstermiştir ki 24 katlı yüzey örtüsü numunelerin bağı 32 katlı bal peteği sandviç kompozitinkine göre daha zayıf bağlar içermektedir.

Öztürk [5] çalışmasında sandviç kompozitin arasına nasıl bir petek yapı kullandığında optimun değerlere ulaşılacağını analiz etmiştir. Sonuç olarak sonlu elemanlar metodu ile sandviç kompozitlerde değişik yükleme durumundaki davranışlarını inceleyerek bir modelleme yapmıştır.

Cao ve arkadaşları [16] çalışmalarında 3-boyutlu boşluklu yapıdaki sandviç kompozitlerin darbe sonrası sıkıştırma özelliklerinin incelenmesi üzerine çalışmışlardır. 3-boyutlu boşluklu yapıdaki sandviç kompozitler hazırlanmış ve test edilmiştir. Düşük hızlı darbe sonrası sıkıştırma hasarının oluşturulması işlemi, görüntü gözleme yoluyla araştırılmıştır. Test sonuçları, darbe hasarının sandviç kompozitlerin sıkıştırma direncini önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir. Darbe enerjisinin artması ile darbe sonrası sıkıştırmanın azaldığı tespit edilmiştir. Kompozitin sıkıştırma hasarı esas olarak ön üst katman tarafından kontrol edilmektedir ve ön üst katman bölgesinin eğilmesine neden olan yük, kompozit sıkıştırma hasarı yüküne hemen hemen eşit olmaktadır. Dış örtü, yalnızca kompozitin darbe hasarını azaltmakla kalmayıp, aynı zamanda hasarın kolaylıkla fark edilebilecek şekilde yüzeyde kalmasını sağlamaktadır.

Belevi ve İnançer [17] hibrit kompozitlerin sıcaklık ve artan darbe enerjisi altındaki darbe davranışlarını incelemiştir. Sonuçları irdelediklerinde farklı sıcaklık ve vurucu hızlarında kompozit malzemelerin davranışlarının değiştiğini gözlemlemişlerdir.

Turan [18] çalışma şartlarına göre çok değişik yüklere maruz kalabilen kompozitler için çalışmalar yapmış ve yüksek hızlı darbe durumunda ki kompozit malzeme hasarlarını değerlendirmiştir.

Bekam ve arkadaşları [19] çalışmalarında balpeteği sandviç kompozitlerin mekanik özelliklerini Al-Al ve prepreg-Nomex sandviç kompozitler üzerinde test ederek değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak üretim yöntemi ve çekirdek yapısının sandviç panel davranışında önemli birer parametre olduğunu ortaya koymuşlardır.

Sayer ve arkadaşları [20] karbon cam elyaf/epoksi kompozitlerin sıcaklık ve artan darbe enerjisi altındaki darbe davranışlarını incelemişlerdir.

Farklı sıcaklık ve darbe yüklerinde kompozitlerin davranışları değişmektedir sonucuna ulaşmışlardır.

Karakuzu ve arkadaşları [21] tabakalı kompozit plakaların düşük sıcaklıklarda, oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıklarda farklı darbe enerjilerinde deneylerini yapmışlardır. Farklı değerdeki darbe yükleri ve sıcaklık değerlerine bağlı olarak deney numunelerini birbirleriyle karşılaştırarak kompozitlerde farklı deplasman ve hasar değerleri gözlemlemişlerdir.

Eren [22] çalışmasında alüminyum-termoplastik kompozit panel kullanımıştır. Darbe testini sabit ağırlıkta ve farklı yüksekliklerde yapmıştır. Deneysel sonuçları karşılaştırarak kullandığı kompozit malzemenin hasara uğraması için gerekli darbe yükü sınırını belirlemiştir.

Şenel [23] özgün bir tasarım olarak düşük hızlı darbe test düzeneği imal etmiştir. Diğer standart test cihazlarından farklı olarak numune üzerine ön yükleme verilmesini sağlamıştır. Bu şartlar altında öncelikle yüksüz numuneler üzerinde darbe deneyleri yapılmış daha sonra ön yükleme şartlarında deneylere devam edilmiştir. Yapılan deneylerde ön yüklemelerin numuneler üzerinde ki etkisi incelenmiştir. Ayrıca vurucu uç değiştirilerek değişik geometrilerin numuneler üzerinde oluşturduğu hasarlar incelenmiştir.

Kılıçaslan ve Odacı [24] düşük hızlarda darbeye maruz kalan plakalarda oluşan hasarı yaptıkları çarpışma testleriyle irdelenmişlerdir. Deneylerde elde ettikleri verileri sonlu elemanlar simülasyonları ile kıyaslamışlardır.

Uyaner ve arkadaşları [25] çalışmalarında düşük hızlı darbeye maruz kalmış tabakalı kompozitlerde plaka boyutlarının oluşan hasara etkilerini incelemişlerdir. Sonuç olarak numune genişliği arttıkça temas kuvvetinin arttığı ve malzeme üzerinde deney numuneleri üzerinde kalıcı yer değiştirme miktarının azaldığını gözlemlemişlerdir.

S. Heimbs ve arkadaşları [29] katlamalı birim hücreli sandviç kompozit üzerinde basma ve düşük hızlı darbe deneyleri sonucu elde edilen veriler ile nümerik modelleme sonuçlarını kıyaslamışlardır. Hasar gören numuneleri ultasonik tarayıcıda analiz ederek hasar boyutu ve kuvvet-zaman grafiklerini değerlendirmişlerdir.

3. BÖLÜM

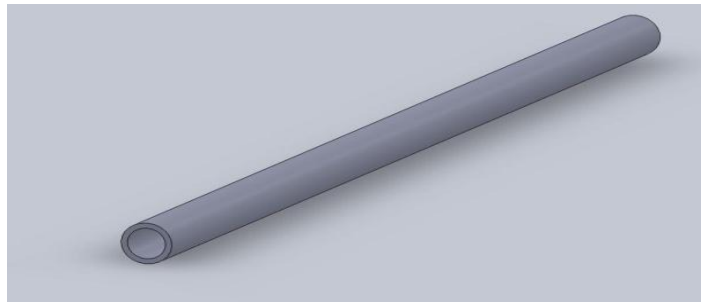
MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu bölümde çalışmalarda kullanılan sandviç kompozitin özellikleri, boyutları, üretim safhaları, darbe deneyi için hazırlıklar ve darbe deneyi cihaz özellikleri hakkında bilgi verilmiştir.

3.2. Alüminyum boru profiller

Deneyleerde boru profil olarak alüminyum malzeme kullanılmıştır. Alüminyum malzemelerin kompozit imalatında çok tercih edilmesi bu çalışmamıza malzeme seçiminde yön vermiştir, ayrıca alüminyum boruların hafif olması ağırlığının çelik borulara kıyasla 1/3 oranında ağırlıkta olması, korozyon direncinin yüksek olması, alüminyum alaşımların mukavemetinin çelik mukavemetine denk olması işlenebilirliğinin kolay olması tercih sebeplerimizdendir. Ø8,10 ve 12 mm çaplarında ve 1 mm et kalınlığında olan alüminyum boru profiller temin edildi. Temin ettiğimiz profiller 6 cm uzunluğunda kesildikten sonra yüzey temizliği yapıldı ve kurutulduktan sonra kalıplama işlemi yapıldı.



Şekil 3.1. Öngörülen Boru Profil Şekli

Tablo 3.1. Alüminyum Genel Özellikleri

Akma Dayanımı (kg/mm ²)	12	Isı İşlem	T5
% Uzama (500 mm) (mm/mm ²)	8	Çekme Dayanımı(kg/mm ²)	15.5
Kesme Dayanımı (kg/mm ²)	11.5	Sertlik (HB)(kg/mm ²)	60
Özgül Ağırlık (kg/m ³)	2710	Elastisite Modülü (kg/mm ²)	6900
Isısal İletkenlik (20°)(W/m°K)	178	Genleşme Katsayısı (20- 100°C)/°C	23×10 ⁻⁶
Elektriksel direnci (20°)(mm/m)	0.033		
Korozyon Direnci	Çok İyi		
Kaynak Edebilme	İyi		

Alüminyum boru profiller için kalıplama işlemi için boyutları içten içe 80 mm derinliği 80 mm ve uzunluğu 200mm olan kalıp yapıldı. Kesilen boru profiller kalıp içerisinde yerleştirildiğin de yapıştırılma aşamasında kalıp sayesinde boru profillerin kaymadan düzgün bir şekilde kuruması sağlandı.



Şekil 3.2. Kalıp tasarımı ve imalatı tamamlanan alüminyum kalıp

Hazırlanan kalıp içerisine yüzey temizliği tamamlanan ve 80mm uzunluğunda kesilen alüminyum profiller sırayla yerleştirildi ve üzerlerine çift bileşenli metal metal yapıştırıcı sürüldü.

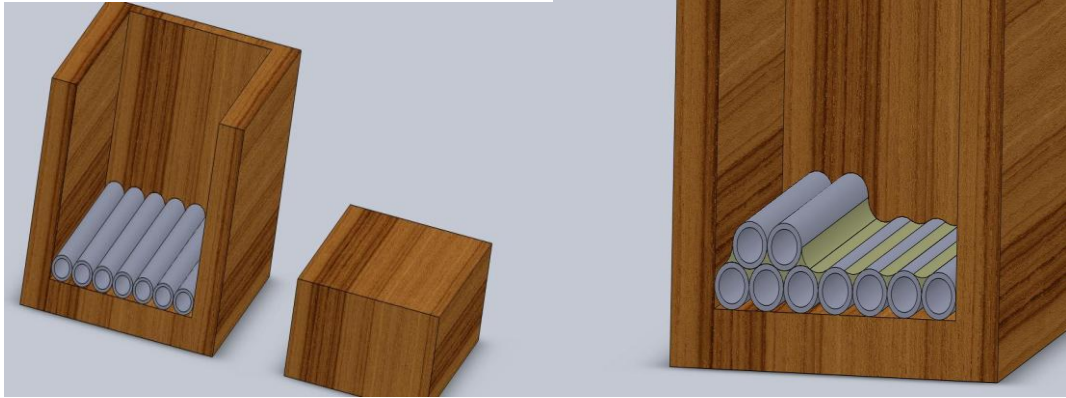
3.3. Yapıştırıcı özellikleri

Sandviç kompozit imalatımızda çift bileşenli yüksek performanslı yapısal metal-metal yapıştırıcı kullanılmıştır. Kullanılan yapıştırıcı ayrı ayrı tüm boru profil yüzeylerine sürüldükten sonra 1 gün boyunca kurumaya bırakılmıştır, ayrıca alt ve üst yüzey örtüsünün yapıştırılmasında yine bu yapıştırıcı ile yapılmıştır. Kullandığımız yapıştırıcı oda sıcaklığında hızlı donma özelliği olan $-30C^{\circ}$ ve $+150C^{\circ}$ sıcaklık değerleri arasındaki çalışma koşullarına dayanaklı, 0.5 mm'ye kadar olan boşlukları doldurabilme özelliğindedir.



Şekil 3.3. Kullanılan çift kompozitli yapıştırıcı ve karıştırıcı uç tertibatı

Kesme dayanımı alüminyum-alüminyum birleştirme uygulamaları için 22.4 N/mm^2 'dir. Yapıştırıcı uygulanmadan önce boru profillerin yüzey temizliği yapılmış yağ ve artık maddelerden arındırılarak kurumaya bırakılmıştır. Kuruma işleminden sonra kalıplama ve yapıştırma işlemine başlanmıştır.



Şekil 3.4. Alüminyum boruların kalıba yerleştirilmesi teorik

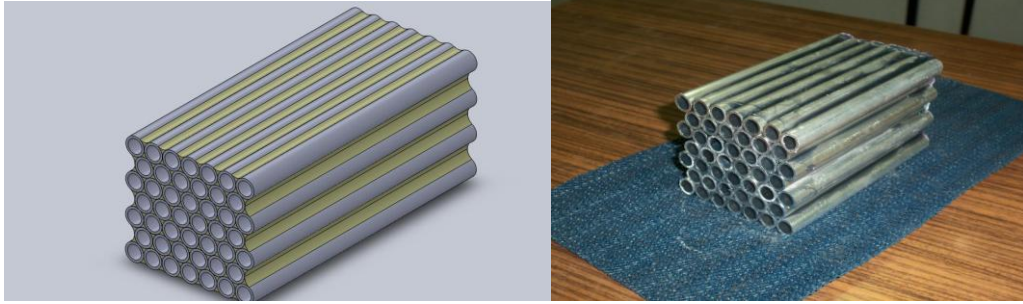


Şekil 3.5. Alüminyum borulara kalıpta yapıştırıcı uygulanması



Şekil 3.6. Alüminyum boruların kurumaya bırakılması

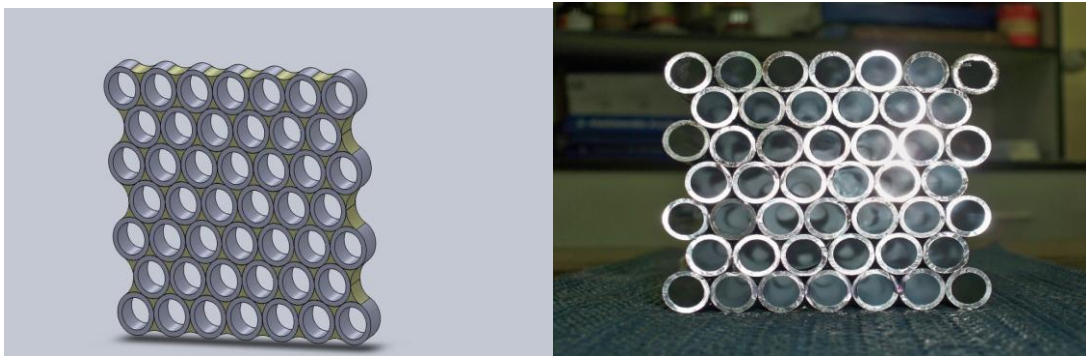
Elde edilen yapı 1 gün boyunca kalıpta bekletildikten sonra kalıptan çıkarıldı ve 10 mm genişlikte enlemesine kesildi. Kesme işleminden sonra yüzeydeki çapak artıkları temizlenerek parlatma işlemi yapıldı.



Şekil 3.7. Alüminyum boruların kalıptan çıkmış hali ve kurumaya bırakılması



Şekil 3.8. Alüminyum boruların 10 mm kalınlıkta kesme ve yüzey temizliği işlemi



Şekil 3.9. Alüminyum boruların 10 mm kalınlıkta kesilmiş hali ve önden görünüşü

Elde edilen dairesel birim hücrelere kalınlığı 1mm olan alt ve üst yüzey örtüsü, alüminyum levhalar yapıştırıldı ve kurumaya bırakıldı böylece sandviç kompozit deney numuneleri imal edilmiş oldu.



Şekil 3.10. Elde edilen sandviç kompozit ve kesiti

3.4. Düşük hızlı çarpma test cihazı

Bu çalışmada Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mekanik Laboratuvarında bulunan CEAST marka darbe test cihazı kullanılmıştır. Bu cihazın özellikleri Tablo 3.2'de verilmiştir. [10]

Tablo 3.2. Düşük Hızlı Çarpma Test Cihazı Özellikleri

SERBEST DÜŞME ARALIĞI	30-1100 MM
ÇARPMA HIZI	0.75-4.6 M/S
MAKSİMUM AĞIRLIK	70 KG
MAKSİMUM POTANSİYEL ENERJİ	755J (İLAVE ENERJİ SİSTEMİ İLE 1800J)
VURUCU ÇAPI	20MM (MAX:52MM)
NUMUNE ÇAPI	40MM
ÇARPMA KUVVETİ ARALIĞI	0-40KN
DATA OKUMA	1000 DATA/MS (2MHZ)



Şekil 3.11. CEAST marka çarpma test cihazı

3.5. Yöntem ve deneylerin gerçekleştirilmesi

Deneysel çalışmamızda imalatını tamamladığımız sandviç kompozitlere 5.045 kg kütleye sahip vurucu ile $v=2$ m/s $v=3$ m/s $v=5$ m/s hızlarda düşük hızlı darbe deneyleri yapılmıştır. Destekli ve desteksiz olarak uygulanan yükler altında farklı çaplardaki alüminyum hücreli yapının davranışları incelenmiştir.

Deneylere başlamadan önce numunelerin üzerine hangi vurucu hızı çalışılacağı ve destekli yada desteksiz test aşaması için kodlama yapılmıştır. Bu kodlar ile birlikte deneyler tamamlanmış ve temas kuvveti-zaman, deformasyon-zaman, kinetik enerji zaman ve temas kuvveti- deformasyon grafikleri oluşturulmuştur.

Elde ettiğimiz grafikler deneyler sonrası malzeme hasarları ile karşılaştırılarak boru çapındaki değişimin hasara etkisi incelenmiştir.

4. BÖLÜM

DENEYSEL BULGULAR

Çalışmamızda imal ettiğimiz Ø8, Ø10 ve Ø12 mm silindirik birim hücreli sandviç kompozitin farklı birim hücre çapında ve darbe hızında darbe davranışı incelenmiştir, ayrıca aynı çap ve vurucu hızlarında alt yüzey örtüsü altına yerleştirilen destek (şekil 3.12.) ile de numuneler üzerinde testler yapılmış ve malzemenin darbe davranışları incelenmiştir. Her bir çaptaki sandviç kompozit için 2, 3 ve 5m/s çarpma hızlarında darbe deneyi uygulanmıştır. Ayrıca yine farklı çaplardaki sandviç kompozitlerin alt yüzey örtüsü altına destek yerleştirilerek 2, 3 ve 5m/s vurucu hızlarında test edilmiş ve elde edilen veriler temas kuvveti-zaman, kinetik enerji-zaman, temas kuvveti deplasman grafiklerine aktarılmıştır.

4.1. Birim hücre çapındaki değişikliğin darbe davranışına etkisi

Ø8, Ø10 ve Ø12 mm çaplarında imal edilmiş 1 mm alüminyum alt ve üst yüzey örtüsüne sahip sandviç kompozit deney numuneleri alt yüzey örtüsü altına destek yerleştirilerek ve destek olmadan darbe testlerine tabi tutulmuştur.

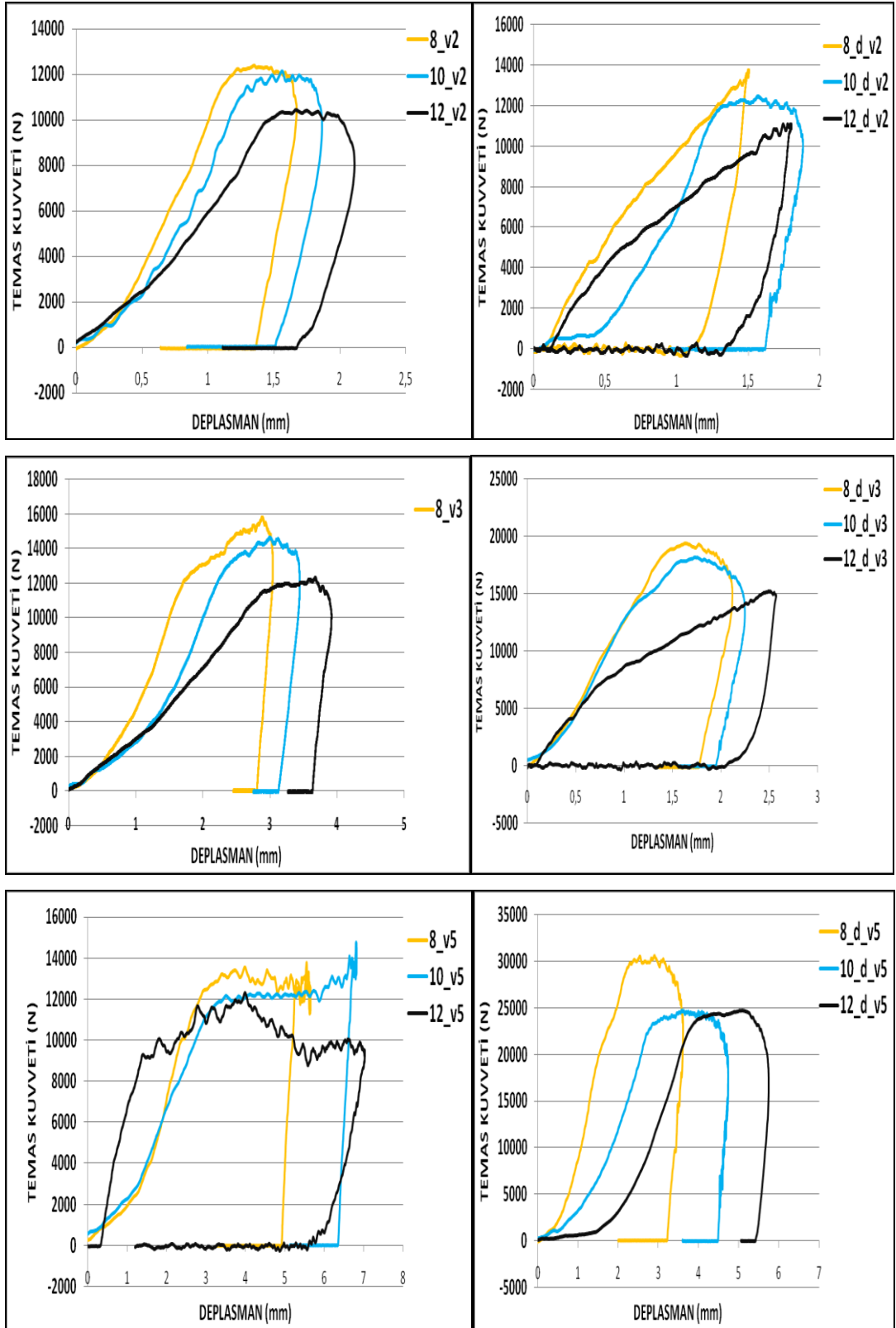
Desteksiz çalışılan numunelerle elde edilen grafikler ve hasar izleri birlikte incelendiğinde, Ø8 mm birim hücre çapında 2m/s darbe hızı ile çalışılan numunede temas kuvveti Ø10 ve Ø12 mm birim hücre çapında çalışılan numunelere göre yüksek değerde olup yine Ø8 mm birim hücre çapında 3m/s ve 5m/s hızlarında darbe hızı ile yapılan deneyler ile Ø10 mm ve Ø12 mm birim hücre çapında 3m/s ve 5 m/s hızlarında çalışılan numuneler ile kıyaslandığında Ø8 mm birim hücre çapındaki numunenin temas kuvveti değerleri diğer numunelere göre yüksektir (Şekil 4.7.), ayrıca Ø10 mm çapında birim hücre çapında imal edilen sandviç kompozit ile Ø12 mm birim hücre çapındaki

sandviç kompozit numuneleri aynı hızlarda düşük hızlı darbe testine tabi tutulmuş ve temas kuvveti-zaman grafikleri incelenmiştir. Ø12 mm birim hücre çapındaki numunelerde elde edilen temas kuvveti değerleri Ø10 mm birim hücreli sandviç kompozite göre daha düşüktür (Şekil 4.7.) bunun sebebi hücre çapı büyüdükçe darbe test cihazının darbe ucu malzeme içine daha fazla batması ve malzeme rijitliğinin azalmasıdır. (Şekil 4.2.)

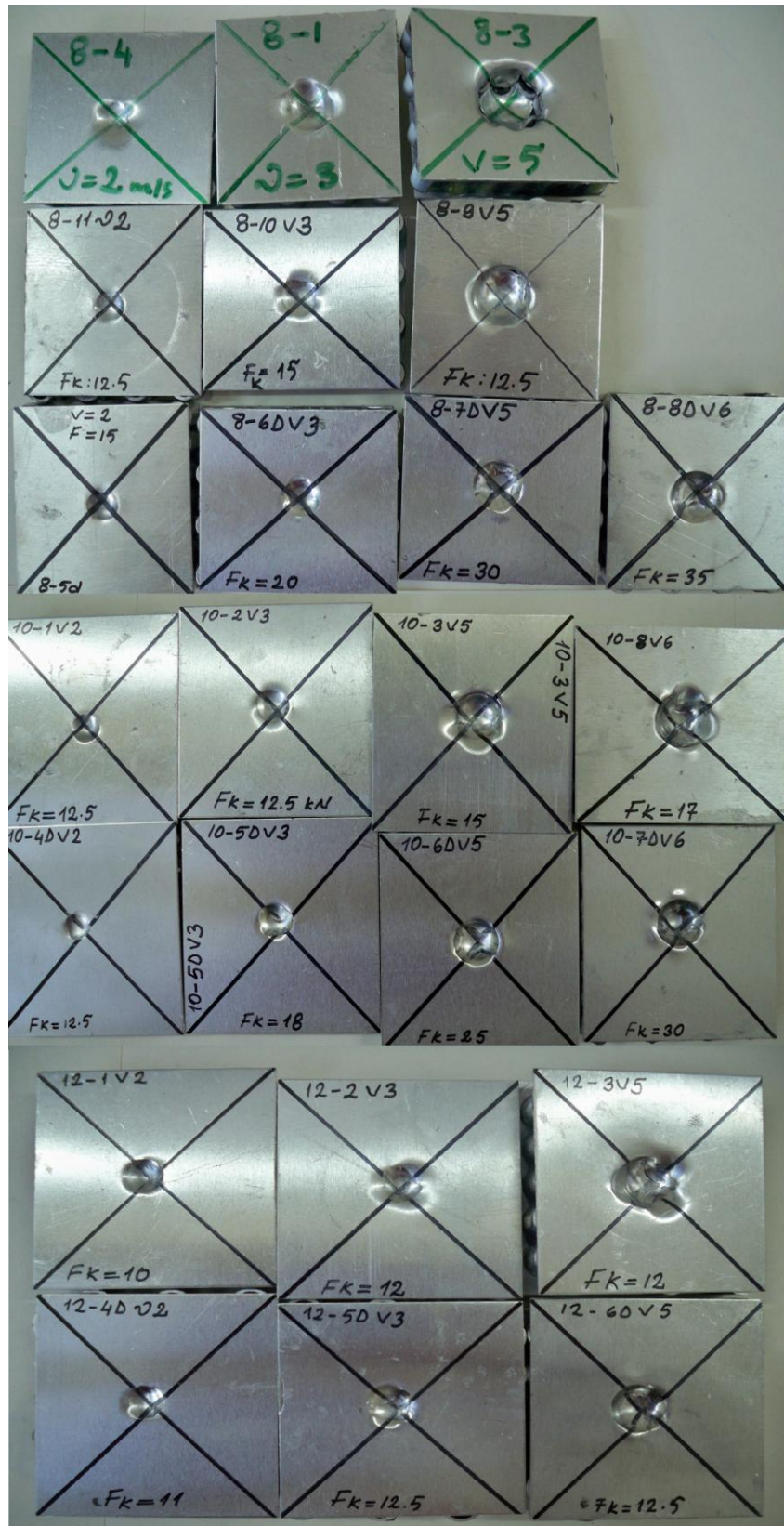
Desteksiz çalışılan numunelerin Ø8, Ø10 ve Ø12 mm birim hücre çapında kinetik enerji-zaman grafikleri incelendiğinde Ø8 mm birim hücre çapındaki numunenin kinetik enerji başlangıç değeri daha küçük olup etki ettiği süre büyük çaptaki birim hücreli numunelere göre daha uzundur. Bunun sebebi küçük çaptaki numunenin daha rijit bir davranış göstererek plastik deformasyona karşı koymasındadır. Ø10 ve Ø12 mm birim hücre çapındaki numunelerde kinetik enerji değişimi daha fazladır ve bu enerji plastik deformasyona harçanmış ve malzeme hasarı olarak karşımıza çıkmıştır. (Şekil 4.3.)

Desteksiz çalışılan numunelerin temas kuvveti-deformasyon grafikleri incelendiğinde küçük çaptaki birim hücreli numunelerde temas kuvveti değerleri daha yüksek ve deplasman süreleri daha kısadır. Birim hücre çapı arttıkça vurucu uç malzeme içerisine daha fazla gömülmekte ve birim hücre hasarı başlamaktadır ayrıca alt yüzey örtüsünde hasar oluştuğu için vurucu uç malzeme üzerinde sekmeyerek malzeme içerisinde ilerleme hareketini sürdürmektedir bu nedenle büyük çaptaki numunelerde deplasman süresi uzamakta ve temas kuvveti değeri düşmektedir. (Şekil 4.1.)

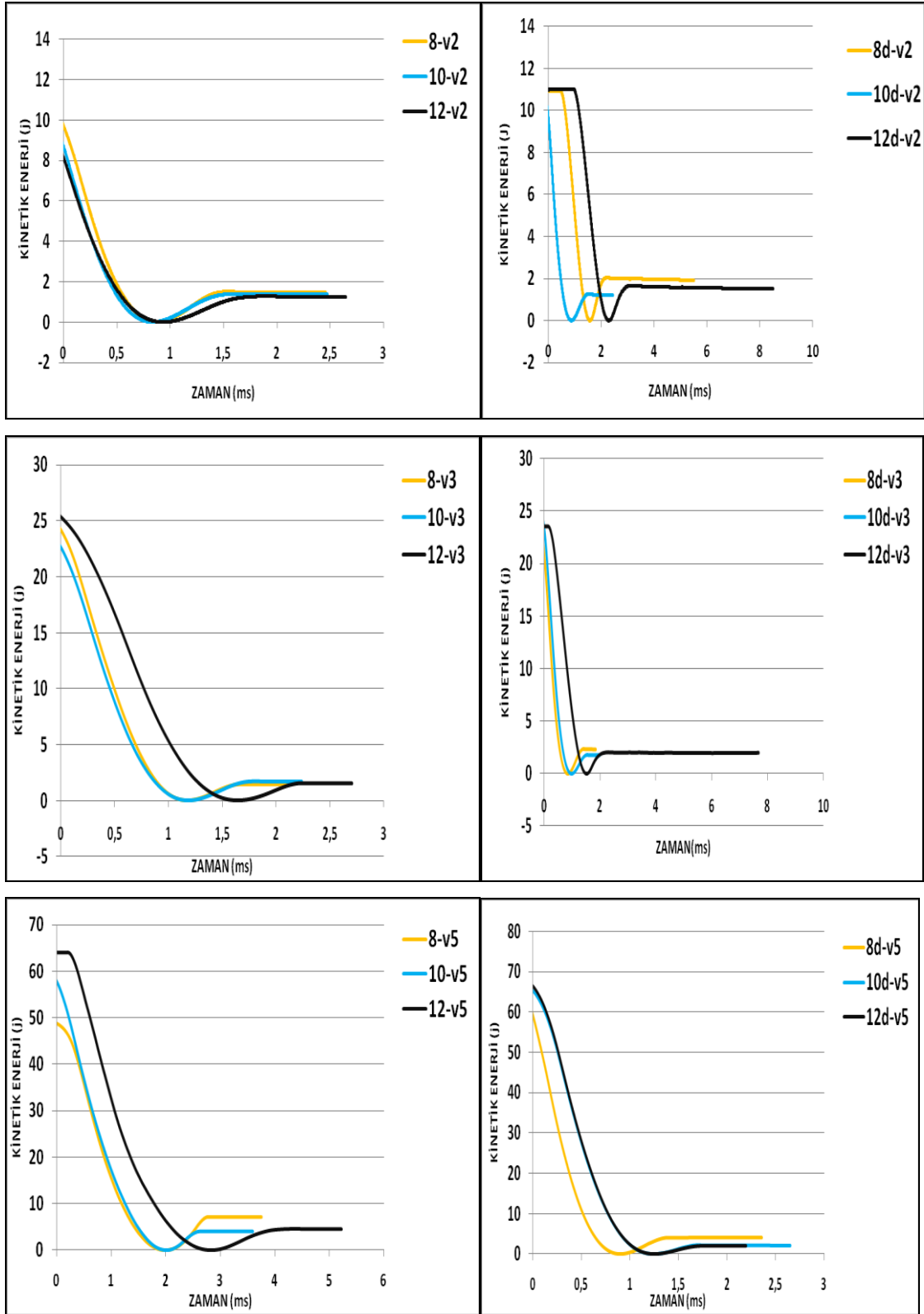
Çalışılan numunelerin darbe testinden sonra hasar kesitleri incelendiğinde, desteksiz olarak çalışılan numunelerden Ø8 mm birim hücre çapındaki numunede 2 m/s hızında sadece üst yüzey örtüsünde ezilme meydana gelmiştir. Ø10 mm birim hücre çapındaki numunede 2 m/sn hızında üst yüzey örtüsünde ezilme ve birim hücre ile üst yüzey örtüsünün temas noktasında plastik deformasyon başlangıcı görülmüştür. Ø12 mm birim hücre çapındaki numunede ise üst yüzey örtüsü ile birim hücrede hasar mevcuttur. (Şekil 4.4.)



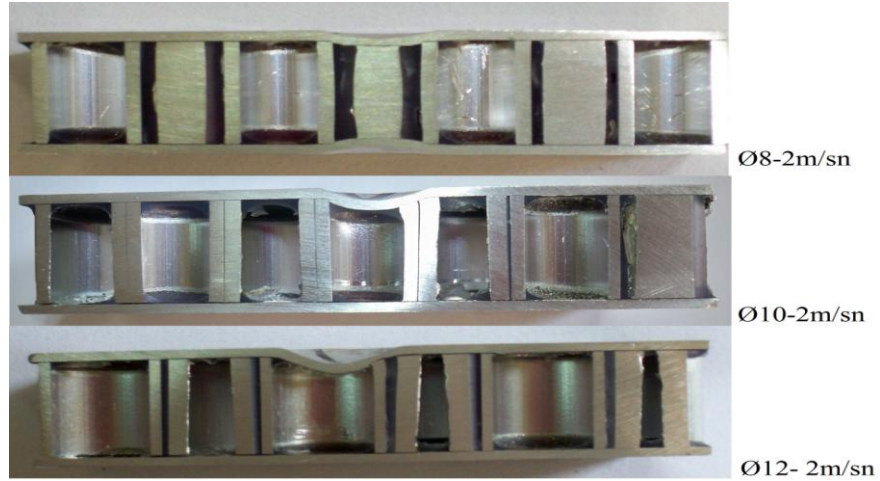
Şekil 4.1. Ø8, Ø10, Ø12 mm çaplarında destekli (d) ve desteksiz çalışılan numunelerin aynı vurucu hızlarında karşılaştırmalı temas kuvveti-deplasman grafikleri



Şekil 4.2. Ø8, Ø10, Ø12 mm çaplarında destekli (d) ve desteksiz çalışılan numunelerin üzerinde oluşan vurucu izleri



Şekil 4.3. Ø8, Ø10, Ø12 mm çaplarında destekli (d) ve desteksiz çalışılan numunelerin aynı vurucu hızlarında karşılaştırmalı kinetik enerji-zaman grafikleri

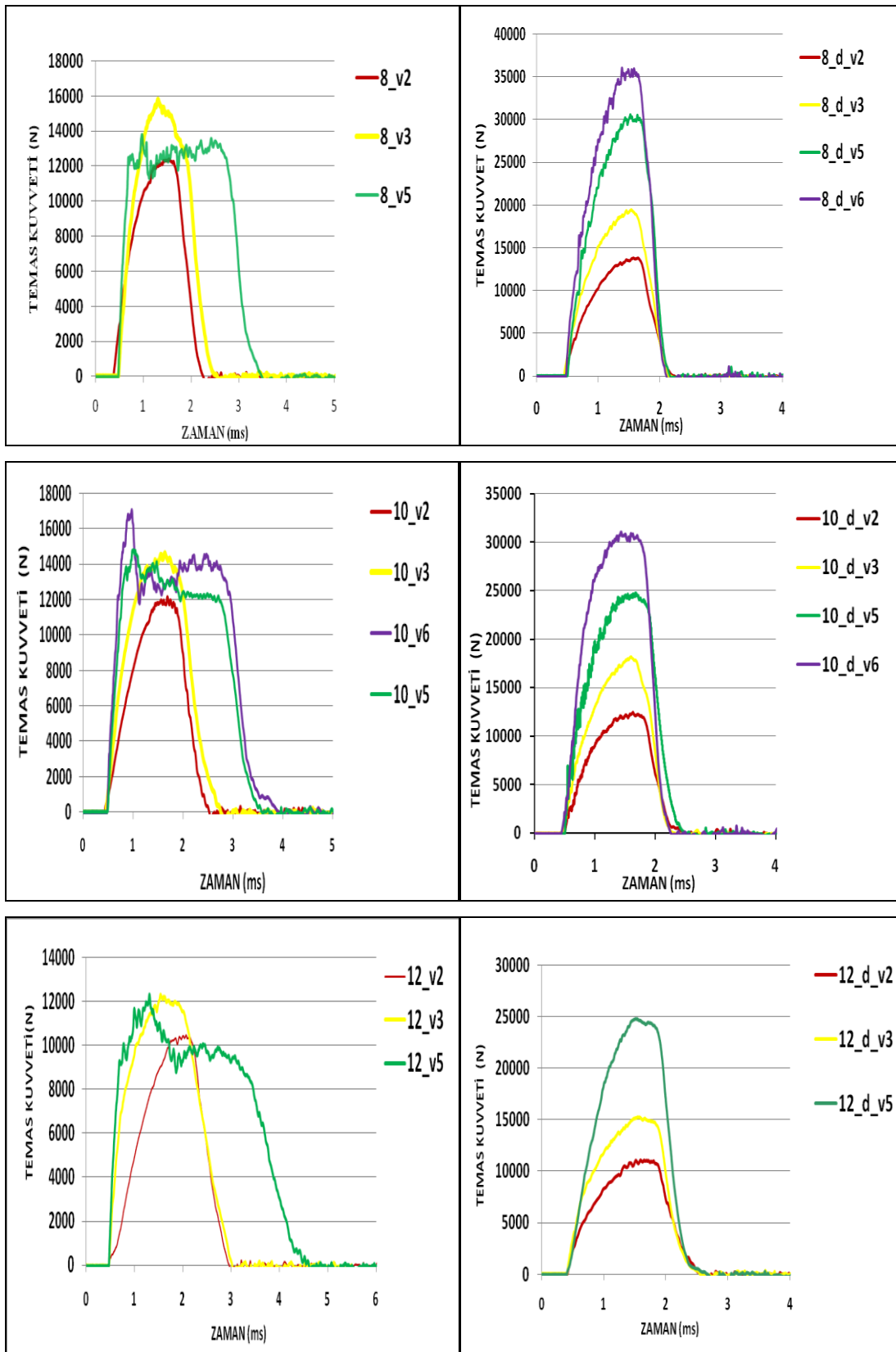


Şekil 4.4. Ø8, Ø10 ve Ø12 mm çapında birim hücreli sadviç kompozitin desteksiz olarak 2m/s hızında vurucu ile darbe testi sonrası numunenin kesiti

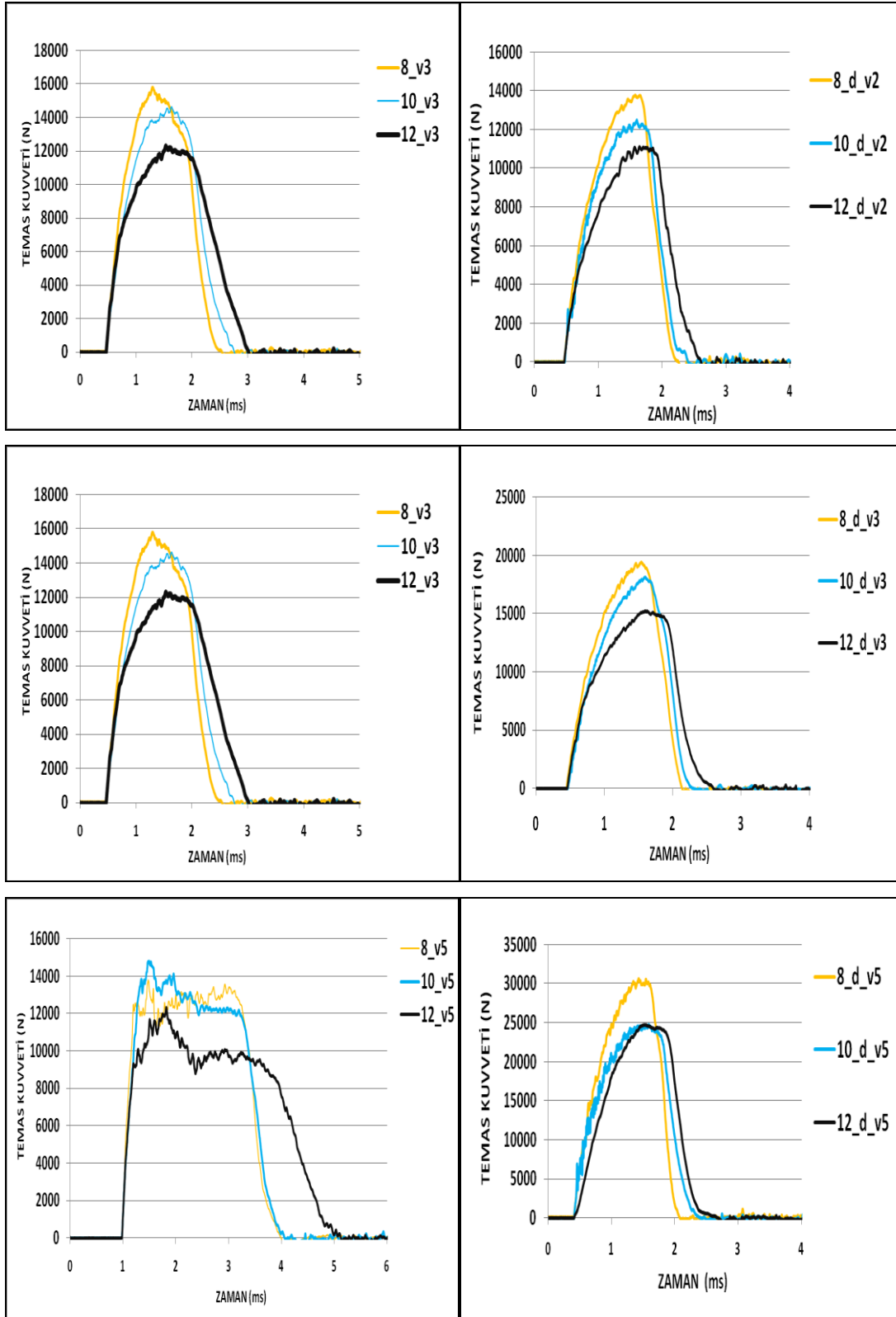
3 m/s darbe hızında desteksiz yapılan deneyler sonucu elde edilen numuneler incelendiğinde Ø8 birim hücre çapındaki numunede üst yüzey örtüsünde ezilme ve birim hücrelerde hasar başlangıcı mevcuttur. Ø10 birim hücre çapındaki numunede üst yüzey örtüsünde hasar ve birim hücre kayması şeklinde hasar başlangıcı vardır. Ø12 birim hücre çapındaki numunede ise birim hücre kayması şeklindeki hasar diğer çaptaki numunelere göre aşikar şekilde daha fazladır ayrıca kayan birim hücreler alt yüzey örtüsünde ezilmeye sebep olmuştur. (Şekil 4.5.)



Şekil 4.5. Ø8, Ø10 ve Ø12 mm çapında birim hücreli sadviç kompozitin desteksiz olarak 3m/s hızında vurucu ile darbe testi sonrası numunenin kesiti

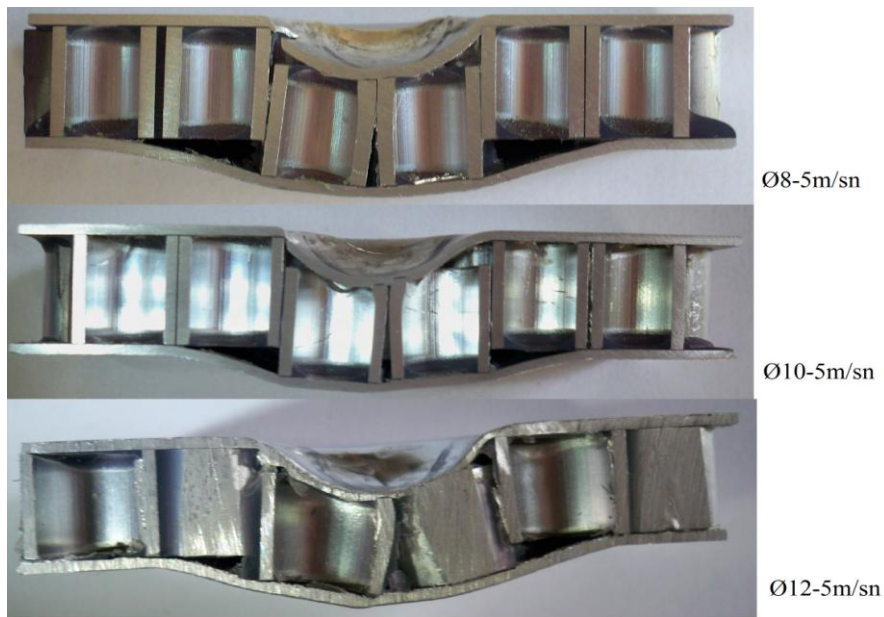


Şekil 4.6. Ø8, Ø10, Ø12 mm çaplarında destekli (d) ve desteksiz çalışılan numunelerin temas kuvveti-zaman grafikleri



Şekil 4.7. Ø8, Ø10, Ø12 mm çaplarında destekli (d) ve desteksiz çalışılan numunelerin aynı vurucu hızlarında karşılaştırmalı temas kuvveti-zaman grafikleri

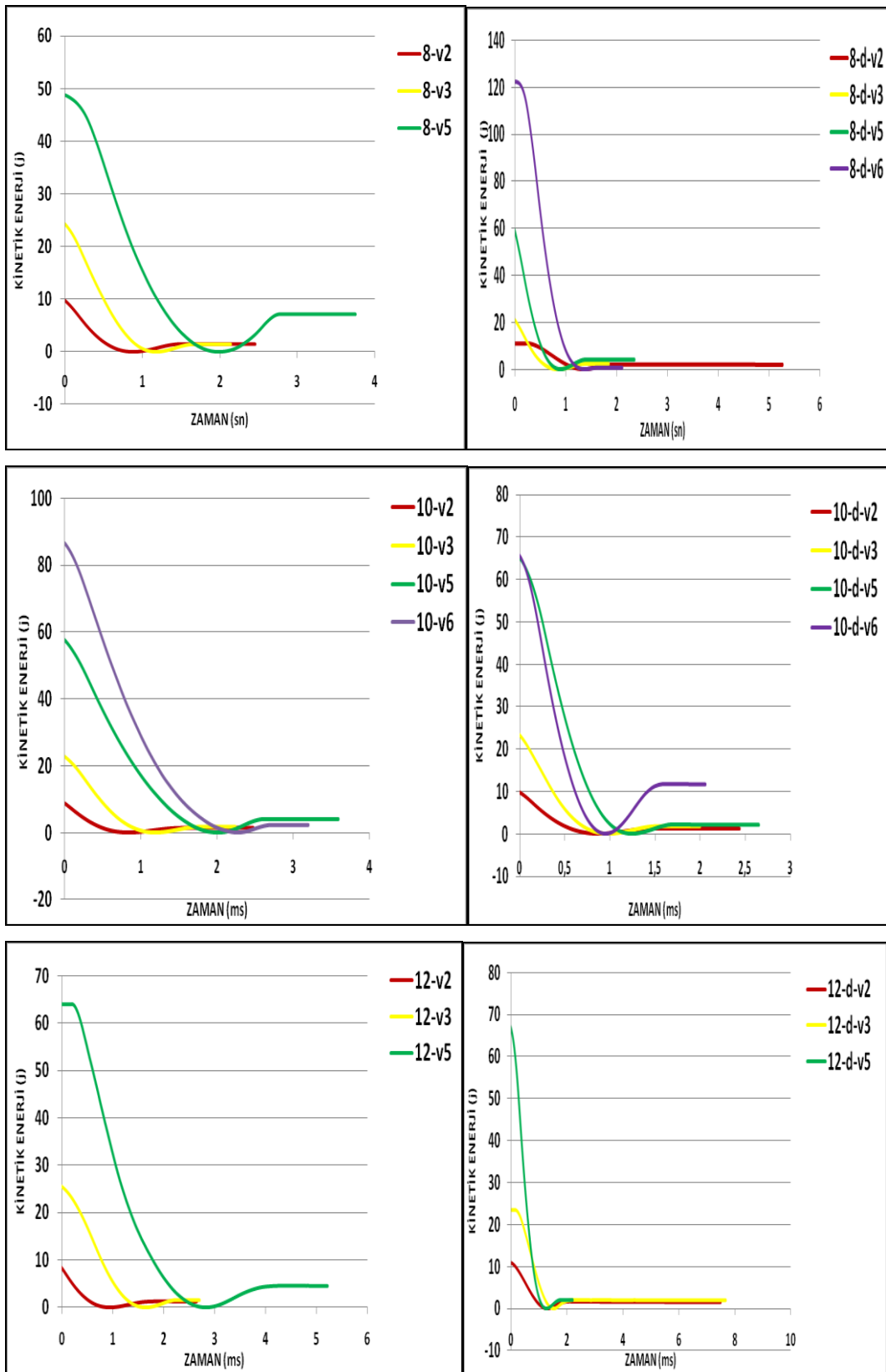
5m/sn darbe hızında desteksiz çalışılan numuneler incelendiğinde Ø8 mm birim hücre çapındaki numunede hücre kayması ve alt yüzey örtüsünde hasar görülmüştür. Ø10 mm birim hücreli numunede hücre kayması ve alt yüzey örtüsünde hasar ve birim hücre çeperlerinde hasar başlangıcı vardır aynı hızda Ø12 mm birim hücre çapında numunede ise alt yüzey örtüsü birim hücreden ayrılmaya başlamış ve birim hücre duvarları ezilmiş ve alt yüzey örtüsü hasar görmüştür. Bu hızda Ø12 mm birim hücreli numune delinmeye yaklaşmıştır. (Şekil 4.8.)



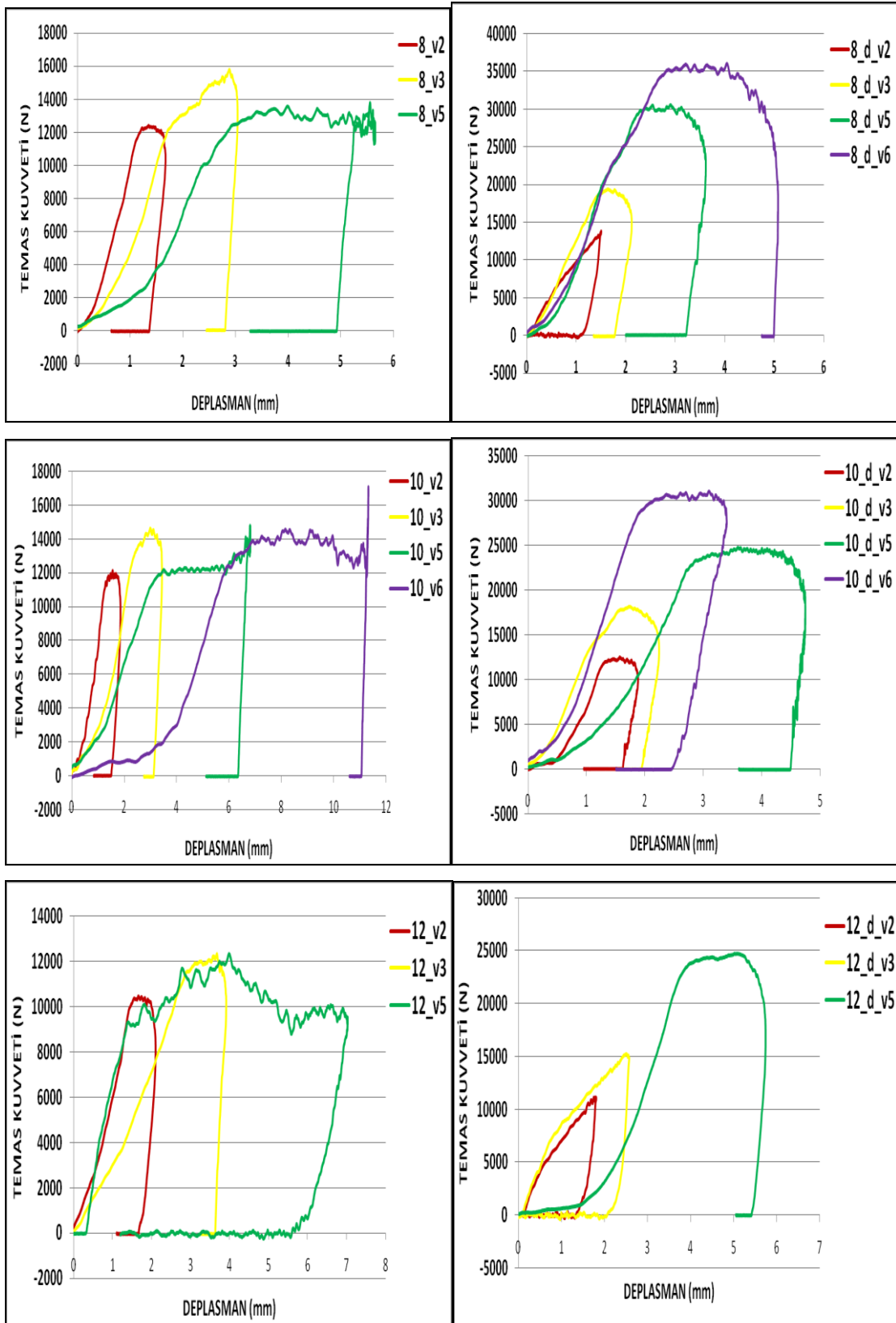
Şekil 4.8. Ø8, Ø10 ve Ø12 mm çapında birim hücreli sadviç kompozitin desteksiz olarak 5m/s hızında vurucu ile darbe testi sonrası numunenin kesiti

4.2. Vurucu hızının darbe dayanımına etkisi

Desteksiz çalışılan numunelerde aynı birim hücre çapında vurucu hızı artırıldığı zaman temas kuvveti değeride artmıştır. (Şekil 4.6.), kinetik enerji-zaman grafikleri incelendiğinde vurucu uç hızı arttıkça kinetik enerji başlangıç değeri artmakta ve plastik deformasyona harcanan enerji büyümektedir. (Şekil 4.9.) Numuneler üzerindeki iz çaplarındaki artış temas kuvveti-deplasman grafiklerinde vurucu uç hızı arttıkça deplasman süresinin uzamasıyla görülmektedir. (Şekil 4.10.)



Şekil 4.9. Ø8, Ø10, Ø12 mm çaplarında destekli (d) ve desteksiz çalışılan numunelerin kinetik enerji-zaman grafikleri



Şekil 4.10. Ø8, Ø10, Ø12 mm çaplarında destekli (d) ve desteksiz çalışılan numunelerin temas kuvveti-deplasman grafikleri

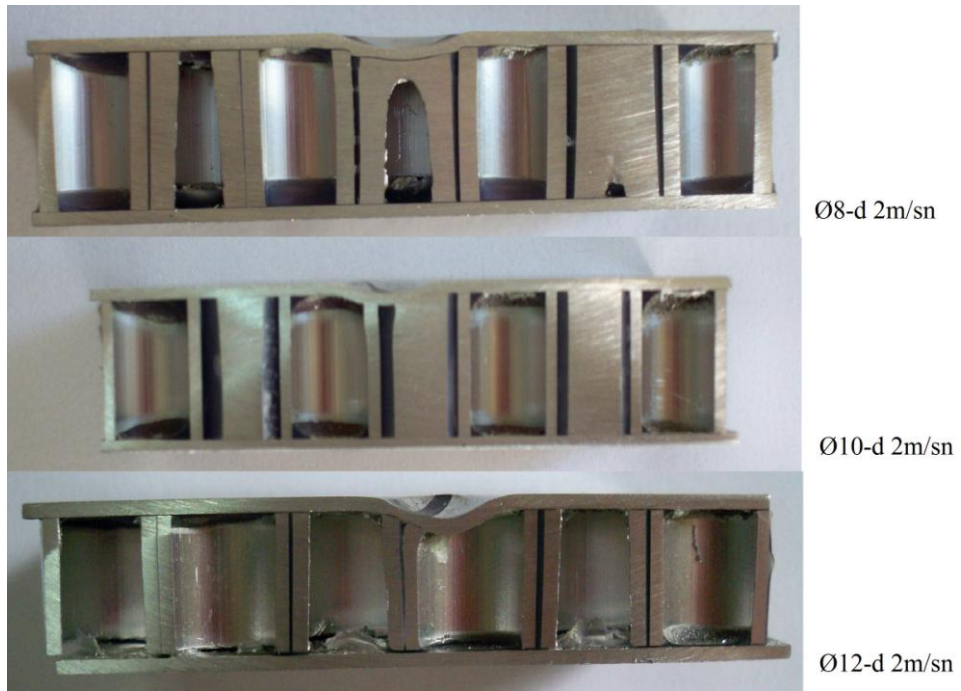
Numunelerin deneyler sonucu elde edilen kesitleri incelendiğinde aynı çaplarda vurucu hızı arttıkça oluşan iz büyümektedir. (Şekil 4.2.) ayrıca vurucu uç daha fazla mazleme içerisine batmakta ve birim hücre duvarlarında hasar meydana gelmektedir. Vurucu hızı arttıkça plastik deformasyona bağlı deplasman miktarı artarak birim hücre kayması meydana gelmiştir. Ø12 mm birim hücre çapında ki numunelerde hücre kayması ve birim hücre hasarı görülmüştür bununla birlikte alt yüzey örtüsünde ezilme vardır. (Şekil 4.8.)

4.3. Yapının desteklenip desteklenmemesine bağlı olarak deformasyon davranışı

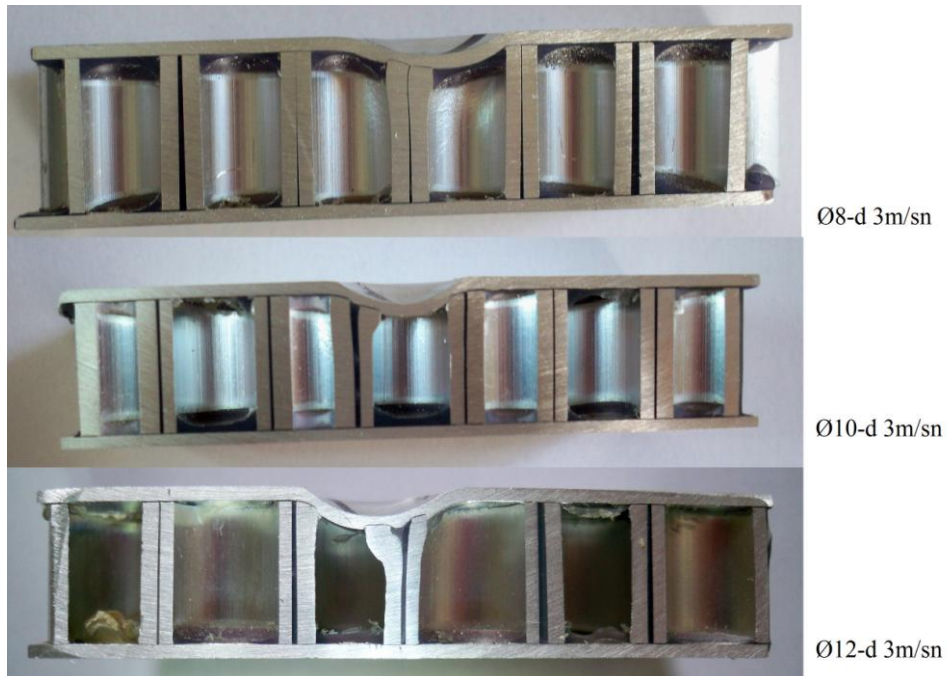
Destekli çalışılan numuneler incelendiğinde temas kuvveti değerleri vurucu hızındaki artış ile paralel bir şekilde artmıştır. Aynı çapta aynı vurucu hızında darbe testi uygulanan numuneler kıyaslandığında; destekli darbe deneyine tabi tutulan numunelerde temas kuvveti desteksiz darbe deneyine tabi tutulan numunelere göre daha yüksek değerlerdedir. Destekli çalışılan numuneler vurucu ucun malzeme içerisinde ilerlemesine daha fazla karşı koyarak alt yüzey örtüsü altına yerleştirilen destek sayesinde birim hücre kayması engellenerek malzeme hasarı tolere edilmiştir. (Şekil4.6.)

Kinetik enerji-zaman grafikleri incelendiğinde destekli çalışılan numunelerde kinetik enerji değişimi desteksiz çalışılan numunelere göre daha azdır bunun nedeni plastik deformasyona harcanan kinetik enerjinin düşük olmasıdır bununla birlikte destekli çalışılan numunelerde temas kuvveti-deplasman grafiklerinde deplasman sürelerinin aynı çapta aynı vurucu hızında çalışılan numuneler ile kıyaslandığında daha kısa sürdüğü görülmektedir. (Şekil 4.10.)

Destekli ve desteksiz yapıların hasar kesitleri incelendiğinde birim hücre kaymasının destekli çalışılan malzemelerde meydana gelmediği görülmüştür, fakat birim hücre duvarlarında ezilme oluşmuştur. Destekli çalışılan numunelerinde birim hücre kayması olmadığı için alt yüzey örtüsünde hasar görmemiştir. (Şekil 4.11, 4.12, 4.13)



Şekil 4.11. Ø8, Ø10 ve Ø12 mm çapında birim hücreli sadviç kompozitin destekli olarak 2m/s hızında vurucu ile darbe testi sonrası numunenin kesiti

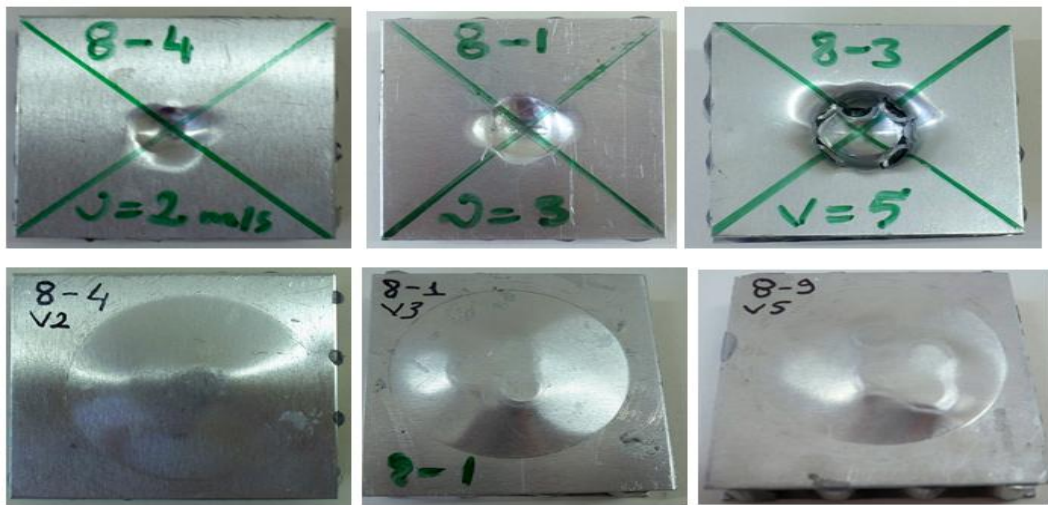


Şekil 4.12. Ø8, Ø10 ve Ø12 mm çapında birim hücreli sadviç kompozitin destekli (d) olarak 3m/s hızında vurucu ile darbe testi sonrası numunenin kesiti



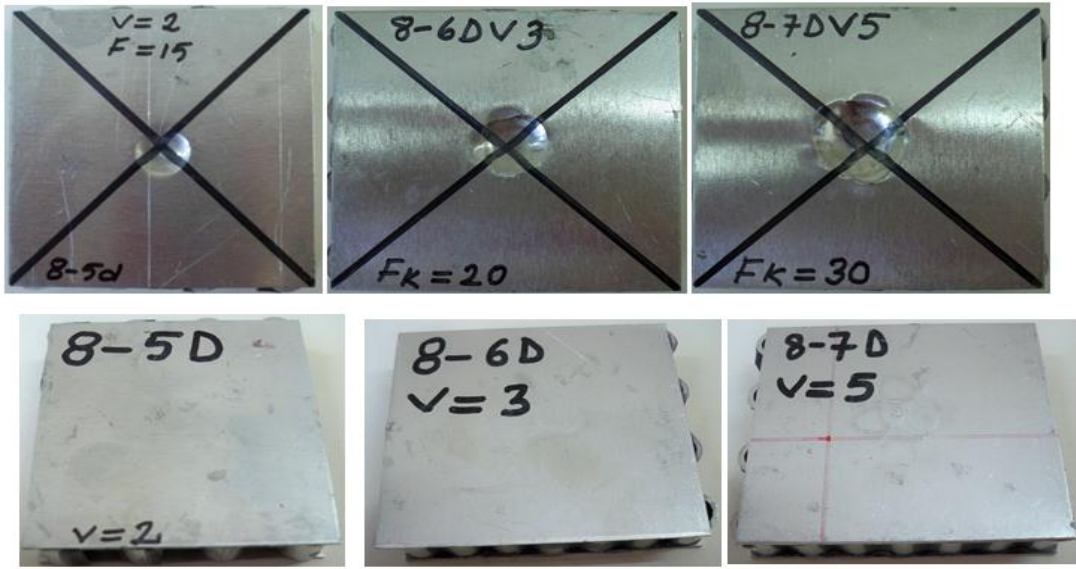
Şekil 4.13. Ø8, Ø10 ve Ø12 mm çapında birim hücreli sandviç kompozitin destekli olarak 5m/s hızında vurucu ile darbe testi sonrası numunenin kesiti

Vurucu hızındaki artışın desteksiz aynı çaptaki sandviç kompozite olan etkileri incelendiğinde vurucu hızı artıkça Ø8 mm çaplı sandviç kompozit malzeme üst yüzey örtüsünde yırtılmanın başladığı ve 5m/s hızında üst yüzey örtüsünün delinerek zarar gördüğü görülmüştür. Alt yüzey örtüsünde ise birim hücrelerde vurucu hızı arttıkça ayrılmaların olduğu ve zımba etkisi yaparak malzeme alt yüzeyini hasara uğrattığı görülmüştür.



Şekil 4.14. Ø8 mm çapında birim hücreli sandviç kompozitin desteksiz olarak 2,3 ve 5m/s vurucu hızlarında deneyden sonra alt ve üst yüzey örtüsünün hasar durumu

Destekli çalışılan numunelerde ise desteksiz çalışılan numunelerdeki hasara benzer bir şekilde malzeme üst yüzey örtüsünde vurucu hızındaki artışa paralel olarak vurucu izi büyümüştür. Fakat malzeme alt yüzeylerinde sandviç kompozit altına yerleştirilen desteğin birim hücrelerin kaymasına engel olması neticesinde bir hasar oluşmamıştır.



Şekil 4.15 Ø8 mm çapında birim hücreli sandviç kompozitin destekli olarak 2,3 ve 5 m/s vurucu hızlarında deneyden sonra alt ve üst yüzey örtüsü hasar durumu

5. BÖLÜM

TARTIŞMA –SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar ve değerlendirme

1. Desteksiz darbe deneyi yapılan numunelerde birim hücre çapı büyüdükçe sandviç kompozit üzerinde meydana gelen vurucu izi büyümektedir ayrıca hasar analizlerinde sandviç kompozitin kesiti incelendiğinde büyük çaplı birim hücreli sandviç kompozitlerde birim hücre kayması görülmüştür.
2. Desteksiz küçük çaptaki birim hücreli sandviç kompozitlerin rijitliği yine desteksiz olarak çalışılan büyük birim hücreli sandviç kompozitlere göre daha yüksektir.
3. Destekli çalışılan numunelerde alt yüzey örtüsü hasar görmemiştir.
4. Destekli çalışılan numunelerde birim hücre kayması görülmemiştir.
5. Destekli düşük hızda vurucu hızı ile çalışılan sandviç kompozitlerde sadece üst yüzey ezilmesi görülmüştür.
6. Darbe deneylerinde düşen ağırlığın vurucu ucu numuneden geri sekebilir, saplanıp kalabilir veya delip geçebilir yaptığımız desteksiz darbe deneyi sonucu hiçbir numunede vurucu uç numuneyi delip geçmemiştir fakat 3m/sn'nin hızı kritik sınır olduğu görülmüştür. Bu hız değerinden daha yüksek hızlarda yapılan darbe deneylerinde desteksiz olarak darbe deneyine maruz bırakılan sandviç kompozitin alt yüzey örtüsünde zarar görmüş ve numune delinmeye yaklaşmıştır.

5.2. Öneriler

Yapılan bu çalışmayla elde edilen sonuçlar ile deney parametrelerinde yapılacak değişiklikler ile elde ettiğimiz sandviç kompozitin ilerlemesine katkıda bulunabiliriz.

- 1- Alt ve üst yüzey örtüsünün kalınlığı değiştirilebilir.
- 2- Kullanılan alüminyum yüzey örtüsü yerine farklı yüzey örtüleri kullanılarak darbe dayanımına ve hasar karakterine etkisi ile ilgili bir çalışma yapılabilir. Bu şekilde birim hücrenin sandviç kompozitin dayanımına sağladığı direnç yanında alt ve üst yüzey örtüsünün sandviç kompozit dayanımında ki rolü tespit edilmiş olur.
- 3- Birim hücre çaplarını değiştirerek ve vurucu hızlarını artırarak bu çalışmamızla kıyaslayarak daha net ve farklı sonuçlara ulaşılabilir.
- 4- Çalışmamızda yaptığımız düşük hızlı darbe deneyleri oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Sıcaklığın darbe dayanımına etkisini öğrenmek için farklı sıcaklık değerlerinde darbe testleri yapılarak sandviç kompozitler üzerinde sıcaklık faktörünün etkisi irdelenebilir.
- 5- Bu çalışmada çift kompozitli metal-metal yapıştırıcı kullanılmıştır. Farklı yapıştırıcılar ile sandviç kompozit imalatı yapılabilir.

KAYNAKLAR

- 1- KAZANÇ V. 2002. Kompozit Malzemeler ve Kullanım Alanları, Süleyman Demirel Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bitirme Ödevi, Isparta, 45s.
- 2- Arslan N., Kaman M. O., 2002. Alüminyum, kağıt ve cam elyaf petek yapılı kompozitlerin üretim teknikleri ve mekanik özelliklerinin araştırılması, **DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi** 4(3), 113-123.
- 3- Pehlivanoglu V.Y., 2005. Havacılıkta kullanılan petek yapılar, **Havacılık Ve Uzak Teknolojileri Dergisi** 2(2): 37-41.
- 4- Materials Science And Engineering, University Of Virginia, USA, Periodic Cellular Materials: topology, (Web page: <http://www.ipm.virginia.edu/newres/pcm.topo/>), (Erişim tarihi: Ekim 2013).
- 5- Öztürk U.A., 2009. Sandviç Kompozitlerde Balpeteği Yapısının Optimizasyonu, Dokuz Eylül Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir, Bitirme Projesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 70 s.
- 6- Kinet A., 2008. Tabakalı Kompozit Malzemelerin Serbest Titreşim Analizi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Araştırma Projesi, İzmir, 31 s.
- 7- Hexcel Composites, 2000. "Hexweb Honeycomb Sandwich Design Technology, (web page: <http://www.hexcel.com/Resources/DataSheets/Brochure-Data-Sheets /Honeycomb Sandwich Design Technology.pdf>), (Erişim tarihi: Ekim 2013)
- 8- Ural A., Zehnder T. A., Ingraffea R. A., 2003. Fracture mechanics approach to facesheet delamination in honeycomb: measurement of energy release rate of the adhesive bond. **Engineering Fracture Mechanics**, 70: 93-103
- 9- Toma Ç., 2007. Sandviç Kompozit T bağlantılarında Gerilme Analizi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bitirme Projesi, İzmir, 42 s.
- 10- Aydın, M., 2009. Düşük Hızlı Çarpma Yükleri Altında Fonksiyonel Kademelendirilmiş Dairesel Plakaların Mekanik Davranışlarının İncelenmesi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 91 s.
- 11- Ercan H., 2006. Uçak sanayinde kullanılan Balpeteği Kompozitlerin Mekanik Davranışlarının İncelenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 198 s.

- 12- Solmaz Y. M., Şanlıtürk H. İ., 2010. Özben T., Petek Yapılı Sandviç Yapılarda Köpük Dolgunun Kritik Burkulma Yüküne Etkisinin Sayısal Olarak Tespiti, 2. Ulusal Tasam İmalat Ve Analiz Kongresi, Balıkesir, 1-8.
- 13- Solmaz Y. M., Kaman O. M., Turan K., Turgut A., 2010. Petek yapılı kompozit levhaların eğilme davranışlarının incelenmesi. **Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 22(1): 1-11.
- 14- Turan K., Kaman O. M., Gür M., 2009. Dairesel delikli tabakalı kompozit levhalarda deneysel ve sayısal hasar analizi, **5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu**, Karabük, 1-6.
- 15- Turan K., Kaman O. M., 2011. Kompozit yama ile tamir edilmiş tabakalı kompozit levhalarda ilerlemeli hasar analizi, **6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)**, Elazığ, 1-6.
- 16- Cao H., Qian K., Wei K., Li H., 2011. Compression After Impact Of 3-D Integrated Hollow Core Sandwich Composites, Jiangnan University, Refereed Research.
- 17- Belevi M., İnançer G., 2004. Darbe ve ortam şartlarının kompozit malzemelerin mekanik özelliklerin etkileri, **Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi**, 4: 9-31.
- 18- Turan M., Tabakalı kompozit malzemelerde yüksek hızlı darbe hasarı, **Mühendis Ve Makine Dergisi**, 48 (575): 1-6
- 19- Bekem A., Ercan H., Doğu M., Ünal A., 2011 Uçak sanayinde kullanılan balpeteği kompozitlerin mekanik davranışlarının incelenmesi, **6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)**, 475-480.
- 20- Sayer M., Bektaş B. N., 2009. Darbe yükü altında hibrit kompozit plakalara sıcaklığın etkisi, **Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 15 (3): 337-343.
- 21- Karakuzu R., 2007, Kompozit Plaklarda Sıcaklığın Darbe Davranışına Etkisi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Proje Çalışması, İzmir, 79 s.
- 22- Eren Y., 2007. Kompozit Yapıların Darbe Etkisinin İncelenmesi. Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya, 68 s.
- 23- Şenel M., 2009. Öngerilmeli Kompozit Plakların Düşük Hızlı Darbe Yükü Etkisi Altında Davranışlarının İncelenmesi, Dumlupınar Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Proje Çalışması, Kütahya, 168 s.

- 24- Kılıçaslan C., Odacı K., İ., 2012. Düşük hızlarda darbeye maruz kalan 1050 H14 ve 3003 alüminyum alaşımı plakalarda hasar oluşumu ve sonlu elemanlar simülasyonları, **TMMOB MMO Mühendis Ve Makine Dergisi**, 53(632):40-48.
- 25- Uyaner M., Kara M., 2007. Ataberk N., 2007. E-Camı/Epoksi Tabakalı Kompozitlerin Düşük Hızlı Darbe Davranışına Numune Boyutlarının Etkisi, **8. Uluslararası Kırılma Konferansı Bildiriler Kitabı**, 361-368.
- 26- Tortoç A., 2009. Balsa/PVC sandviç yapılarda Kırılma Tokluğu Etkisinin Nümerik Çalışması. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 64 s.
- 27- Kolat K., 2005. Farklı Ortamların Sandviç Kompozitlerin Kırılma Tokluğu Üzerindeki Etkisi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 79 s.
- 28- Haydn N, Wadley G., 2006. Multifunctional periodic cellular metals, **University Of Virginia, Philosophical transactions of the royal society A.**, 364:31-68
- 29- S. Heimbs, P. Middendorf, C. Hampf, F. Hähnel, K. Wolf, 2008. Aircraft sandwich structures with folded core under impact load, **8th International Conference on Sandwich Structures**, 369-380.
- 30- Şahin, Y., Kompozit Malzemelere Giriş, Seçkin Yayınları, Ankara, 2006.
- 31- Aydınçak, İ., 2007. Investigation of Design and Analyses Principles of Honeycomb Structures, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Kadir DANACIOĞLU

Uyruğu: Türkiye (TC)

Doğum Tarihi ve Yeri: 4 Eylül 1984, Kayseri

Medeni Durumu: Bekâr

Tel: +90 533 474 59 57

email: kadirdanaci@hotmail.com

Yazışma Adresi: Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği
Bölümü 38039 Talas/KAYSERİ

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Lisans	EÜ Mühendislik Fakültesi Makine Müh. - Kayseri	2007
Lise	Nuh Mehmet Küçükçalık Anadolu Lisesi - Kayseri	2002

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2008- Halen	Kayseri Büyükşehir Belediyesi Fen İşleri Daire Başkanlığı	İnşaat Kontrolü

YABANCI DİL

İngilizce