

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAFİF TİCARİ ARAÇLARDA PETEK YAPILI POLİPROPİLEN SANDVIÇ PANEL
KULLANARAK ARKA İÇ GÖVDE YAN PANEL MALZEMESİNİN
İYİLEŞTİRİLMESİ**

ARMAĞAN TETİK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
İMAL USULLERİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. AYŞEGÜL AKDOĞAN EKER**

İSTANBUL, 2018

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HAFİF TİCARİ ARAÇLARDA PETEK YAPILI POLİPROPİLEN SANDVIÇ PANEL
KULLANARAK ARKA İÇ GÖVDE YAN PANEL MALZEMESİNİN
İYİLEŞTİRİLMESİ**

Armağan TETİK tarafından hazırlanan tez çalışması 21.06.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

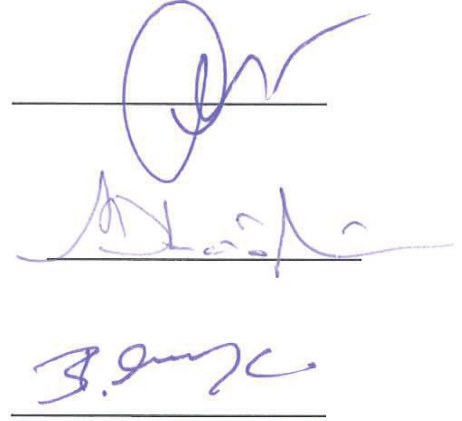
Prof. Dr. Ayşegül AKDOĞAN EKER
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Ayşegül AKDOĞAN EKER
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Adnan DİKİCİOĞLU
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Bedri Onur KÜÇÜKYILDIRIM
Yıldız Teknik Üniversitesi



ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimimin her aşamasında engin tecrübe ve bilgisi ile yolumu aydınlatan, tez çalışmasına başladığım andan itibaren her türlü desteği sağlayarak çalışmamı bitirmemi sağlayan, akademik danışmanlığın yanında manevi desteği ile her zaman moral ve motivasyonumu en üst seviyede tutmayı sağlayan değerli hocam Prof. Dr. Ayşegül AKDOĞAN EKER'e teşekkürlerimi sunarım.

Bugünlere ulaşmamda büyük pay sahibi olan ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli aileme teşekkürlerimi sunarım.

Her konuda desteklerini esirgemeyen değerli arkadaşlarım Çisem BAKOĞLU ve Haydar TURAN'a teşekkür ederim.

Haziran, 2018

Armağan TETİK

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ÖZET	xv
ABSTRACT	xvii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı.....	5
1.3 Hipotez.....	6
BÖLÜM 2	
KOMPOZİT MALZEMELER VE SINIFLANDIRILMASI	7
2.1 Matris Malzemesine Göre Sınıflandırma.....	9
2.1.1 Polimer Matrisli Kompozit Malzemeler	10
2.1.2 Seramik Matrisli Kompozit Malzemeler	11
2.1.3 Metal Matrisli Kompozit Malzemeler	12
2.2 Takviye Elemanlarının Yapısına ve Geometrisine Göre Sınıflandırma	14
2.2.1 Partikül Takviyeli Kompozit Malzemeler	14
2.2.2 Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemeler	15
2.2.3 Yapısal Kompozit Malzemeler.....	18
2.2.4 Nanokompozitler	20
2.3 Kompozit Malzemelerin Avantaj ve Dezavantajları	20
2.3.1 Kompozit Malzemelerin Avantajları.....	21
2.3.2 Kompozit Malzemelerin Dezavantajları	22

BÖLÜM 3

SANDVIÇ PANELLER VE BİLEŞENLERİ	24
3.1 Yüzey Malzemeleri	27
3.2 Çekirdek Malzemeleri.....	31
3.3 Yapıştırıcı Malzemeler	34

BÖLÜM 4

PETEK YAPILI ÇEKİRDEK MALZEMELERİ	36
4.1 Petek Yapılı Çekirdek Hücreleri.....	40
4.2 Petek Yapılı Sandviç Panellerde Malzeme Seçim Kriterleri	45

BÖLÜM 5

PETEK YAPILI SANDVIÇ PANELLERİN ÜRETİMİ	50
5.1 Petekli Yapıların Üretim Yöntemleri.....	50
5.1.1 Uzatarak Şekil Verme Yöntemi	50
5.1.2 Kıvrırma Yöntemi.....	52
5.2 Petek Yapılı Sandviç Panellerin Üretim Yöntemleri	53
5.2.1 Sıcak Presleme Yöntemi	54
5.2.2 Vakum Torbasında Üretim Yöntemi	54
5.2.3 Kalıp Metodu ile Şekil Verme Yöntemi	56
5.3 Petek Yapılı Sandviç Panellerin Avantaj ve Dezavantajları.....	58
5.3.1 Petek Yapılı Sandviç Panellerin Avantajları	58
5.3.2 Petek Yapılı Sandviç Panellerin Dezavantajları	58

BÖLÜM 6

PETEK YAPILI SANDVIÇ PANELLERİN UYGULAMA ALANLARI	60
6.1 Otomotiv Endüstrisi	61
6.2 Havacılık Endüstrisi.....	65
6.3 Denizcilik Endüstrisi.....	71
6.4 Diğer Endüstri Uygulamaları.....	73

BÖLÜM 7

DENEYSEL ÇALIŞMALAR	76
7.1 Malzeme Seçimi	77
7.1.1 Malzeme	83
7.1.2 Numunelerin Hazırlanması	88
7.2 Mekanik Testler.....	91
7.2.1 Darbe Dayanım Deneyi.....	91
7.2.2 Kırılma Dayanım Deneyi	93
7.3 Fiziksel Testler.....	93
7.3.1 Koku Deneyi	93
7.3.2 Yanmazlık Deneyi	96

7.3.3	Temizlenebilirlik Deneyi	97
7.3.4	Yapışma Mukavemeti Deneyi	100
7.3.5	Çizilme Deneyi.....	102
7.3.6	Yüzey Parlaklık Deneyi	104
7.3.7	Küllenme Deneyi	105
7.4	Termal Testler	106
7.4.1	Termal Yaşlandırma Deneyi.....	106

BÖLÜM 8

DENEY SONUÇLARI	108
8.1 Darbe Dayanım Deneyi Sonuçları	108
8.2 Kırılma Dayanım Deneyi Sonuçları	110
8.3 Koku Deneyi Sonuçları	113
8.4 Yanmazlık Deneyi Sonuçları	115
8.5 Temizlenebilirlik Deneyi Sonuçları	117
8.6 Yapışma Mukavemeti Deneyi Sonuçları	119
8.7 Çizilme Deneyi Sonuçları	120
8.8 Yüzey Parlaklık Deneyi Sonuçları	123
8.9 Küllenme Deneyi Sonuçları	124
8.10 Termal Yaşlandırma Deneyi Sonuçları	127

BÖLÜM 9

SONUÇ VE ÖNERİLER	129
KAYNAKLAR.....	133
ÖZGEÇMİŞ	138

SİMGE LİSTESİ

%	Yüzde
°C	Derece santigrat
µm	Mikrometre
d	En
E _k	Kinetik enerji
g	Yerçekimi ivmesi
GU	Yüzey parlaklık birimi
h	Çarpma yüksekliği
m	Kütle
L	Boy
t	Kalınlık
T _g	Camsı geçiş sıcaklığı
V	Hız
W/Mk	Termal iletkenlik
σ	Gerilme

KISALTMA LİSTESİ

ABS	Akrilonitril bütadien sitrien
Al	Alüminyum
Al ₂ O ₃	Alüminyum dioksit
APP	Amonyum polifosfat
ASTM	Amerikan Test ve Malzeme Kurumu
B	Bor
B ₄ C	Boron karbit
C	Karbon
CO ₂	Karbon dioksit
Cu	Bakır
FLTM	Ford laboratuvar test metodu
GPa	Gigapascal
g	Gram
GRFP	Cam elyaf takviyeli polipropilen
IFR	Köpüren alev geciktirici
ISO	Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu
kg	Kilogram
MB	Masterbatch
Mg	Magnezyum
mm	Milimetre
mL	Mililitre
MPa	Megapascal
MWCNT	Çok duvarlı karbon nanotüp
N	Newton
PA	Poliamid
PC	Polikarbonat
PEEK	Polietereterketon
PEI	Polieterimid
PP	Polipropilen
PPC	Kopolimer polipropilen
PPH	Homopolimer polipropilen
PPS	Poli fenilen sülfid
s	Saniye

SAE	Otomotiv Mühendisleri Topluluğu
SGF	Kısa cam elyaf
SiC	Silisyum karbür
SiO ₂	Silisyum dioksit
UV	Ultraviyole
W	Tungsten
Zn	Çinko



ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1 Malzemelerin sınıflandırılması	8
Şekil 2. 2 Kompozit malzemelerin genel yapısı	8
Şekil 2. 3 Takviye malzemesinin şekline göre kompozit malzemelerin sınıflandırılması.....	14
Şekil 2. 4 Elyaf takviyeli kompozitlerin elyaf dizilimi a) sürekli ve yönlenmiş b) süresiz ve yönlenmiş c) süresiz ve rasgele dağılmış.....	16
Şekil 2. 5 Özgül dayanım ve özgül modül karşılaştırılması.....	17
Şekil 2. 6 Elyaf takviyeli tabakaların çeşitli doğrultularda ard arda istiflenmesi.....	19
Şekil 3. 1 Sandviç panel yapısı	25
Şekil 3. 2 Farklı yükler altında sandviç panelde oluşan gerilmeler	26
Şekil 3. 3 Petek yapılı sandviç panel	32
Şekil 3. 4 Farklı çekirdek malzemeleri	32
Şekil 4. 1 Petek yapılı sandviç panel	36
Şekil 4. 2 Petek yapılı çekirdek malzemeleri a) Alüminyum b) Nomex	37
Şekil 4. 3 Altıgen şekilli petek hücre yapısı.....	41
Şekil 4. 4 OX konfigürasyonuna sahip petek hücre yapısı	42
Şekil 4. 5 Esnek şekilli petek hücre yapısı	42
Şekil 4. 6 Çift esnek şekilli petek hücre yapısı	43
Şekil 4. 7 Dairesel şekilli petek hücre yapısı	43
Şekil 4. 8 Güçlendirilmiş altıgen şekilli petek hücre yapısı	44
Şekil 4. 9 Çapraz şekilli petek hücre yapısı	44
Şekil 4. 10 Kare şekilli petek hücre yapısı	45
Şekil 5. 1 Uzatarak şekil verme yöntemi ile petek yapı üretimi	51
Şekil 5. 2 Kıvrırma yöntemi ile petekli yapı üretimi	52
Şekil 5. 3 Kıvrırma yöntemi ile üretilen petek yapılı hücreler	53
Şekil 5. 4 Özel işlem yapılmış petek yapılı paneller	53
Şekil 5. 5 Sıcak presleme yöntemi ile petek yapılı sandviç panel üretimi	54
Şekil 5. 6 Vakum torbası yöntemi ile üretilmiş sandviç panel	55
Şekil 5. 7 Vakum torbası yöntemi	55
Şekil 5. 8 Kalıp metodu ile şekil verme yöntemi.....	56
Şekil 5. 9 Kalıp metodu ile üretilmiş sandviç panel	57
Şekil 6. 1 Thermex çekirdekli sandviç paneller.....	62
Şekil 6. 2 Petek yapılı sandviç panellerin otomotiv endüstrisindeki uygulamaları a) Ön tampon b) Kapı iç trim parçaları	62

Şekil 6. 3	Alüminyum petek yapılı çarpışma kutusu	63
Şekil 6. 4	2006 yılında üretilen A380 uçağında kullanılan kompozit malzeme miktarı (%22 seviyesinde)	66
Şekil 6. 5	1989 yılında üretilen Atr72 uçağında kullanılan kompozit malzeme miktarı (%10 seviyesinde).....	67
Şekil 6. 6	Boeing 777 sandviç panel uygulamaları	68
Şekil 6. 7	A380 uçaklarında kullanılan karbon elyaf takviyeli plastik ve termoplastik uygulamaları	69
Şekil 6. 8	Uçak motoru rotor kanat yapısı	70
Şekil 6. 9	V-22 helikopteri ve petek yapılı sandviç panellerin kullanım bölgeleri	70
Şekil 6. 10	RAH 66 Commançi askeri helikopteri	71
Şekil 6. 11	Teknede kullanılan petek yapılı kompozitler (2 ve 6 : Dış gövde kısmı, 4 : Asma tavanlar, 7 : Kamara bölmeleri, 9 : Hava kalkanı)	72
Şekil 6. 12	1. Güneş panelleri 2. Yansıtıcı antenler ve 3. Gövde: Alüminyum petekli yapı ve epoksi-karbon kompozit	73
Şekil 6. 13	Katlanabilir konteynır sistemleri	73
Şekil 6. 14	Hızlı trenler	74
Şekil 6. 15	İnşaat ve yapı sektörü uygulamaları	74
Şekil 6. 16	Beyaz eşya uygulamaları	75
Şekil 7. 1	Kontrplak panel ile petek yapılı PP sandviç panel karşılaştırması	83
Şekil 7. 2	Darbe dayanım deneyinin uygulanma metodu a) Kauçuk topun atılması b) Kauçuk topun test numune yüzeyi ile teması	91
Şekil 7. 3	Sabit oran uzantılı kırılma dayanım deneyi test cihazı.....	93
Şekil 7. 4	Koku deneyini gerçekleştirmek üzere oda koşullarında kavanoz içerisine yerleştirilmiş test numuneleri.....	94
Şekil 7. 5	Koku deneyini gerçekleştirmek üzere 40°C'ye ısıtılan fırın içerisine yerleştirilmiş test numuneleri.....	95
Şekil 7. 6	Yanmazlık deneyinin uygulanma metodu a) Test numunesinin metal kabine yerleştirilmesi b) Metal kabinin davlumbaz içerisine yerleştirilmesi	97
Şekil 7. 7	Temizlenebilirlik deneyi için test numunelerinin yüzeyine tatbik edilmiş kirleticiler	98
Şekil 7. 8	Temizlenebilirlik deneyi sonrası %5 Masterbatch takviyeli petek yapılı PP sandviç panel test numunelerinin yüzey durumunun değerlendirilmesi	99
Şekil 7. 9	Temizlenebilirlik deneyi değerlendirme skalası	99
Şekil 7. 10	Yapışma mukavemeti deneyini gerçekleştirmek üzere çift taraflı yapışkana sahip bantın test numunesi yüzeyine yapıştırılması ve 2 kg'lık merdane yardımı ile bant üzerine kuvvet uygulanması.....	100
Şekil 7. 11	Yapışma mukavemeti deneyini gerçekleştirmek üzere anodize edilmiş alüminyum bantın test numunesi yüzeyine yapıştırılması ve 2 kg'lık merdane yardımı ile bant üzerine kuvvet uygulanması.....	101
Şekil 7. 12	Yapışma mukavemeti deneyinde kullanılan test numunesinin çekme test cihazına bağlanması	101
Şekil 7. 13	Çizilme deneyini gerçekleştirmek üzere çizilme pimlerinin ve çelik topların mekanik sürmeli çizilme aparatına bağlanması.....	102
Şekil 7. 14	Yüzey parlaklık test cihazı (Glossmetre).....	105

Şekil 7. 15	Uzun süreli termal yaşlandırma deneyi için fırın içerisine yerleştirilen test numunesi	107
Şekil 8. 1	Darbe dayanım deneyi sonrası %5 Masterbatch takviyeli petek yapılı PP sandviç panel test numunesine ait yüzey durumu	108
Şekil 8. 2	%5 Masterbatch takviyeli petek yapılı PP sandviç panel test numunesinde deney sonucunda meydana gelen kırılma.....	110
Şekil 8. 3	Farklı petek yapılı sandviç panellerin kırılma dayanımı değerlendirme grafiği	112
Şekil 8. 4	Kırılma anında petek yapılı sandviç panel test numunelerinde meydana gelen uzama miktarları.....	113
Şekil 8. 5	Farklı petek yapılı sandviç panellerin koku davranışı değerlendirme grafiği	114
Şekil 8. 6	%5 Masterbatch takviyeli petek yapılı PP sandviç panel test numunelerinin yanmazlık deneyi sonrası yüzey durumu	115
Şekil 8. 7	Farklı petek yapılı sandviç panellerde gerçekleşen alev uzunluğu ilerlemesi	116
Şekil 8. 8	Farklı petek yapılı sandviç panellerde gözlemlenen yanma oranı.....	117
Şekil 8. 9	Farklı petek yapılı sandviç panellerin temizlenebilirlik deneyi değerlendirme grafiği.....	118
Şekil 8. 10	Farklı petek yapılı sandviç panellerde gözlemlenen bant soyulma kuvveti değerleri	120
Şekil 8. 11	%5 Masterbatch takviyeli petek yapılı PP sandviç panel test numunesinin çizilme deneyi sonrası yüzey durumu	121
Şekil 8. 12	Farklı petek yapılı sandviç panellerin yüzey parlaklık ölçüm sonuçları.....	124
Şekil 8. 13	Farklı petek yapılı sandviç panellerin küllenme deneyi öncesi ve sonrası ağırlık ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması.....	126
Şekil 8. 14	Kontrplak panele sahip hafif ticari araç gövde yan paneli	128
Şekil 8. 15	Petek yapılı PP sandviç panele sahip hafif ticari araç gövde yan paneli	128

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1	Metal matrislerde kullanılan tipik takviye elemanları13
Çizelge 3. 1	Çekirdek malzemesindeki kalınlık değişiminin sandviç panelin özellikleri üzerine etkisi27
Çizelge 3. 2	Sandviç panellerin yüzey levhalarında kullanılan matris malzemelerinin mekanik özellikleri29
Çizelge 3. 3	Sandviç panellerin yüzey levhalarında kullanılan takviye elyafların özellikleri30
Çizelge 6. 1	Polipropilen petekli yapıların özellikleri64
Çizelge 7. 1	Petek yapılı PP sandviç panellerin otomotiv endüstrisinde sıkça kullanılan diğer panellerle karşılaştırılması82
Çizelge 7. 2	0.5 mm kalınlığına sahip PP alt-üst yüzey levhalarının özellikleri84
Çizelge 7. 3	4 mm kalınlığa sahip petek yapılı PP çekirdek hücresinin malzeme özellikleri86
Çizelge 7. 4	5 mm kalınlığına sahip petek yapılı PP sandviç panelin özellikleri87
Çizelge 7. 5	%5 Masterbatch takviyeli petek yapılı PP sandviç panellerde kullanılan PP malzemesinin içeriği89
Çizelge 7. 6	%5 Masterbatch takviyeli petek yapılı PP sandviç panele ait malzeme özellikleri90
Çizelge 7. 7	Darbe dayanım deneyinde kullanılan sayısal değerler92
Çizelge 7. 8	Koku deneyi değerlendirme skalası96
Çizelge 7. 9	Yüzey çizilme değerlendirme skalası103
Çizelge 7. 10	Yüzey beyazlama/rengi değişimi değerlendirme skalası103
Çizelge 7. 11	Yüzey bozunma değerlendirme skalası104
Çizelge 7. 12	Kısa süreli termal yaşlandırma deneyi koşulları106
Çizelge 8. 1	Darbe dayanım deneyinde kullanılan numune boyutları ve ortaya çıkan deformasyon miktarları109
Çizelge 8. 2	Test numunelerinde görülen kırılma kuvvetleri ve uzama miktarları ..111
Çizelge 8. 3	Test numunelerinde gözlemlenen bant soyulma kuvveti değerleri119
Çizelge 8. 4	%5 Masterbatch takviyeli PP sandviç panel test numunelerinin çizilme, beyazlama ve bozunma deneyi sonuçları121
Çizelge 8. 5	%3 Masterbatch takviyeli PP sandviç panel test numunelerinin çizilme, beyazlama ve bozunma deneyi sonuçları122
Çizelge 8. 6	%5 Masterbatch takviyeli PP sandviç panel test numunelerinin yüzey parlaklık ölçüm sonuçları123

Çizelge 8. 7	Küllenme deneyi öncesi ve sonrasında %5 Masterbatch takviyeli petek yapılı PP sandviç panel test numunelerinin ağırlık ölçüm sonuçları	125
Çizelge 8. 8	Farklı sandviç panellerin küllenme deneyi öncesi ve sonrası yüzde (%) ağırlık değişimleri	126



HAFİF TİCARİ ARAÇLARDA PETEK YAPILI POLİPROPİLEN SANDVIÇ PANEL KULLANARAK ARKA İÇ GÖVDE YAN PANEL MALZEMESİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Armağan TETİK

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ayşegül AKDOĞAN EKER

Günümüzde otomotiv endüstrisi hızla büyümekte olup her geçen gün araç içerisinde daha fazla konfor alanı yaratılmaktadır. Diğer yandan, günümüz müşterilerinin yakıt ekonomisi ve düşük maliyetler ile yüksek performans elde etme gibi konularda talepleri mevcut olup söz konusu talepleri karşılama ihtiyacı otomotiv üreticilerini ağırlık azaltma çalışmalarına yöneltmektedir. Araçların iç gövde yan panelleri, otomotiv üreticilerinin ağırlık azaltma çalışmalarını sağlamak amacıyla en çok önem verdiği bölgelerden biridir.

Petek yapılı sandviç panellerin sahip oldukları düşük ağırlık, yüksek mukavemet, yüksek titreşim sönümleme ve iyi kimyasal direnç özellikleri otomotiv sektörü için en ideal malzeme grupları arasında yer almalarını sağlamaktadır. Çalışmada, hafif ticari araçlarda arka iç gövde yan panel malzemesi olarak kullanılan kontrplak panellerin ağırlık, maliyet, nem dayanımı, ses ve titreşim sönümleme gibi konularda oluşan problemler nedeni ile yerine kullanılabilecek optimum panel malzemesinin seçilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, sahip oldukları üstün özelliklerden dolayı hafif ticari araçların arka iç gövde yan panellerinde kullanılabilecek farklı özelliklerde petek yapılı sandviç panellerin mekanik, fiziksel ve termal özellikleri incelenmiştir.

Farklı yüzey malzemelerinden oluşmasına karşın her biri polipropilen çekirdek malzemesine sahip petek yapılı sandviç panellerin mekanik, termal ve fiziksel özellikleri incelenerek mühendislik ve malzeme kriterlerine uygun olup olmadıkları ortaya

konulmuştur. Deneysel çalışmalar sonucunda, istenilen özellikleri sağlayabilen petek yapılı polipropilen sandviç paneller optimum panel malzemesi olarak seçilmiş ve özellikleri incelenmiştir. Petek yapılı polipropilen sandviç panellerin hafif ticari araçlarda kullanımı ile araç ağırlığında yaklaşık olarak 20 kg ağırlık azalması meydana gelmiştir. Araç ağırlığındaki bu azalma yakıt tüketimini 0.2 litre iyileştirerek doğrudan emisyon salınımını azaltmıştır. Ayrıca, sahip oldukları üstün ses, darbe ve titreşim sönümleme özellikleri ile birlikte müşterilerin beklenti ve talepleri karşılanmış olup hafif ticari araçlardan beklenen ve istenen performanslarda artış gözlemlenmiştir. Böylelikle ülkemizde ilk kez gerçekleştirilen bu uygulama ile düşük maliyetlerle yüksek performans sağlamak isteyen otomotiv üreticilerinin petek yapılı polipropilen sandviç panelleri, hafif ticari araçların farklı bölgelerinde de kullanması sağlanmış olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Petek yapılı polipropilen sandviç panel, Hafif ticari araç, Arka iç gövde yan paneli, Ağırlık kazancı, Yakıt tüketimi

ABSTRACT

IMPROVEMENT OF REAR INNER BODY SIDE PANEL MATERIAL USING HONEYCOMB POLYPROPYLENE SANDWICH PANELS IN LIGHT COMMERCIAL VEHICLES

Armağan TETİK

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Ayşegül AKDOĞAN EKER

Nowadays, automotive industry is growing rapidly and more and more comfort areas are being incorporated in vehicles every day. On the other hand, customers have stringent demand of fuel economy and high performance at low cost. In order to meet customer demands, automotive manufacturers focus on weight reduction studies. Rear interior body side panels of vehicles are one of the most important areas where automotive manufacturers mostly care for weight reduction studies.

Honeycomb sandwich panels are one of the most appropriate material groups for automotive industry with their properties of low weight, high strength, good chemical resistance and high vibration damping. In the experimental study, it is aimed to select optimum panel material which can be used of plywood panels which are used in the rear interior body side panels of light commercial vehicles due to problems such as weight, cost per vehicle, moisture resistance, sound and vibration damping. For this purpose, due to their superior properties honeycomb sandwich panels with different properties which can be used on body side panels of light commercial vehicles have been examined in terms of mechanical, physical and thermal properties.

Although they consist of different surface materials; mechanical, thermal and physical properties of honeycomb sandwich panels, each with polypropylene core material, have been examined and found out whether they meet engineering and material criteria. As a result of experimental studies, honeycomb polypropylene sandwich panels which can provide desired properties were selected as the optimum panel material and their properties were examined. The usage of honeycomb polypropylene sandwich panels in light commercial vehicles has resulted in a weight reduction of approximately 20 kg in vehicle weight. This reduction in vehicle weight reduced direct emissions by improving fuel consumption by 0.2 liter's. Since they have superior sound, impact and vibration properties, customer expectations and demands are met. In addition, it has been observed an increase in expected and desired performance from light commercial vehicles. Thus, this application, which will be realized for the first time in our country, will enable automotive producers who want to achieve high performance at low cost to use honeycomb polypropylene sandwich panels at different areas of light commercial vehicles.

Keywords: Honeycomb polypropylene sandwich panel, Light commercial vehicle, Rear inner body side panel, Weight saving, Fuel consumption.

1.1 Literatür Özeti

Petek yapılı sandviç paneller; düşük yoğunlukları, birim ağırlık başına düşen yüksek mekanik özellikleri ve yüksek enerji absorpsiyonu gibi özellikleri nedeni ile havacılık, otomotiv ve diğer ulaşım sektörlerinde kullanılmaktadırlar. Sahip oldukları yüksek sertlik/ağırlık oranından dolayı havacılık ve uzay endüstrilerinde metal yapıların yerine kullanılmaktadırlar. Petek yapılı sandviç paneller yüksek sertlik ve düşük ağırlık özelliklerinin yanı sıra, darbe sönümleme, elastomer malzemelerde düşük enerji kaybı, termal yönetim ve ses azaltma özellikleri açısından da oldukça kullanışlıdır.

Genel olarak özellikleri sadece içerisinde yer alan malzemelerin özelliklerine bağlı olmayıp, aynı zamanda içerisinde yer alan çeşitli elementlerin geometrik şekillerine de bağlı olan homojen ve kompozit malzemelerden oluşan yapısal kompozitlerin bir sınıfı olan sandviç paneller; nispeten ince, yüksek yoğunluklu ve yüksek dayanımlı yüzey malzemelerinin daha kalın, yumuşak ve düşük yoğunluklu çekirdek malzemesine bir yapıştırıcı yardımı ile bağlanması sonucu elde edilirler. Sandviç panellerde yüzey malzemeleri ve çekirdek malzemeleri farklı görevler üstlenmektedir. Yüzey malzemeleri eksenel ve eğilme gerilmesi yüklerini taşıırken çekirdek malzemeleri ise üzerine gelen kayma gerilmesi yüklerini taşımaktadırlar. Çekirdek yapısı, yüzey malzemesi ve yüzey malzemelerinin kalınlığı değiştirilerek çeşitli özelliklerde ve istenen performanslarda sandviç panel elde etmek mümkündür. Yüzey ve çekirdek malzemeleri; alüminyum, paslanmaz çelik, elyaf takviyeli polimerler ve kağıt gibi çeşitli malzemelerden elde edilebilir. Petek yapılı çekirdek malzemeleri en yaygın kullanılan çekirdek

konfigürasyonlarındandır. Petek yapılı sandviç paneller üstün mekanik, termal ve akustik özelliklere sahip olup, kullanıldıkları alanlara göre bu malzemelerden beklenen ve istenen özellikler değişkenlik göstermektedir. Bu yüzden sandviç panelleri değişik alanlarda kullanabilmek adına farklı durumlar altındaki davranışlarını incelemek için birtakım çalışmalar yürütülmüştür.

Günümüzde modern teknolojilerin birçoğunda metal alaşımları, seramik ve polimerik malzemeler gibi konvansiyonel malzemeler tarafından karşılanamayan, farklı özelliklerde kombinasyonlar içeren malzemeler gerekmektedir. Kompozit malzemelerin geliştirilmesi ile birlikte malzeme özellik kombinasyonlarında da çeşitlilik artmaktadır [1-2].

Haibin vd. [3]; toplu taşıma aracının gövde kısmı için termoplastik sandviç panel tasarlamış, analiz etmiş ve üretmişlerdir. Sandviç panelin yüzey malzemesi olarak; mükemmel dayanım/maliyet oranı nedeni ile cam epoksi elyaf takviyeli polipropilen, çekirdek malzemesi olarak da düşük ağırlık, yüksek mukavemet ve enerji absorpsiyonu avantajları nedeni ile basma dayanımı 1.3 MPa ve yoğunluğu 80 kg/m³ olan polipropilen seçilmiştir. Tasarım ve analiz için Hypermesh ve Ansys kodları kullanılmıştır. Sıcakta eriyen yapıştırıcı, yapıştırılacak bölgelere uygulanarak iç ve dış yüzeyler ile çekirdek bağlanmıştır. Çalışmada dış yüzey paneli olarak 4 katmanlı cam epoksi takviyeli polipropilen kullanılırken, iç yüzey paneli olarak 2 katmanlı cam epoksi takviyeli polipropilen malzemesi kullanılmıştır. Montaj işleminden sonra imal edilen parçaların ağırlığı 13.1 kg bulunmuştur. Halihazırda kullanılan çelik bar destekli alüminyum yüzeylere sahip otobüs gövde panellerinin ağırlığı ise 29.3 kg olarak ölçülmüştür. Böylece termoplastik sandviç panel kullanılarak gövde panellerinde %55 oranında ağırlık tasarrufu sağlanmıştır.

Wang vd. [4]; çekirdek malzemesinin kalınlığının ve yoğunluğunun malzeme özellikleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. Üç nokta eğme testi kullanılarak malzemelerin eğilme dayanımı ve sertliği analiz edilmiştir. Çekirdek kalınlığındaki artış ile malzeme dayanımında artış gözlemlenmiş olmasına rağmen, optimum çekirdek kalınlığı ve yoğunluk değerlerinde eğilme sertliğinin maksimum değere ulaştığı saptanmıştır. Çalışmada sırası ile farklı çekirdek kalınlığına (10-20-30 mm) ve çekirdek yoğunluğuna

(85-101-125 kg/m³) sahip 3 farklı numune kullanılmıştır. Numunelerde yüzey malzemesi olarak karbon elyaf malzemeler kullanılırken, çekirdek malzemeleri olarak alüminyum petek yapılı çekirdek konfigürasyonları tercih edilmiştir. En yüksek eğilme sertliği değeri, 20 mm çekirdek kalınlığına ve 101 kg/m³ çekirdek yoğunluğuna sahip numunede gözlemlenmiştir. 30 mm kalınlığa sahip numunelerin ortalama sertliği 10 mm çekirdek kalınlığına sahip numunelerden daha yüksek çıkmıştır. Bunun yanı sıra çekirdek kalınlığı ve yoğunluğundaki değişimin, malzemenin sertliğini dayanımına oranla daha çok etkilediğini ortaya koymuştur.

Riccio vd. [5]; havacılık uygulamaları için düşük hızlı darbelere maruz bırakılan polipropilen çekirdekli sandviç paneller üzerinde sayısal çalışmalar yürütmüşlerdir. Analiz edilen tüm konfigürasyonlar için yüzey malzemesi ve yapıştırıcı yüzeylerin özellikleri aynı tutularak, polipropilen çekirdek malzemesinin kompozisyonu değiştirilmiş ve çeşitli çalışmalar yürütülmüştür. Çalışma sırasında 5 farklı bileşime sahip çekirdek malzemesi kullanılmıştır. Bunlar; saf PP çekirdek, %27.5 amonyum polifosfat içeren PP/%27.5APP çekirdek, %26 oranında köpüren alev geciktirici ve %3 oranında SiO₂ içeren PP/%26IFR/%3SiO₂ çekirdek, %18 oranında köpüren alev geciktirici ve %1 oranında çok duvarlı karbon nanotüpleri içeren PP/%18IFR/%1MWCNT çekirdek ve %25 oranında kısa cam elyaf içeren PP/%25SGF çekirdek konfigürasyonlarıdır. Bu numuneler farklı çarpma enerji seviyelerine tabi tutularak mekanik özellikleri değerlendirilmiştir. Analizler sonucu en iyi mekanik özellikleri, yanma direnci bakımından da en iyi olan PP/%26IFR/%3SiO₂ ve PP/%25SGF çekirdek konfigürasyonları göstermiştir. En düşük performansı ise yapıştırıcı yüzey üzerinde hasar ve çekirdek üzerinde büyük girinti oluşan PP/%18IFR/%1MWCNT çekirdek konfigürasyonu göstermiştir. Yapılan çalışmalar sonucu; çekirdek dolgu maddelerinin değiştirilerek petek yapılı sandviç panellerin mekanik dayanımının iyileştirilmesinin mümkün olduğu ortaya koyulmuştur.

Nurettin ve Mete [6]; metal (alüminyum,bakır) ve metal dışı (cam elyaf, kağıt/polyester kompozit) malzemelerden üretilmiş farklı et kalınlıkları ve hücre boyutuna sahip petek yapılı panellerin mekanik dayanımlarını basma ve çarpma yükleri altında test etmişlerdir. 9 mm sabit hücre boyutuna alüminyum petek yapılı sandviç panellerin 0.06, 0.10, 0.12 ve 0.18 mm et kalınlığı değerlerinde basma deneyi altında gerilme-şekil

değiştirme değişimlerini incelemiştir. Yük artışı ile şekil değişimleri belirli bir değere kadar yaklaşık olarak lineer kalırken, maksimum yük değerinden sonra şekil değişimindeki artışa karşın yük değerlerinde belirgin bir düşüş saptanmıştır. Et kalınlığı fazla olan sandviç panellerin maksimum dayanım değerleri daha fazla olmuştur. 0.1 ve 0.18 mm et kalınlığına karşı gelen maksimum dayanım değerleri sırası ile 0.45 ve 4.75 MPa olarak gözlemlenmiştir. Et kalınlığının sabit tutulup hücre boyutunun arttırıldığı durumlarda aynı şekil değişimine daha düşük yükleme değerlerinde ulaşılmış olup, aynı hücre boyutu ve et kalınlığı şartlarında cam elyaf panel kağıt/polyester kompozit panele göre çok daha yüksek bir dayanım göstermiştir. Metal dışı malzemelerin, metal olanlara göre şekil değişimlerinin daha düşük olduğu saptanmıştır. Aynı numunelerin çarpma sonucu deformasyon miktarları ölçülmüş ve aynı hücre boyutuna sahip alüminyum panellerde et kalınlığı arttıkça daha küçük deformasyon miktarları gözlemlenmiştir. Hücre boyutu arttıkça deformasyon miktarlarında da artış gözlemlenmiştir. 0.1 mm et kalınlığı için 9 ve 15 mm hücre boyutlarında sırası ile 5.415 ve 8.345 mm'lik deformasyon miktarları gözlemlenmiştir. Aynı et kalınlığına ve hücre boyutuna sahip alüminyum ve bakır karşılaştırıldığında, aynı enerji alüminyum petek yapılı panel tarafından 5.415 mm deformasyon ile sönmelenirken bakır petek yapılı panelde bu değer 2.175 mm'dir. Metal dışı malzemelerde ise herhangi bir deformasyon gözlemlenmemiş olup bu durum, malzemelerin kırılgan yapıya sahip olmaları ile açıklanmıştır.

Dahai vd. [7]; küresel darbe etkisi altında petek yapılı sandviç panellerin düşen ağırlık karşısındaki davranışını incelemiştir. Çalışmada, epoksi reçine ile birleştirilmiş alüminyum yüzey levhası ve hücre şekli altıgen formda olan petek yapılı sandviç panel kullanılmıştır. Yüzey levhaları 150 x 150 mm boyutlarına sahip olup kalınlığı 0.5 mm iken, çekirdek malzemesinin kalınlığı 15 mm, yapıştırıcı malzemesinin kalınlığı ise 0.15 mm'dir. 40 mm yarıçapa ve 0.3 kg ağırlığa sahip darbe yayıcısı katı bir tel ile sarkaç düzeneğine yerleştirilmiş olup, 4 farklı çarpma hızında her bir test üç defa gerçekleştirilmiştir. Test esnasında küresel topun başlangıç yüksekliği ve hızı, geri tepme yüksekliği ve darbe enerjisi gibi değerleri ölçülmüştür. Düşük enerjili darbe için belirgin bir çatlak, penetrasyon hatası ve çekirdek ile yüzey levhaları arasında hasar gözlemlenmemiştir. Petek yapılı sandviç paneller iyi enerji emilim performansı

gösterirken, darbe enerjisinin %80'den fazlasının üst yüzey levhaları ve çekirdek tarafından absorbe edildiği saptanmıştır. Düşük enerjili bir düşme ağırlığı etkisi için darbe enerjisinin çentik derinliği ve enerji absorpsiyonu üzerinde önemli etkilere sahip olduğu gözlemlenmiştir. Darbe enerjisinin artması ile çentik derinliğinin de lineer olmayan şekilde arttığı görülmüştür. Üst yüzey levhası tarafından çekirdeğe absorbe edilen enerji oranının küresel topun yarıçapı ile orantılı olduğu ortaya konulmuştur.

Yapılan bu tez çalışmasında; hafiflik, düşük yoğunluk, iyi enerji absorpsiyonu, titreşim sönümleme, yüksek mekanik dayanım, korozyon dayanımı ve maliyet gibi özellikler göz önünde bulundurularak hafif ticari araçlarda kullanılan arka iç gövde yan panel malzemesinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Bu bağlamda farklı yüzey malzemelerine ve katkı maddelerine sahip petek yapılı sandviç panellerin mekanik, termal ve fiziksel özellikleri incelenerek literatüre katkı sağlanmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Yük taşıma amaçlı kullanılan hafif ticari araçlarda arka iç gövde yan panel malzemesi olarak kullanılan kontrplak panellerin titreşim sönümleme, termal izolasyon ve nem dayanımı gibi özelliklerinin yetersiz olmasının yanı sıra, aracın ağırlığını arttırarak yakıt tüketimini olumsuz yönde etkilemeleri hafif ticari araçlarda bu bölgede kullanılabilecek olan yeni malzemeler aranmasına neden olmuştur. Hafif ticari araçların arka iç gövde yan panellerinde ağırlık, yakıt tüketimi, titreşim sönümleme, korozyon ve nem dayanımı gibi konularda performans iyileştirmesi sağlayarak müşteri beklenti ve taleplerini optimum seviyede karşılayabilecek panel malzemesinin kullanılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda sahip oldukları düşük ağırlık, yüksek dayanım/ağırlık oranı, yüksek basma dayanımı, yüksek sertlik, yüksek titreşim sönümleme ve enerji absorpsiyonu gibi özellikler nedeni ile hafif ticari araçların gövde panellerinde kullanılabilecek olan farklı özelliklere sahip petek yapılı sandviç panellerin özellikleri incelenmiştir. Her biri polipropilen çekirdek malzemesine sahip olup, polipropilen, cam elyaf takviyeli polipropilen matrisli kompozit ve alüminyum yüzeylerden meydana gelen petek yapılı sandviç panellerin mekanik, termal ve fiziksel özellikleri incelenerek hafif ticari araçlarda kullanılacak optimum arka iç gövde yan panel malzemesinin seçilmesi amaçlanmıştır.

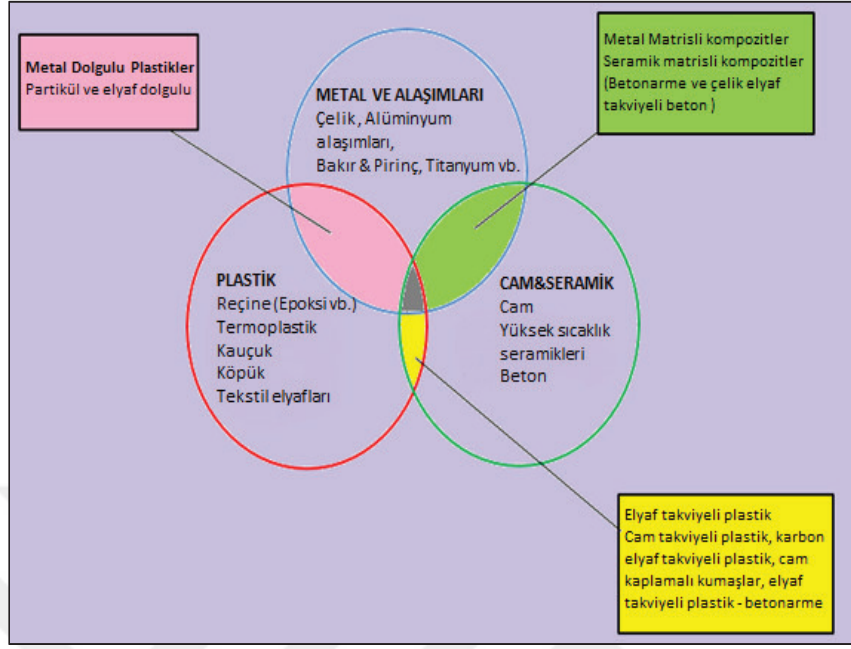
1.3 Hipotez

Otomotiv endüstrisi hızlıca büyümekte ve araçlar içerisinde daha fazla konfor alanı yaratılmaktadır. Günümüz müşterileri; düşük maliyetler ile yüksek performans ve düşük miktarlarda yakıt tüketimi sağlayan, her açıdan güvenilir araçlar talep etmektedirler. Müşterilerin bu beklenti ve taleplerini karşılayabilmek için otomotiv üreticileri ağırlık azaltma çalışmalarına yönelmektedirler. Araçların arka iç gövde yan panelleri, bu beklentileri karşılama açısından araç içerisindeki en önemli bölgelerdendir. Bu durum yük taşıma amaçlı kullanılan hafif ticari araçların arka iç gövde yan panellerinde yeni malzeme grupları aranmasına neden olmuştur. Günümüzde arka iç gövde yan panel malzemesi olarak kullanılan kontrplak panellerin hafif ticari araçlardan beklenen performans konusunda yetersiz seviyede olmaları, bu bölgede petek yapılı sandviç panellerin tercih edilmesini sağlamaktadır. Polipropilen petek yapılı sandviç panellerin sahip olduğu düşük ağırlık, yüksek basma dayanımı, yüksek ses ve titreşim sönümlemenin yanında enerji absorpsiyonu müşterilerin beklentilerini karşılama açısından otomotiv üreticilerine yardımcı olmaktadır.

Hafif ticari araçlarda, kontrplak panellerin yerine kullanılacak olan polipropilen petek yapılı sandviç paneller yakıt tasarrufu sağlayarak doğrudan emisyon salınımını azaltmasının yanı sıra, parça maliyetlerindeki azalma araç başına düşen maliyetleri de azaltacaktır. Böylelikle ülkemizde ilk kez gerçekleştirilecek olan bu uygulama ile hafif ticari araçlarda düşük maliyet ile performans artışı sağlamak isteyen otomotiv üreticilerinin petek yapılı sandviç panelleri, hafif ticari araçların farklı bölgelerinde de kullanması sağlanmış olacaktır.

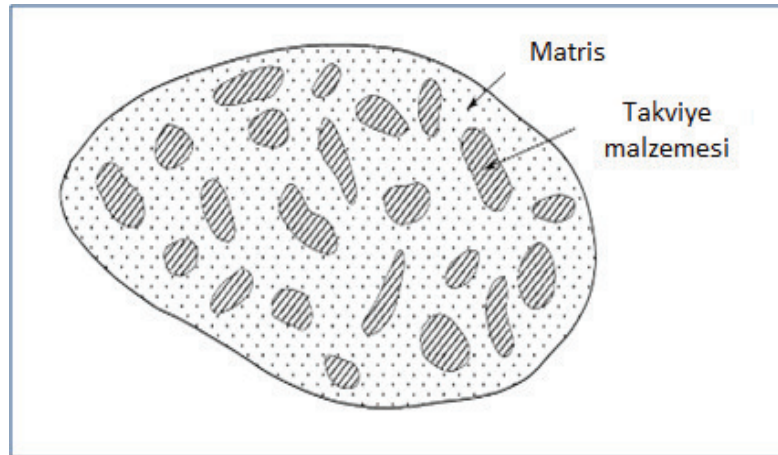
KOMPOZİT MALZEMELER VE SINIFLANDIRILMASI

Farklı malzemeleri bir araya getirerek daha üstün özelliklerde malzeme yaratma fikri, ilkçağdan günümüze kadar uzanan bir süreç olmuştur. İlk tarihlerde ev yapmak için tuğlalar samanla, yakın tarihlerde ise modern binalar inşa etmek için çimentolar çelik çubuklarla güçlendirilerek kullanılmıştır. Günümüzde ise uçak ve otomobil iskeletini oluşturmak için elyaf ile güçlendirilmiş kompozit malzemeler sıkça kullanılmaktadır. Yapısal malzemeler; metaller, polimerler, seramikler ve kompozitler olmak üzere dört temel gruba ayrılmaktadır (Şekil 2.1). Kompozit malzemeler; şekil ve/veya kimyasal bileşenleri farklı, birbirleri içerisinde çözünmeyen, en az iki veya daha fazla malzemenin bir araya gelerek kendi özelliklerini kaybetmeden daha iyi özelliklerde yeni malzemeler oluşturması olarak tanımlanmaktadır. Belirli bir uygulama için malzemelerden beklenen mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikler kompozit malzemelerin meydana geldiği bileşenler tarafından sağlanmaktadır. Makro ölçüde heterojen karakterli bir yapıya sahip olan kompozit malzemelerin iç yapıları çıplak gözle incelendiğinde, yapı bileşenleri kolaylıkla ayırt edilip seçilebilmektedir [8-9].



Şekil 2. 1 Malzemelerin sınıflandırılması [10]

Genel durumda, kompozit malzemeler bir sürekli faz içine dağılan bir veya daha fazla süreksiz fazdan meydana gelmektedir. Sürekli faz matris olarak, süreksiz faz ise takviye malzemesi olarak adlandırılmaktadır (Şekil 2.2). Takviye malzemeleri genellikle daha sert yapıda olup matris malzemelerine oranla daha üstün mekanik özellik sergilemektedirler. Buna istisna önemli durum; sert polimer matrislerin elastomer parçacıklarla doldurulduğu yapılardır. Elastomer partiküllerin ilavesi ile yapının elastisite modülü ve dayanım gibi statik karakterleri değişmezken darbe performansı iyileşmektedir.



Şekil 2. 2 Kompozit malzemelerin genel yapısı [11]

Farklı malzemelerin üstün özelliklerde ürünler oluşturmak üzere bir araya gelmesi ile oluşturulan kompozit malzemelerin geliştirilmesi amaçlanan özellikleri şu şekildedir;

- Mekanik Dayanım (eğme, çekme, basma, darbe, yorulma ve aşınma dayanımı)
- Yüksek sıcaklık dayanımı
- Kırılma tokluğu
- Korozyon direnci
- Termal iletkenlik
- Akustik iletkenlik
- Görünüm
- Rijitlik
- Hafiflik
- Düşük maliyet [9]

Kompozit malzemelerin özellikleri; içerisinde yer alan malzemelerin özelliklerine, geometrik şekillerine ve birbirleri ile olan etkileşimlerine göre değişiklik göstermektedir. Bu nedenle kompozit malzemeleri tanımlayabilmek için onları belirli özelliklerine göre sınıflandırmak gerekmektedir.

Takviye malzemelerinin şekli, büyüklüğü ve konsantrasyonu onun geometrisini karakterize etmektedir. Kompozit malzemelerin özelliklerini önemli derecede etkileyen takviye malzemelerinin konsantrasyonu genel olarak ağırlık ya da hacim oranı yardımı ile ölçülmektedir. Yapılarında çok fazla sayıda farklı malzeme kullanılabilen kompozit malzemelerin sınıflandırılmasında kesin sınırlar çizilmemekle birlikte bu malzemeler genel olarak yapılarını oluşturan malzemeler ve yapı bileşenlerinin şekillerine göre iki grupta sınıflandırılabilirler [11].

2.1 Matris Malzemesine Göre Sınıflandırma

Kompozit malzemelerin içerisinde matrisin görevi; takviye malzemelerini birarada tutmak, takviye malzemeleri arasındaki gerilmeleri transfer etmek, mekanik

bozunmalara karşı takviye malzemelerinin yüzeylerini korumak, kimyasallar ve nem gibi çevresel etkilere karşı malzeme yüzeyinde bir bariyer etkisi göstermektir. Matris malzemesinin seçimi, malzemenin kopma mukavemeti ve katmanlar arası kayma kuvvetleri açısından oldukça önemli bir etkiye sahiptir. Seçilen matris malzemesinin özelliklerine bağlı olarak kompozit malzemelerin süneklik ve darbe dayanımı gibi özellikleri etkilenmektedir. Örneğin daha sünek olan bir matris malzemesi kompozit malzemenin kırılma tokluğunu arttırmaktadır. Bununla birlikte matris malzemesinin özellikleri ve takviye malzemesine uygunluğu, kompozit malzemelerde meydana gelen hasar mekanizmalarını etkilemektedir.

Matris malzemeleri; takviye malzemelerine oranla daha düşük yoğunluğa, sertliğe ve dayanıma sahip olup gevrek, sünek, plastik ya da elastik yapıda olabilir. Doğrusal ya da doğrusal olmayan gerilme-şekil değiştirme davranışına sahip olan matris malzemeleri metal, polimer veya seramik olabilir. Metaller ve polimerler süneklik özelliklerinden dolayı, seramikler ise kırılma tokluğunu arttırmalarından dolayı kompozit malzemeler içerisinde matris malzemesi olarak kullanılmaktadırlar.

Kompozit malzemeleri sınıflandırma yöntemlerinden biri matris malzemesine göre sınıflandırma yapmaktır. Kompozit malzemeler matris malzemesine göre; polimer matrisli kompozit, seramik matrisli kompozit ve metal matrisli kompozit malzemeler olarak sınıflandırılmış olup her bir malzemenin farklı özellik ve sınırlamaları mevcuttur [12-14].

2.1.1 Polimer Matrisli Kompozit Malzemeler

Polimer matrisli kompozit malzemeler; matris malzemesi olarak polimer reçinelerden, takviye malzemesi olarak da elyaflardan oluşurlar. Polimer matrisli kompozitler oda koşullarında sahip olduğu özellikler, imalat kolaylığı ve maliyet gibi özelliklerinden dolayı çeşitli kompozit uygulamalarında kullanılmaktadırlar. Hafif olmaları ve karmaşık geometriye sahip olmalarına karşın kolayca işlenebilmeleri, polimerlerin kompozit malzemelerde matris malzemesi olarak kullanılmasında etkili olmaktadır. Buna karşın amorf yapıda oldukları için uzun ve karmaşık yapıdaki zincirlerin komşuları ile uyum sağlamaları ve düzenli yapı oluşturmaları oldukça zordur [9,14].

Polimer matrisli kompozit malzemelerde matris malzemesi, takviye malzemesine göre daha düşük sıcaklıkta ergidiği için polimer matrisli kompozit malzemeler içerisinde çalışma sıcaklığını belirleyen eleman olmaktadır. Polimer matrisli kompozit malzemeler için çok sayıda matris formülasyonu oluşturulabildiğinden bu malzemeler geniş yelpazede farklı özellik seçenekleri sunmaktadır. Polyester ve vinil ester en sık kullanılan ve en ucuz olan matris malzemeleri olup genel olarak cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerde kullanılırlar. Cam elyaf takviyeli polimer matrisli kompozit malzemeler; otomotiv ve denizcilik endüstrisi, plastik borular, saklama kapları ve endüstriyel zeminler gibi alanlarda kullanılmaktadırlar. Taşımacılık endüstrisinde araç ağırlığını azaltmak ve yakıt verimliliğini arttırmak için de cam elyaf takviyeli polimer matrisli kompozit malzemeler tercih edilebilmektedir. Polyester ve vinil esterlere göre daha iyi mekanik özellik ve nem direnci sergileyen epoksiler ise pahalı olmalarına karşın havacılık gibi ticari uygulamalarda geniş kullanım alanına sahiptirler [14].

Epoksi matris malzemeleri karbon elyaflar ile birleştirildiğinde üstün sertlik ve dayanım özellikleri sergilemektedir. Aşınma dirençlerinin ve yorulma mukavemetlerinin iyi olması karbon elyaf takviyeli polimer matrisli kompozitlerin askeri ve sivil uçak yapılarında sıkça kullanılmasını sağlamaktadır. Epoksi matris malzemeleri pahalı olmalarından dolayı; havacılık endüstrisinde, spor gereçlerinde ve tıbbi malzemelerin yüksek değerli uygulamalarında tercih edilmektedirler. Bunun yanı sıra epoksi matris malzemeleri yaygın olarak aramid elyaf malzemeleri ile birlikte de kullanılmaktadır. Poliamid matris malzemeleri ise genel olarak yüksek sıcaklık uygulamalarında tercih edilmektedir [14-15].

Bununla birlikte polietereterketon (PEEK), poli fenilen sülfid (PPS) ve polieterimid (PEI) gibi termoplastik matris malzemeleri yakın gelecekteki havacılık uygulamaları için önemli potansiyel oluşturmaktadır [14].

2.1.2 Seramik Matrisli Kompozit Malzemeler

Metal ve metal dışı elemanlardan meydana gelen inorganik bileşik olan seramikler, doğada yer alan kayaların dış etkilere karşı parçalanması sonucu oluşan kaolen ve kil gibi maddelerin yüksek sıcaklıklarda pişirilmesi ile elde edilirler. İyonik veya iyonik+kovalent bağa sahip olmaları kararlı bir yapıda olmalarını sağlamaktadır. Bu

nedenden dolayı sert ve gevrek yapıda olan seramikler yüksek sıcaklığa karşı dayanıklıdır. Gevrek yapıda olmalarından dolayı mikroçatlaklar gerilme yığılmalarına yol açtığı için seramiklerin çekme dayanımları düşük olmasına karşın basma dayanımları yüksektir. Mikroçatlakları azaltacak şekilde ince çaplı elyaflar üretilerek daha dayanıklı seramik matrisli kompozit malzemeler elde etmek mümkündür [9].

Teknolojik kimyasal buhar infiltrasyonu, yönlendirilmiş metal oksidasyonu, sinterleme ve sıcak presleme gibi yöntemlerle elde edilmelerine rağmen seramik matrisli kompozit malzemelerin üretimi için pek çok yöntem henüz kullanılmamaktadır. Sol-jel yöntemi ve lifli monolitler yöntemi bu yöntemler arasında yer almaktadır. Polimer türevi seramikler, seramik matrisli kompozit malzemelerin üretiminde benzersiz çözümler sunmaktadır [16].

Seramik malzemelerin kırılma toklukları düşük olup genelde 1-5 MPa arasında değişmektedir. Seramik malzemelerin kırılma toklukları yeni nesil seramik matrisli kompozit malzemeler kullanılarak iyileştirilmektedir. Seramik malzemeler yüksek sıcaklık dayanımına sahip olmalarına karşın bazıları otomobil, uçak ve gaz türbin motoru gibi yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanım için ideal aday konumunda değildir [14].

2.1.3 Metal Matrisli Kompozit Malzemeler

Metal matrisli kompozitler; partikül, kısa veya sürekli elyaf şeklinde olan sürekli matris malzemelerinin ve takviye malzemelerinin yer aldığı metal ve metal alaşımlarından oluşurlar. Metal matrisli kompozitler; partikül takviyeli, kısa elyaf takviyeli ve sürekli elyaf takviyeli olmak üzere üç farklı çeşide sahip olup her birine ait özellikler Çizelge 2.1’de verilmiştir [17].

Çizelge 2. 1 Metal matrislerde kullanılan tipik takviye elemanları [17]

Tip	En/Boy oranı	Çap (µm)	Örnek
Partikül	1-4	1-25	SiC, Al ₂ O ₃ , B ₄ C
Kısa Elyaf	10-1000	0.1-25	SiC, Al ₂ O ₃ , C
Sürekli Elyaf	>1000	3-150	SiC, Al ₂ O ₃ , C, B, W

Sürekli ve partikül takviyeli metal matrisli kompozit malzemeler, sürekli elyaf takviyeli kompozit malzemelere oranla daha ucuz oldukları için daha önemli hale gelmiştir. Çeşitli metaller ve bu metal malzemelerin alaşımları matris malzemesi olarak kullanılmaktadır. Alüminyum alaşımları; düşük yoğunlukları, yüksek mukavemetleri, toklukları ve korozyon dirençleri sayesinde havacılık uygulamalarında sıkça kullanılmaktadır. Al-Li, Al-Cu-Mg ve Al-Mg-Zn-Cu alaşımları çökelme sertleşmesi gösteren önemli alüminyum alaşımlarındandır. Lityum alüminyuma eklendiğinde alaşımın yoğunluğunu azaltarak elastiklik modülünü arttırmaktadır. Bu tip çökelme sertleşmesi gösteren alüminyum alaşımları havacılık endüstrisinde kullanılmaktadır.

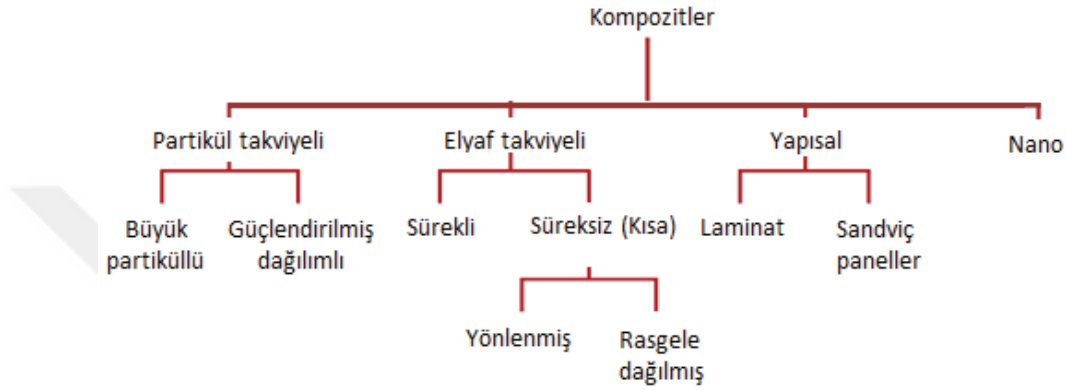
Yoğunluğu 4.5 g/cm³ ve elastisite modülü 115 GPa olan titanyum; havacılık ve uzay uygulamalarında oldukça sık kullanılan matris malzemelerinden biridir. Nispeten yüksek ergime sıcaklığına (1672°C) sahip olan titanyum, yüksek oksidasyon ve korozyon direncine sahiptir. Bütün bu özellikler titanyumu havacılık sektörü için vazgeçilmez hale getirmektedir. Pahalı bir malzeme olan titanyum alaşımları jet motorlarında (türbin, kompresör) ve gövde parçalarında kullanılmaktadır. Süpersonik hızlarda uçak gövde yapıları çok fazla ısındığı için alüminyum alaşımları yeterli olmadığından yüksek sıcaklıklarda titanyum alaşımları tercih edilmektedir.

1.74 g/cm³ yoğunluğa ve altıgen biçime sahip olan magnezyum en hafif malzemelerden biri olup soğuk koşullarda çalışması zordur. Matris malzemesi olarak magnezyum alaşımları; uçak dişli kutusu gövdelerinde, elektronik cihazlarda kullanılmaktadır.

Kübik merkezli yüzeye ve elektrik iletkeni olarak oldukça geniş kullanım alanına sahip olan bakır, matris malzemesi olarak niobyum esaslı süper iletkenlerde kullanılmaktadır [17].

2.2 Takviye Elemanlarının Yapısına ve Geometrisine Göre Sınıflandırma

Kompozit malzemeleri sınıflandırma yöntemlerinden diğeri de; takviye malzemesinin şekline ve geometrisine göre sınıflandırma yapmaktır. Kompozit malzemeler takviye elemanlarının yapısına ve geometrik şekline bağlı olarak; partikül takviyeli, elyaf takviyeli, yapısal ve nano kompozit malzemeler olarak sınıflandırılmaktadır (Şekil 2.3).



Şekil 2. 3 Takviye malzemesinin şekline göre kompozit malzemelerin sınıflandırılması [14]

2.2.1 Partikül Takviyeli Kompozit Malzemeler

Partikül takviyeli kompozit malzemeler, ana malzeme içerisinde başka bir malzemenin partiküller halinde bulunması ile elde edilirler. Partiküller metal ve metal dışı malzemeden elde edilebilirler. Metal dışı matris malzemeleri içerisinde yer alan metal dışı partiküllerin bulunduğu kompozit malzemelerin en belirgini olan beton, kimyasal olarak tepkimeye giren ve sertleşen su ve çimento karışımı ile birbirine bağlanan kum ve çakıl partiküllerden oluşmaktadır [18].

Partikül takviyeli kompozit malzemeler; büyük partiküllü ve dağılım sertleşmesi ile mekanik özellikleri iyileştirilen partikül takviyeli kompozit malzemeler olarak sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırma, takviye malzemesi ve onun güçlendirilmesinden kaynaklanmaktadır. Büyük partikül takviyeli kompozit malzemelerin çoğunda partiküller matris malzemesinden daha sert ve daha kuvvetlidir. Büyük partiküllü kompozit malzemelerde partiküller farklı geometrik boyutlarda olabilmesine karşın, aynı yöndeki partiküllerin yaklaşık olarak aynı boyutta olmaları tercih edilmektedir.

Etkin güçlendirme için partiküller matris malzemesi içerisine küçük ve eşit olarak dağıtılmalıdır [14].

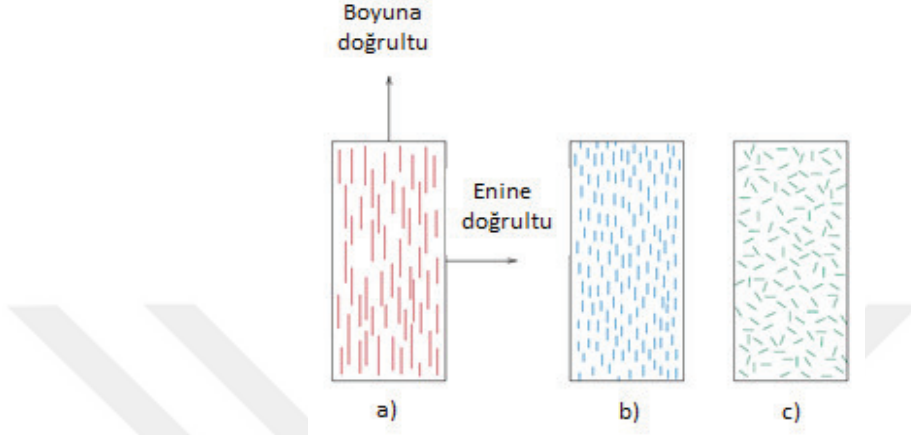
Partiküller genelde matris malzemesinin sertlik, aşınma direnci, kırılma tokluğu ve sıcaklık dayanımı gibi özelliklerini iyileştirmek için kullanılır. Partikül-matris ilişkisinin seçimi, malzemeden istenen özelliğe bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Örnek olarak; bakır alaşımları içerisine katılan kurşun, bakır alaşımlarının işlenebilirliğini kolaylaştırmaktadır. Tungsten, krom ve molibden gibi kırılğan malzemelerin partikülleri içerisine katıldıkları sünek malzemelerin yüksek sıcaklıklardaki özelliklerini iyileştirmektedir. Yüksek sıcaklıklarda yüksek hızlı kesme aletlerinde kullanılan oksit katkılı sermetler, bu duruma örnek olarak verilebilirler. Kırılğan polimer matrisler içerisine katılarak onların çatlamaya karşı duyarlılığını azaltıp, kırılma özelliklerini arttıran elastomer partiküller de partikül takviyeli kompozit malzeme örnekleri arasında gösterilebilir [11].

2.2.2 Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemeler

Birçok elyaf takviyeli kompozit malzeme, daha yumuşak ve sünek matris içerisine sert ve kırılğan lifler eklenerek yüksek yorulma direnci, yüksek özgül dayanım ve yüksek mukavemet özellikleri sergilemektedir. Matris malzemesi gelen kuvvetin çoğunu taşıyan liflere kuvveti iletirken, oksijen ve nem gibi elyaf malzemesinin mekanik özelliklerini kötüleştirecek etmenlerin difüzyonunu azaltarak elyaf yüzeyi için koruma sağlamaktadır. Elyaf takviyeli kompozit malzemeler, hem oda sıcaklıklarında hem de yüksek sıcaklıklarda yüksek mukavemet özellikleri sergilemektedir. Pek çok türde takviye malzemesi kullanılmaktadır. Yıllardır kerpiç tuğlaları kuvvetlendirmek için saman, beton yapıları kuvvetlendirmek için de çelik takviye çubukları kullanılmıştır. Bor, karbon ve polimerden yapılan elyaflar matris temelli ileri kompozitlerde olağanüstü takviye sağlamaktadır [19].

Elyaf takviyeli kompozit malzemelerin mekanik karakteristikleri elyafların özelliklerine ve matris malzemesi tarafından elyaflara uygulanan yükün iletim derecesine bağlıdır [14]. Matris malzemesi ve elyaflar arasındaki bağlanma şekilleri, elyafların uzunluğu, çapı, yönü, miktarları ve özellikleri elyaf takviyeli kompozit malzemelerin dizayn aşamasında göz önünde bulundurulmaktadır [19].

Elyafların birbirlerine göre konumlarının kompozit malzemelerin mekanik özellikleri ve diğer özellikleri üzerinde önemli etkisi vardır. Elyafların matris malzemesi içerisinde yer almasına göre göstermiş olduğu çeşitli dağılımlar mevcuttur (Şekil 2.4) [14].

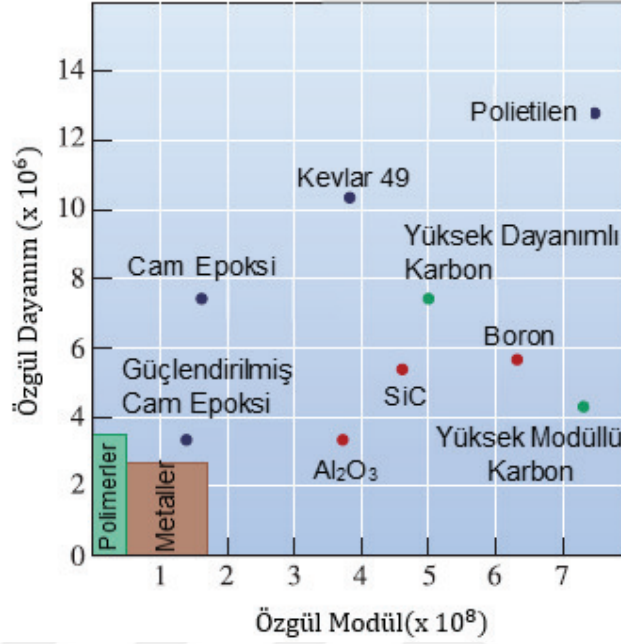


Şekil 2. 4 Elyaf takviyeli kompozitlerin elyaf dizilimi a) sürekli ve yönlenmiş b) süreksiz ve yönlenmiş c) süreksiz ve rasgele dağılmış [14]

Elyaflar kısa, uzun ve sürekli formda olup, boyutları genelde boy/en (L/d) oranı ile karakterize edilmektedir. Genel olarak çapları $10\mu\text{m}$ (10×10^{-4}) ile $150\mu\text{m}$ (150×10^{-4}) arasında değişen elyafların boy/en oranı arttıkça kompozit malzemelerin dayanımında iyileşme gözlemlenmektedir. Elyafların yüksek hacim oranına sahip olması kompozit malzemelerin sertliğini ve dayanımını arttırmaktadır.

Takviye edici elyaflar matris malzemesi içerisine çeşitli doğrultularda katılabilir. Kısa ve rasgele dağılım göstermiş olan elyaflar düşük boy/en oranına sahiptirler ve cam elyaf gibi matris malzemesi içerisine kolayca eklenerek kompozit malzemenin izotropik davranış göstermesini sağlarlar. Uzun, tek yönlü ve sürekli dağılmış elyaflar ise anizotropik özellik gösterirler [19].

Pek çok elyaf takviyeli kompozit malzemedde elyaflar kuvvetli ve sert yapıda olup, düşük ağırlığa sahiptir. Özgül ağırlık ve özgül dayanım elyafların sahip olduğu en önemli karakteristiklerden olup çeşitli malzeme gruplarına ait olan özgül dayanım/ölgül modül karşılaştırmaları Şekil 2.5'te verilmiştir.



Şekil 2. 5 Özgül dayanım ve özgül modül karşılaştırılması [14]

En yüksek özgül dayanım genellikle karbon ve boron gibi düşük atom numarasına sahip ve aralarında kovalent bağ olan malzemelerde bulunmaktadır. Bu iki malzeme de yüksek ergime sıcaklığına sahip olup yüksek mukavemet özellikleri sergilemektedir [14].

Tek matris içerisinde iki veya daha fazla elyafın kullanılmasıyla elde edilen hibrid kompozitler, elyaf takviyeli kompozit malzemeler arasında yer almaktadır. Bu kompozit malzemeler, tek bir tipte elyaf içeren kompozit malzemelere oranla daha fazla özellik kombinasyonu içermektedirler. KevlarTM elyaflarının sert bir kompozitin tokluğunu arttırmak için karbon elyafları ile birleştirildiği ya da sertliği arttırmak için cam elyafla karıştırıldığı durumlar hibrid kompozitlere örnek olarak verilebilir. Çeşitli elyaf kombinasyonları ve matris malzemeleri kullanılırken, polimerik matris içerisine katılan karbon ve cam elyaf bunlar arasında en yaygın olanlarıdır.

Düşük yoğunluklu bir takviye sağlayan karbon elyafları pahalı olmasına rağmen dayanıklı ve nispeten sert bir yapıya sahiptir. Cam elyaflar ise ucuz olmalarına karşın karbonun sertliğini azaltmaktadırlar. Cam-karbon hibrid yapısı oldukça sert ve dayanıklı olup yüksek darbe direnci sağlamaktadır ve karbon ve cam takviyeli plastiklere göre daha düşük maliyetlerde üretilebilir. Nihai olarak malzeme özelliklerini etkileyecek

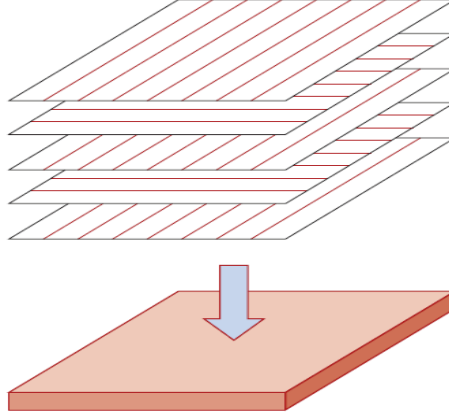
şekilde iki farklı elyaf çeşidinin bir araya geldiği pek çok yöntem vardır. Örnek olarak; elyafların hepsi birbirine göre yönlendirilerek, birbiri içerisinde iyice karıştırılabilir ve her biri tek bir elyaf telden oluşan katmanlar içeren yapılar oluşturulabilir.

Hemen hemen hepsi anizotropik özellik sergileyen hibrid kompozitlerde gerilme altında ani olarak kırılma meydana gelmez. Karbon elyaflar, ilk olarak kırılma gösteren elyaf türlerindendir. Hibrid kompozit malzemeler; kara, su ve hava taşımacılığı gibi yapısal uygulamalarda kullanılmaktadırlar. Metal elyaf içeren hibrid kompozitler karbon, cam ve aramid elyaflar ile birlikte kullanılarak yıldırıma karşı dayanıklı uçak yüzeyleri üretilmektedir [14,19].

2.2.3 Yapısal Kompozit Malzemeler

Yapısal kompozitler, genel olarak özellikleri içerisinde yer alan malzemelerin özelliklerine ve içerisinde yer alan çeşitli elementlerin geometrik şekillerine bağlı olan homojen ve kompozit malzemelerden oluşurlar. Tabakalı kompozit malzemeler ve sandviç paneller, yapısal kompozitlerin en yaygın örnekleri arasında yer almaktadır [14].

Tabakalı kompozit malzemeler, ahşapta ya da sürekli ve uygun şekilde yönlenmiş elyaf takviyeli plastiklerde bulunduğu gibi istenen yönde yüksek dayanıma sahip iki boyutlu plaka ya da panellerden oluşur. Tabakalar istiflenerek, her bir ardışık tabakanın yüksek dayanımlı yönünün değiştiği doğrultularda birlikte güçlendirilmektedir (Şekil 2.6). Örnek olarak; kontrplak panel içerisindeki bitişik ahşap levhalar tanecik yönü ile birbirlerine dik şekilde yönlendirilmişlerdir. Tabakalar plastik matris içerisine gömülü kağıt, pamuk ve dokuma cam elyaf gibi malzemeler kullanılarak elde edilebilir. Bu nedenle tabakalı kompozit malzemeler iki boyutlu düzlemde, çeşitli doğrultularda görece daha yüksek mukavemete sahiptirler.



Şekil 2. 6 Elyaf takviyeli tabakaların çeşitli doğrultularda ard arda istiflenmesi [14]

Çok ince kaplamalar, daha kalın koruyucu yüzeyler, giydirmeler ve bimetalik malzemeler tabakalı kompozit malzemeler içerisinde yer almaktadır. Bunun yanında, bantlardan ve kumaşlardan elde edilen elyaf takviyeli kompozit malzemeler de kısmen tabakalı kompozit olarak düşünülebilir. Tabakalı kompozit malzemeler; daha düşük maliyet, yüksek dayanım ve hafiflik özelliklerini sürdürmenin yanı sıra korozyon direncini arttırmak için tasarlanırlar.

Aşınma direnci, geliştirilmiş görünüm ve yüksek ısı genleşme karakteristikleri tabakalı kompozit malzemelerin diğer önemli özellikleri arasında yer almaktadır. Tabakalı kompozit malzemeler oldukça fazla çeşide sahip olup uygulama alanları oldukça geniştir [19].

Yapısal kompozitlerin bir diğer sınıfı olarak bilinen sandviç paneller çekirdek malzemesine bir yapıştırıcı yardımı ile bağlanmış iki dış yüzeyden oluşurlar. Dış yüzeyler yapıya sertlik ve dayanım kazandırır ve genelde alüminyum, elyaf takviyeli plastik, titanyum, çelik gibi nispeten sert ve dayanıklı malzemelerden oluşurlar. Dış yüzeylere destek olan çekirdek malzemesi ise daha hafif olup, düşük elastisite modülüne sahiptir. Bunun yanı sıra enine kayma gerilmelerine karşı yeterli kayma dayanımına sahiptir. Çekirdek malzemeleri genel olarak; köpük, ahşap ve bal peteği olmak üzere üç kategoriye ayrılmaktadır [14].

2.2.4 Nanokompozitler

Nanokompozitler, bir matris malzemesi içerisine gömülü nano boyuttaki partiküllerden oluşurlar. Konvansiyonel dolgu malzemelerinden daha üstün olan mekanik, termal, elektrik, manyetik, optik ve taşıma özelliklerini elde etmek için dizayn edilirler. Özel uygulamalara bağlı olarak nanokompozitlerin özellikleri değiştirilebilmektedir. Nanokompozit matris malzemeleri metal ve seramik olabilmesine karşın en yaygın kullanılan matris malzemeleri polimerlerdir. Polimer nanokompozitlerde epoksi reçine, poliüretan, polipropilen, polikarbonat, poliamid ve doğal kauçuk içeren çok sayıda termoplastik, termoset ve elastomerik matris malzemeleri kullanılmaktadır. Matris ve nanopartiküllerin yanı sıra; nanopartiküllerin şekli, içeriği ve matris ile nanopartikül ara yüzey karakteristikleri nanokompozitlerin özelliklerini etkilemektedir. Nanokarbonlar, nanokiller ve partiküllü nanokristaller günümüzde en sık kullanılan ticari nanokompozit uygulamalarıdır. Tek ve çok duvarlı karbon nanotüpler, grafen tabakaları ve karbon nano elyaflar nanokarbon grupları arasında yer almaktadır. En yaygın kullanılan partiküllü nanokristaller arasında ise silika, alümina ve zirkonya gibi inorganik oksitler yer almaktadır.

Nanokompozitler farklı teknoloji ve endüstri uygulamalarında kullanılmaktadır. Nanokompozit kaplamalar, hava basıncını sabit tutmak için otomobil lastikleri ile tenis ve futbol toplarında kullanılmaktadır. Grafen nanokompozitler, hibrid elektrikli araçlarda elektrik enerjisini depolayan şarj edilebilir pillerde kullanılmaktadır. Grafen nanokompozit anotlar kullanıldığında daha uzun ömürlü, kapasitesi ve gücü daha yüksek piller elde edilmektedir. Polimer nanokompozitler rüzgar türbin kanatlarında, tenis raketleri, beyzbol sopaları, tekne gövde ve direkleri, kayaklar ve bisiklet çerçevelerinde kullanılmaktadır. Bununla birlikte üretim tekniklerindeki gelişmeler doğrultusunda polimerlere ek olarak, metal ve seramik matrisli nanokompozit malzemelerin geliştirilmesi ve yakıt hücreleri, güneş pilleri, otomotiv yağlayıcıları ve iziksiz boyalar gibi alanlarda kullanılması beklenmektedir [14].

2.3 Kompozit Malzemelerin Avantaj ve Dezavantajları

Ekonomik açıdan tüm faaliyetlere girdi sağlayan malzeme sektörü, temel ve sürekli gelişim gösteren alanlardan biridir. Malzeme sektörü bu özelliğinden dolayı mikro-

elektronik ve nanoteknoloji gibi alanlarla birlikte sınıı üretimin karakterini dönüştürecek temel teknolojik alanlardan biri olarak görölmektedir. Savunma, havacılık ve otomotiv gibi pek çok sektörde ortaya çıkan ileri malzemeler, malzeme biliminin planlı olarak bu gereksinimleri karşılayacak şekilde proses ağırlıklı bir yapıya dönüşmesi ile birlikte sürekli olarak gelişmektedir. Bu bağlamda son yıllarda kullanımı oldukça artan kompozit malzemeler, gelecek yıllarda önemli çekim alanları yaratmaya devam ederek ölkemiz açısından da önemli fırsat alanları yaratacaktır [20].

Kompozit malzemelerin sahip olduğu avantajların yanı sıra bir çok dezavantajı da mevcuttur. Bu nedenle kullanılacağı alanlara bağılı olarak avantaj ve dezavantajlarının iyi bir şekilde değeriendirilmesi gerekmektedir.

2.3.1 Kompozit Malzemelerin Avantajları

Yüksek eğme, çekme, basma, yorulma ve aşınma dayanımı gösteren kompozit malzemeler iyi mekanik özellik sergileyen malzeme grupları arasında yer almaktadır. Yüksek kırılma tokluğuna sahip olan kompozit malzemeler, birim alan ağırlığı özelinde hem takviyesiz plastik malzemelere hem de metal malzemelere oranla daha iyi mukavemet özellikleri sergilemektedir. Kompozit malzemelerin yüksek dayanım ve elastisite modölüne sahip olmaları, makine elemanlarının ağırlıklarının azalmasını sağlamaktadır. Makine elemanlarının ağırlığında meydana gelen azalmalar, enerji tasarrufuna ve verimliliğin artmasına neden olduğu için taşıma araçlarında ve bütün hareket eden parçalarda çok önemli bir faktör olmaktadır [9].

Kompozit malzemelerin düşük ağırlık, geliştirilmiş yorulma direnci, yüksek korozyon direnci ve düşük montaj maliyetleri olmak üzere pek çok avantajı mevcuttur. Havacılık sektöründe kullanılan metal alaşımları ile kıyaslandığında yüksek özgül ağırlık ve elastiklik modölüne sahiptirler. Havacılık sektöründe kompozit malzeme kullanılması ağırlığı azaltarak yakıt tüketiminde kazanç sağlamaktadır. Alüminyum alaşımlarının korozyonu hem askeri hem de ticari uçaklar için büyük maliyet ortaya çıkarmaktadır. Bu yapılarda kompozit malzeme kullanımı korozyon direncini arttırarak büyük maliyet tasarrufu sağlamaktadır. Bunun yanı sıra kompozit malzemeler bağlantı elemanları, montaj ve işçilik maliyetlerinde %50'ye varan tasarruf sağlamaktadır [21].

Beton ve ahşap yüzeylere kolayca uygulanabilme imkanının olması, kompozit malzemelerin diğer malzemelere karşı üstün özellikleri arasında yer almaktadır. Çelik türündeki geleneksel malzemelerde gözlemlenen birçok parçanın birleştirilmesi ve sonrasında monte edilmesi işlemi kompozit malzemelerde tek parçada kalıplama işlemi ile çözülmektedir. Kompozit malzemeler, tasarım esnekliği konusunda da diğer malzeme grupları ile kıyaslandığında büyük öneme sahiptir. Her türlü karmaşık, basit, geniş, küçük, yapısal, dekoratif ya da fonksiyonel amaçlı olarak tasarlanabilirler [9].

Kompozit malzemelerin sağlamış olduğu avantajlar genel olarak şu şekilde sıralanabilir;

- Yüksek mukavemet
- Hafiflik
- Tasarım esnekliği ve kolay şekillendirilebilme
- Boyutsal stabilite
- Yüksek dielektrik direnç
- Korozyon dayanımı
- Kalıplama kolaylığı
- Beton ve ahşap yüzeylere uygulanabilme imkanı
- Işık geçirgenliği [9].

2.3.2 Kompozit Malzemelerin Dezavantajları

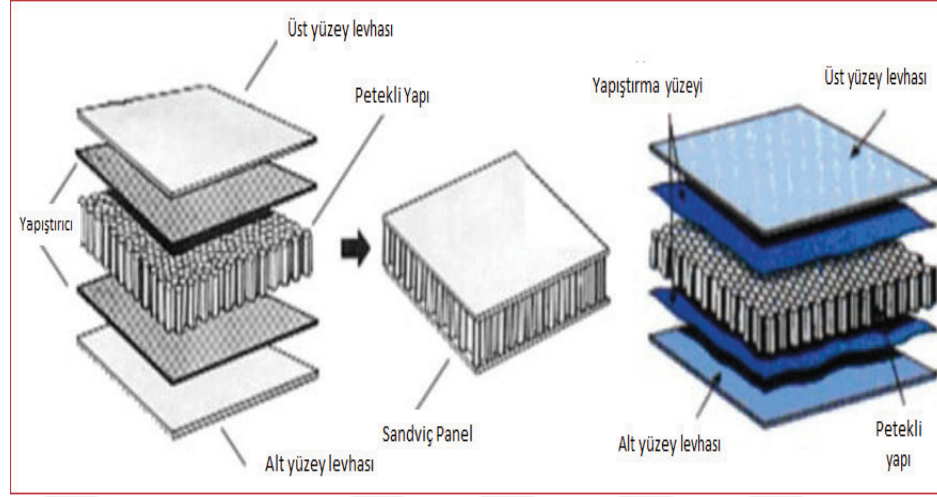
Sağladığı avantajların yanı sıra kompozit malzemelerin getirdiği bazı dezavantajlar mevcuttur. Yüksek ham madde ve üretim maliyetleri kompozit malzemelerin en büyük dezavantajları arasında yer almaktadır. Toz metalurjisi yöntemi ile üretilen bazı kompozit malzemelerin içerisinde yer alan hava zerrecikleri, malzemenin yorulma dayanımını olumsuz yönde etkilemektedir. Delik delme, kesme gibi operasyonların liflerde açılmaya yol açması kompozit malzemelerin hassas imalat yöntemleri ile üretilmesini kısıtlamaktadır. Aynı kompozit malzeme için çekme, basma ve eğilme mukavemet değerleri birbirleri arasında farklılıklar göstermektedir.

Kompozit malzemeler, gevrek olmalarından ötürü kolaylıkla hasara maruz kalmaktadır ve hasar durumunda onarılmaları yeni problemler yaratmaktadır. Malzemelerin kalitesi çoğu zaman üretim yönteminin kalitesine bağlı olup, standartlaşmış bir kalite ölçütü yoktur. Başta seramik matrisli kompozit malzemeler olmak üzere metal matrisli kompozit malzemelerin üretim işlemleri oldukça karmaşık ve zordur. Bunlara ek olarak sınırlı raf ömürlerinin olması bazı kompozit malzemelerin soğutularak muhafaza edilmesini zorunlu kılmaktadır. Kompozit malzemelerin sahip olduğu dezavantajlar genel olarak şu şekilde sıralanabilir;

- Yüksek malzeme fiyatı
- Üretim işlemlerinin karmaşık ve zor oluşu
- Yorulma özellikleri
- Hassas imalat zorluğu
- Üretim maliyetleri [9,20].

SANDVIÇ PANELLER VE BİLEŞENLERİ

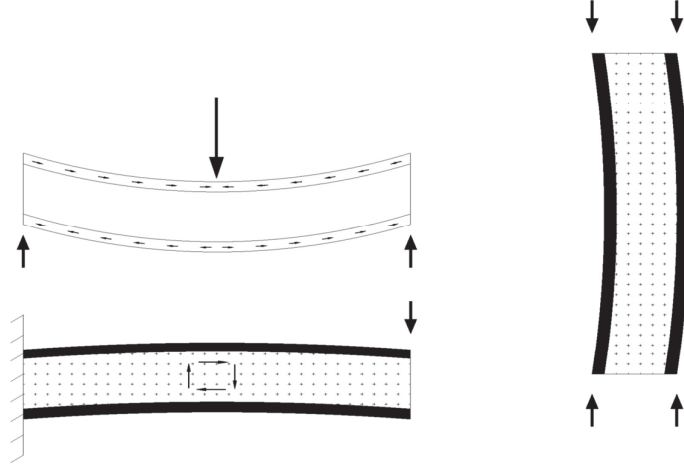
Sandviç paneller iki yüzey levha arasına kalın ve hafif olan çekirdek malzemenin bir yapıştırıcı yardımı ile bağlanması sonucu elde edilirler (Şekil 3.1). Dış yüzeyler yapıya sertlik ve dayanım kazandırırken, çekirdek malzemesi dış yüzeylere destek görevi görmektedir [14]. Son birkaç yıldır sandviç panel ve sandviç malzeme teknolojisi büyük bir ivme kazanmış durumdadır. Üretim tekniklerinde ortaya çıkan yeni gelişmeler, sandviç panellerin yeni uygulama alanlarının ortaya çıkmasına öncülük etmektedir. Başta havacılık sektörü ve spor gereçleri olmak üzere bu tarz malzemelerin kullanımı oldukça artmış durumdadır. Otomotiv, havacılık, denizcilik endüstrisi ve rüzgar enerji sistemleri gibi pek çok alanda kullanılabiliyor olmaları sandviç panellerin kullanımını yaygınlaştırmıştır. Özellikle yüksek hızlı tekne ve aşırı yüklemeye dayanıklı deniz yapılarında uygulama çeşitliliği genişledikçe sandviç panellerin davranışını anlamaya duyulan ihtiyaç da artmaktadır. Buna karşın, sandviç panellerin mekanik özelliklerinin karakterizasyonunda, sahip oldukları heterojen yapı ile çekirdek ve yüzey malzemeleri arasında oluşabilecek uyumsuzluk bazı zorlukları beraberinde getirmektedir [22-23].



Şekil 3. 1 Sandviç panel yapısı [24]

İnce ve rijit iki dış yüzey levha arasına kalın ve oldukça hafif olan çekirdek malzemesinin yerleştirilmesi, sandviç panellere düşük yoğunluk ile birlikte yüksek bükülme sertliği özelliği sunmaktadır. Sandviç paneller daha düşük ağırlık ile klasik malzemelerin gösterdiği aynı yapısal özellikleri sergilemek için alternatif malzeme olarak kullanılmaktadır. Sandviç panellerin klasik malzemelere oranla sahip oldukları hafiflik, yüksek dayanım/ağırlık oranı, yüksek mukavemet gibi özellikler kullanım alanlarını oldukça genişletmektedir. Çeşitli uygulamalar için alt ve üst yüzey levhaları ile çekirdek malzemesinin farklı malzeme ve geometrik yapılarda seçilebiliyor olması sandviç paneller için optimal dizayn seçenekleri yaratmaktadır [25-26].

Sandviç paneller üzerlerine gelen eksenel ve yatay yükleri taşıyarak, yükleme altında yüksek kararlılık ve ağırlık özelliklerine karşın iyi sertlik özellikleri sergilemektedirler (Şekil 3.2). Yeni malzemelerin gelişimi, yüksek dayanımlı ve düşük ağırlıklı malzemelere olan ihtiyaç, sandviç panellere olan talebi arttırmaktadır. Dayanıklılık ve hasar toleransının birincil derecede önemsendiği uçak sektöründe sandviç paneller öncelikli olarak tercih edilmektedir. Buna karşın sivil havacılık gibi yüksek güvenilirliğin istendiği alanlarda, dinamik yükler altındaki davranışları zayıf olduğu için sandviç panellerin kullanımı kısıtlanmaktadır. Bu yüzden sandviç panelleri değişik alanlarda kullanabilmek için farklı yükler altındaki statik ve yorulma davranışlarını iyi bilmek gerekmektedir [23].



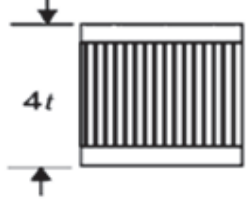


Şekil 3. 2 Farklı yükler altında sandviç panelde oluşan gerilmeler

Sandviç panel içerisinde çekirdek ve yüzey malzemesi farklı roller üstlenmektedir. Yüzey malzemeleri çekme ve basma gerilme yüklerini taşıırken, çekirdek malzemesi çapraz ve kayma gerilme yüklerini taşımaktadır [27]. Yüzey malzemeleri genellikle aynı malzeme ve kalınlıkta olup bu tarz paneller simetrik olarak adlandırılmaktadır. Farklı durum ve koşullara bağlı olarak yüzey malzemelerinin farklı kalınlıklarda ve malzemelerde olduğu sandviç paneller ise asimetric olarak adlandırılmaktadır. Genellikle simetrik yapıda olan sandviç panellerin çeşitlilikleri yapısındaki çekirdeğin konfigürasyonuna bağlıdır. Sandviç panellerin işleyişi içerisinde yüzey malzemelerinin ve çekirdek malzemesinin iyi bağlanması, yüklerin taşınabilmesi açısından bir başka önemli kriterdir [28].

Uygun çekirdek ve yüzey malzemesi seçilerek daha verimli sandviç paneller elde etmek mümkündür. Çekirdek malzemesinin kalınlığı 2 kat arttırıldığında; sandviç panelin sertliğinin 7 kat arttığı, kalınlık 4 kat arttırıldığında ise sandviç panelin ağırlığının yalnızca %6 artmasına karşın sertliğinin 37 kat arttığı gözlemlenmiştir (Çizelge 3.1).

Çizelge 3. 1 Çekirdek malzemesinin kalınlık değişiminin sandviç panelin özellikleri üzerine etkisi [21]

			
	Katı malzeme	Sandviç panel yapısı	Daha kalın sandviç panel
Sertlik	1.0	7.0	37.0
Eğilme Dayanımı	1.0	3.5	9.2
Ağırlık	1.0	1.03	1.06

Sandviç paneller yeni ortaya çıkmamalarına karşın, son yıllarda özellikle dayanıksız yapılar için aranan malzeme grupları arasında yer almışlardır. Sandviç panellerin verimliliğini arttırmak için onu meydana getiren her bir malzemenin karakteristiğini iyi anlamak gerekmektedir. Petek yapılı sandviç paneller sahip oldukları sertlik, yüksek yorulma direnci, yüksek kırılma direnci ve neme karşı direnç gibi özellikleri nedeni ile en ideal çekirdek malzemeleri arasında yer alıp, köpük ve ahşap esaslı sandviç panellere oranla daha çok avantaja sahiptirler [22,29].

Kendisini oluşturan elemanlara göre değişkenlik göstermelerinden dolayı sandviç panelleri genel anlamda bir sınıflandırmaya tabi tutmak mümkün değildir. Sandviç paneller; alt-üst yüzey malzemeleri, çekirdek malzemesi ve yapıştırıcı malzemesi olmak üzere 3 temel elemandan meydana gelmektedir.

3.1 Yüzey Malzemeleri

Uygulanan yüklerin büyük bir çoğunluğunu taşıyan yüzey malzemeleri uygulama alanlarına bağlı olarak birçok amaca hizmet etmektedir. Yüzey malzemelerin pürüzsüz, aerodinamik, sert, kaymaz yüzey profili ve aşınmaya dayanıklı zemin kaplaması

oluşturma gibi bazı görevleri mevcuttur. Bütün bu işlevleri yerine getirebilmesi için yüzey malzemelerinin çekirdeğe yeterli şekilde bağlanmış olması gerekmektedir. Bu zellikleri daha iyi sağlayabilmek için bir yüzey bazen diğerinden daha kalın ve daha farklı yapıda olabilmektedir. Sandviç panellerin sertliği ve dayanımı yüzey malzemelerinin özelliklerine göre değişkenlik göstermektedir [30].

Yüzey malzemeleri genellikle elyaf takviyeli polimer matrisli levhalardan oluşmaktadır. Korozyon ve sıcaklık davranışı gibi gerekli özellikleri sağlayabilmek için matris malzemesinin seçimi oldukça önemlidir. Genellikle ısı ile sertleşen termoplastik reçineler matris malzemesi olarak kullanılmaktadırlar. Isı ile sertleştirilen reçinelerin en sık kullanılanları; epoksi, doymamış polyester ve vinil esterdir.

Epoksi reçineler düşük ağırlık, yüksek dayanım ve boyutsal kararlılığın önemli olduğu uygulamalarda her zaman tercih edilmektedirler. Daha sert yapıda olan epoksi reçineler, doymamış polyester ve vinil esterlere oranla ısıl arpılmalara ve ekilmelere karşı daha iyi davranış göstermektedirler. Vinil esterler ise doymamış polyesterlere oranla daha iyi korozyon dayanımı sergilemektedirler [31]. Sandviç panellerin yüzey levhalarında yaygın olarak kullanılan matris malzemelerinin mekanik özellikleri izelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3. 2 Sandviç panellerin yüzey levhalarında kullanılan matris malzemelerinin mekanik özellikleri [32]

Malzeme	Yoğunluk (mg/m ³)	Gerilme modülü (GPa)	Gerilme Dayanımı (MPa)	Maksimum Çalışma Sıcaklığı (°C)
Termoset Reçineler				
Epoksi	1.2 – 1.4	2.5 – 5	50 – 130	80 – 215
Doymamış Polyester	1.1 – 1.4	1.6 – 4.1	35 – 95	60 – 150
Vinil Ester	1.1 – 1.3	3.0 – 3.5	73 – 81	60 – 150
Termoplastikler				
Polipropilen (PP)	0.9 – 0.91	1.15 – 1.57	31 – 41.9	50 – 135
Poliamid/Naylon (PA)	1.12 – 1.42	0.25 – 3.84	35.2 – 167.6	75 – 150
Polikarbonat (PC)	1.20	2.20 – 2.41	62.7 – 73.3	115

Termoplastikler günümüzde yüzey kaplamalı levhalarda matris malzemesi olarak kullanılmaktadırlar. Gevrek termosetlerle karşılaştırıldıklarında, daha yüksek tokluk ve süneklik davranışı sergilemektedirler. Mekanik özelliklerinin yanı sıra yüksek çalışma sıcaklıklarında kullanılabilir olmaları, polimer matrislerin havacılık ve uçak uygulamalarında yüzey malzemesi olarak kullanılmasını sağlamaktadır [32].

Çizelge 3. 3 Sandviç panellerin yüzey levhalarında kullanılan takviye elyafların özellikleri [32]

Elyaf Tipi	Yoğunluk	Gerilme Modülü	Gerilme Dayanımı	Özgül Ağırlık	Özgül Dayanım	Ergime noktası
	mg/m ³	GPa	MPa	GPa m ³ /mg	MPa m ³ /mg	°C
Cam epoksi	2.54	70	3450	27.6	1385	≥1540
Epoksi	2.50	86	4500	34.4	1800	≥1540
Yüksek modüllü karbon	1.90	400	1800	210.5	947	≥3500
Yüksek dayanımlı karbon	1.70	240	2600	141.2	1529	≥3500
Boron	2.6	400	3500	153.8	1346	2300
Aramid (Kevlar 29)	1.45	80	2800	55.2	1931	500
Aramid (Kevlar 49)	1.45	130	2800	89.7	1931	500

Sandviç panellerin yüzey levhalarında genel olarak kullanılan takviye elyaflar ve bu elyafların mekanik ve termal özellikleri Çizelge 3.3’de yer almaktadır. Karbon elyaflar düşük ağırlık, yüksek sertlik ve yüksek gerilme dayanımı gibi özellikleri sayesinde havacılık endüstrisinde kullanılan yüzey malzemeleri içerisinde kullanılmaktadır.

Karbon elyaflar, en yüksek özgül modül oranına sahip oldukları için en sık kullanılan takviye elyaf malzemelerindendir. Bu malzemeler dışında cam ve aramid elyaflar alternatif olarak kullanılabilecek diğer takviye malzemeleridir. Aramid elyaflar; mükemmel tokluk ve aşınma davranışlarından dolayı yüksek aşınma ve darbe dayanımı gereken uygulamalarda yüzey malzemelerinin içerisinde yer almaktadırlar [31].

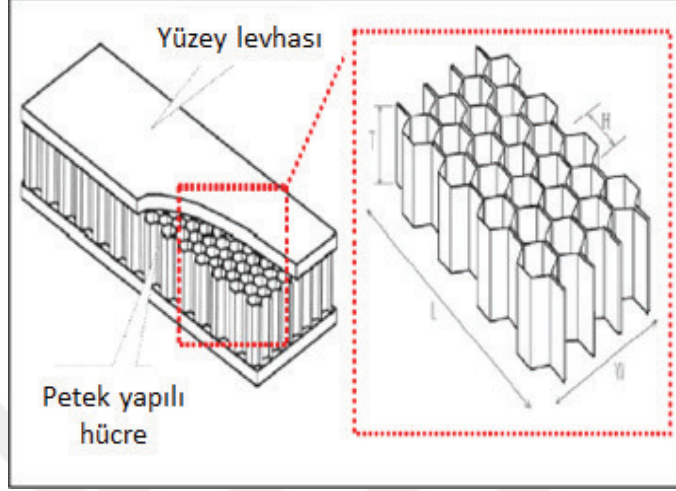
3.2 Çekirdek Malzemeleri

Sandviç panellerin bir diğer ana bileşeni olan çekirdek malzemesinin görevi, sandviç panel üzerine gelen çapraz kayma yüklerini taşımaktır. Yüzey levhaları genellikle malzeme ve kalınlık açısından aynı olduğu için sandviç panellerin çeşitliliği çekirdek malzemesinin konfigürasyonuna bağlıdır. Termal ve akustik izolasyon gibi fonksiyonlar genel olarak çekirdek malzemesinin özelliklerine bağlıdır. Bütün bu fonksiyonları minimum ağırlıkta gerçekleştirebilmek için çekirdek malzemesi, yüzey malzemeleri ve yapıştırıcı malzemesine oranla daha düşük yoğunluğa sahiptir. Çoğu durumda çekirdek malzemesinin kırılma dayanımından ötürü boyutsal kararlılığı sağlayabilmek için özel işlem gerekmektedir [28,30]. Sandviç panellerde çeşitli konfigürasyonlara sahip çekirdek malzemeleri kullanılmaktadır. Bunlar genel itibari ile; bal peteği, köpük ve ahşap çekirdek konfigürasyonlarıdır [33].

Ahşap çekirdekler; düşük yoğunlukları, kapalı hücre yapıları ve iyi mekanik özellikleri nedeniyle çekirdek malzemesi olarak kullanılmaktadır. Elyafların eksenel doğrultuda tek yönlü olarak yönlendirilmesinin sonucu olarak, ahşap çekirdekler eksenel doğrultuda yüksek sertlik ve dayanım ile anizotropik davranış göstermektedir. Ahşap çekirdeklerin yoğunlukları 0.1 ile 0.3 g/cm³ arasında değişmektedir [34].

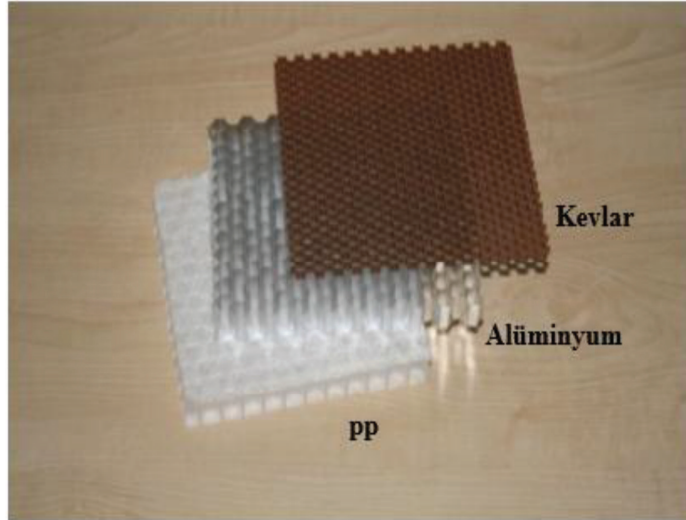
Hücreli ve açık hücreli çekirdek olarak adlandırılan petek yapılı çekirdekler çok çeşitli hücre boyutlarında, hücre şekillerinde, farklı malzeme ve kalınlıklarda olabilirler. Bal peteği, benzer şekillerde paneller oluşturmak üzere iç içe geçmiş hücreler dizisi olup, genişletildiğinde %90-99 oranında boşluklu yapıya sahiptir (Şekil 3.3). Çekirdek malzemesinin ağırlık oranına göre en iyi mukavemeti sunan konfigürasyonu olan bal peteği yapısı hafif olmasının yanı sıra iyi darbe direnci özelliğine sahiptir. Petek yapılı çekirdek konfigürasyonları, havacılık endüstrisinde yapısal uygulamalarda kullanılmaktadır. Yüksek performanslı uygulamalar için yüksek sertlik ve yüksek

dayanım sağlayabilmek için istenen özelliklere bağlı olarak çeşitli malzemeler kullanılarak üretilmektedirler.



Şekil 3. 3 Petek yapılı sandviç panel [35]

Petek yapılı çekirdekler, metalik veya kompozit esaslı olabilir. Metalik petek yapılar çok ince alüminyumdan, kompozit petek yapılar ise kağıt veya naylon/aramid elyafları ile epoksi veya fenolik reçineden elde edilirler. Ateşe dayanıklı olan Nomex en popüler petek yapılarından biridir. Yaygın olarak kullanılan petek yapılı çekirdek malzemeleri; polipropilen, alüminyum ve kevlar'dır (Şekil 3.4) [36].



Şekil 3. 4 Farklı çekirdek malzemeleri [36]

Petek yapılar, dış derilere yapıştırılması oldukça zor olmasına karşın üstün mukavemet/ağırlık oranı sağlayan çekirdek yapıları oluştururlar. Bunun yanı sıra, eğimli yüzeyleri petekli yapılar ile kaplamak için özel bir teknik gerekmektedir [30-31].

Hafif ağırlıklı uçak yapılarındaki uygulamaların çoğunda kullanılan köpük çekirdeklerin aksine, petek yapılar yüksek verimlilikteki uygulamaların çoğunda sandviç panellerin çekirdek malzemesi olarak kullanılmaktadırlar. Uçak ve helikopterlerin taban ve duvar panellerinde, kaplamalarında, karmaşık şekilli kontrol yüzeylerinde ve hatta bazı helikopterlerin rotor palalarında da petek yapılar kullanılmaktadır. Uçaklarda kullanılan petek yapıları çekirdekler genellikle sabit veya değişken kalınlıkta imal edilmektedirler. Petek yapı, kıvrılmış şeritlerden oluşan çekirdek malzemesinin birleştirilmesi ile oluşup, şeridin yönü peteğin bir kenarından yırtılarak bulunabilmektedir. Yırtığın yönü şeridin yönüne paralel olup petek, şerit yönü dışında yırtılmamaktadır. Onarım yapılırken yenilenen şerit yönünün orijinal parçanın şerit yönünde olması gerekmektedir [33].

Sandviç panellerde kullanılabilecek çekirdek konfigürasyonlarından biri de köpük çekirdeklerdir. Köpük çekirdekler; ahşap gibi doğal çekirdeklerin sahip olduğu dezavantajları iyileştirmek için geliştirilmişlerdir. Köpük çekirdekler, bal peteği çekirdek yapılarına oranla dayanıklı ve sert olmamalarına karşın yüksek termal ve akustik izolasyon özelliklerine sahiptirler. Köpük çekirdeklerde yüzey hazırlama ve şekil verme kolaydır. Düşük maliyetleri, yüksek korozyon dirençleri, düşük ağırlıkları ve nem oluşumunu engelleme gibi özellikleri sayesinde köpük çekirdekler havacılık ve uzay endüstrisi gibi birçok alanda uygulama alanı bulmaktadır. Bal peteği çekirdek yapılarının kullanılmadığı karmaşık yapılarda; özellikle içi boş çelik pervane kanatlarının yüzeylerinde köpük çekirdek malzemeleri kullanılmaktadır. Çekirdek yapıların genişleme prosesleri kontrol altında tutularak istenen özelliklerde çeşitli çekirdek özellikleri elde edilmektedir. Ergimiş alüminyum-magnezyum alaşımlarını çeşitli köpürtücü maddeler ile karıştırarak ve gözenekli katı bir yapı oluşturmak için karışımı soğutarak metalik köpük çekirdekler elde edilmektedir. Metal köpükler iyi enerji absorbe etme özellikleri, düşük özgül ağırlıkları, yüksek rijitlik gibi mekanik ve fiziksel özellikleri dolayısıyla tercih edilmektedirler. Alüminyum köpükler, düşük ağırlıkları ve kapalı hücre yapılarına sahip olmalarından ötürü ses ve enerji absorpsiyonu aranan yerlerde sıkça kullanılmaktadırlar. Çeşitli uygulamalara bağlı

olarak farklı yoğunluğa sahip metalik köpükler ve cam köpükler kullanılmaktadır [30,37].

3.3 Yapıştırıcı Malzemeler

Yapıştırıcı malzemesinin sandviç paneller içerisindeki birincil amacı; yüzey malzemelerini ve çekirdek malzemesini yapısal olarak birbirine bağlamak, yüzey malzemeleri ile çekirdek malzemesi arasındaki kuvvetlere tepki vermek ve bütün malzemelerin bir sistem içerisinde birlikte çalışmasını sağlamaktır. Çeşitli kimyasal yapılarda olan yapıştırıcılar, şekil ve türlerine göre farklılıklar göstermektedirler.

Yapıştırıcılar, yapıştırma ya da yapısal öğeleri bir araya getirmek için kullanılan bileşenlerdir. Yapıştırıcı malzemeler kullanılarak yapısal olarak birleştirilen malzemelerin türleri oldukça fazladır. Genellikle ince malzemelerin birleştirilmesinde daha iyi oldukları için sandviç panellerde kullanımı oldukça değerlidir. Malzeme ve uygulama alanına bağlı olarak yapıştırıcılar sandviç panellerde genellikle sentetik ve polimer esaslı yapıdadırlar [30].

Çalışma sıcaklıkları, dayanım özellikleri, yüzey malzemeleri ile arasında uygun bir fileto oluşturabilme özelliği ve kürlenme parametrelerinin uyumluluğu gibi etkenler yapıştırıcı malzemelerin seçiminde göz önünde bulundurulmaktadır. Sandviç panellerde kullanılan yapıştırıcı malzemelerin formu, ağırlık özellikleri ve maliyetleri dikkate alınarak seçilmektedir. Günümüzde yaygın olarak epoksi, fenolik, poliamid, polyester yapıştırıcı malzemeler kullanılmaktadır.

Epoksi yapıştırıcılar, düşük viskozite özelliklerinden ötürü çeşitli fiziksel formlarda bulunabilirler. Nispeten yüksek mekanik dayanıma, iyi kimyasal dirence, işleme kolaylığına, yüzey malzemelerine iyi derecede yapışma özelliğine ve düşük seviyede uçuculuğa sahiptirler. Epoksi yapıştırıcıların dezavantajları arasında sürekli neme maruz kalmaları durumunda malzeme özelliklerinde azalma, görece kırılganlık, sınırlı pota ömrü ve iki parçalı sistemler için karıştırma gereksinimleri yer almaktadır. Epoksilerin işlenmesi veya sertleştirilmesi genellikle polyester reçinelerden daha yavaş olup kürlenme sıcaklıkları 120°C ile 180°C arasında değişmektedir.

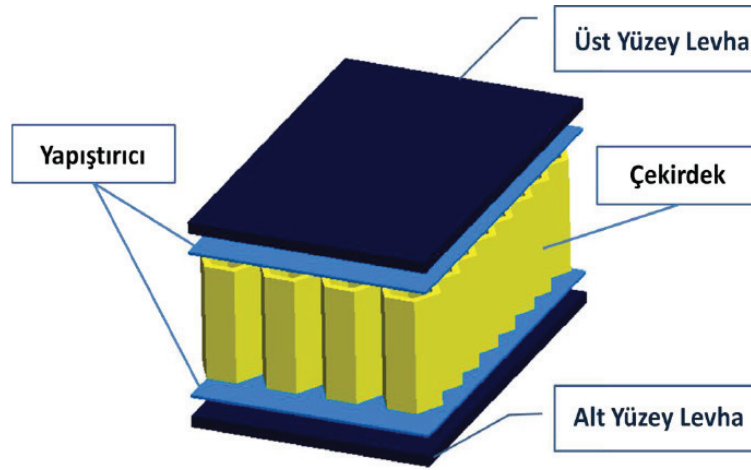
Polyester reçineler, nispeten ucuz olup epoksi reçineler ile karşılaştırıldığında işlenmeleri hızlı olan termoset reçinelerdir. İyi yorulma direncine sahip olan polyester reçineler nem koşullarında da iyi performanslarını sürdürmektedirler. Cam elyaf yüzeyler ile uyumlu yapıda olup karbon elyaf yüzeyler ile aynı uyuma sahip olmayan polyester reçineler genellikle deniz ve rüzgar enerjisi sistemlerinde kullanılmaktadır.

Poliamid reçineler, formülasyonlarına ve işlenme proseslerine bağlı olarak termoset veya termoplastik olabilirler. Poliamid matrisli kompozitler iyi ısı direnci ve düşük ısı genleşme katsayıları nedeni ile yüksek sıcaklık uygulamalarında tercih edilmektedir. Poliamid reçinelerin kürlenme sıcaklıkları 290°C'yi bulmaktadır [30].

Fenolik reçineler, termoset reçine sınıfından olup yüksek yanma direnci, yüksek ısı direnç ve uzun süre dayanıklılık gerektiren uygulamalarda tercih edilmektedirler. Fenolik reçineler, uçak i kısımlarının duvarlarında, tavanlarında ve zeminlerinde kullanılmaktadır. Yüksek mekanik özelliklere ve sürekliliğe sahip olan fenolik reçinelerin dezavantajları arasında kürlenme esnasında gerekli boşaltma yaparken dışarıya bir miktar su çıkartmaları yer almaktadır. Viskoziteleri oldukça yüksek olup, yüksek yanma direncinin gerekli olduğu petek yapılı çekirdek malzemelerin imalatında sıkça tercih edilmektedirler [30,38].

PETEK YAPILI ÇEKİRDEK MALZEMELERİ

Kompozit malzemelerin imalatında kullanılan petekli yapılar ince tabakaların şekillendirilmesi ile oluşan hücrelerin birleştirilmesi sonucu elde edilirler. Bu yapılar bal arılarının doğal olarak yaptıkları bal petekleri ile benzerlik göstermektedir. Petek yapılı sandviç paneller ince ve sert levhaların arasına kalın hücre yapılarının yerleştirilmesiyle elde edilirler (Şekil 4.1). Petekli yapılar alüminyum, kağıt veya naylon/aramid elyafları ile epoksi veya fenolik reçineler gibi çok ince levhalardan üretilebildiği gibi 1940'lı yıllardan itibaren birçok farklı malzemenin kullanılması ile de elde edilebilmeye başlanmıştır [24,36,39].

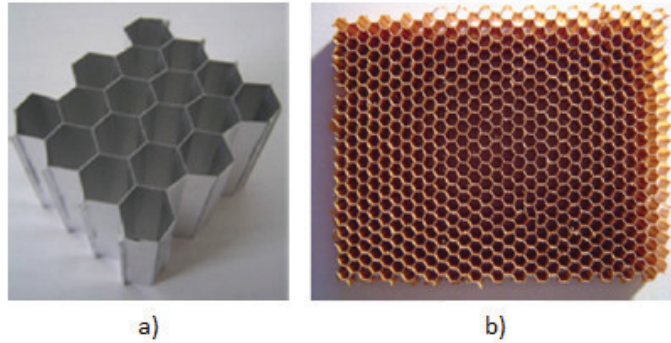


Şekil 4. 1 Petek yapılı sandviç panel

Üretim işlemleri zor ve pahalı olmasına karşın petek yapılı sandviç paneller; sahip olduğu düşük ağırlık, yüksek enerji sönümleme kabiliyeti, yüksek eğilme sertliği gibi özellikler nedeniyle otomotiv, havacılık ve uzay sektörlerinde sıkça kullanım alanı bulmaktadırlar. Altıgen petek ya da bal peteği olarak adlandırılan hafif yoğunluklu kısım

petek yapılı sandviç panellerin hücre kısmını oluşturmaktadır. Petek hücrelerinin boyutları sandviç panellerin yoğunluğunu belirleyen temel etkindir. Hücre malzemesi, yoğunluğu ve yüksekliğinin yanı sıra kompozit yüzey levha malzemesinin seçimi petek yapılı sandviç panellerin kullanılacağı yerlere bağlı olarak tasarımcılar için çeşitli seçenekler sunmaktadır. Bu durumda petek yapılı sandviç panel seçiminde levhaların mekanik özellikleri ön plana çıkmaktadır. Yüksek geometrik ve yapısal karmaşıklık nedeni ile petek yapılı sandviç panellerin mekanik davranışlarının modellenmesi birçok hücrenin yer aldığı ve zaman kaybı ile sonuçlanan geniş sayısal modellemeler gerektirmektedir. Petekli yapılarda hücre boşlukları yapının kütlesini azaltırken, sertlik ve enerji absorpsiyonu gibi özelliklerde de bir miktar düşmeye sebep olmaktadır. Düşük maliyet ile gerçekleştirilen bu kütle azalması sayesinde petekli yapılar havacılık, otomotiv ve uzay sektörlerinde gelişimini sürdürmeye devam etmektedir [1,35,39].

Standart bal peteği malzeme; hücre boyutu, hücre duvarı kalınlığı ve hacim yoğunluğu ile tanımlanan altıgen bir yapıya sahiptir. Hemen hemen her ince malzemeden bal peteği üretilebilmektedir. Alüminyum, cam elyaf takviyeli plastik ve aramid kağıdı temel petek malzemeleri arasında yer alırken, bunlar arasında alüminyum ve aramid kağıdı (Nomex™) mühendislik uygulamalarında en yaygın olarak kullanılanlarıdır (Şekil 4.2).



Şekil 4. 2 Petek yapılı çekirdek malzemeleri a) Alüminyum b) Nomex [40]

Alüminyum petek yapılı sahip sandviç paneller yapısal olarak etkili olmalarına karşın, korozyon ve yapışkan bağların bozulması gibi sonuçlarla karşılaşılan uzun süreli neme maruz kalma durumlarından dolayı havacılık sektöründe kullanımları sınırlıdır. Yapışkan bağlarındaki bozulmalar uçuş esnasında arızalara, onarım sırasında panellerin

arızalanmasına ve bakım çalışmalarının artmasına neden olmaktadır. 3003, 5052, 5056 ve 2024 serileri petek malzemesi olarak en sık kullanılan alüminyum alaşımları serilerindendir. Diğer alüminyum alaşım serilerinin çekirdek yapıları 177°C sıcaklığa kadar dayanabilirken, 2024 serisi alüminyum alaşımlarının çekirdek yapıları 216°C servis sıcaklıklarına kadar dayanmaktadır. Bu durum, 2024 serisi alüminyum alaşımlarının yüksek sıcaklık uygulamalarında daha çok kullanılmasını sağlamaktadır [36,40].

Aramid kağıt petek yapıları genelde mükemmel özellik göstermelerine karşın, uygulamalar için bazı sınırlamaları mevcuttur. Yeni üretim yöntemlerinin yanı sıra kalite kontrol işlemlerinin karmaşık olması ve uygulama sıcaklıklarının 170°C ile sınırlı olması aramid kağıt petek yapılarının dezavantajları arasında yer almaktadır. Bu yapıların diğer bir dezavantajı ise neme karşı duyarlı olmalarıdır. Aramid kağıt petek yapıları, nemi absorbe ederek yapının boyutlarını ve özelliklerini değiştirmektedir. Boyutlarda meydana gelen değişiklikler büyük paneller için oldukça önemli olup, bu durum arındırılması gereken bal peteği tahribatlarına neden olabilmektedir. Petek yapılı levhaların kararlılığını arttırarak nem emilimini azaltmak için bu yapılar kullanılmadan önce pişirilmektedir [40].

Paslanmaz çelikler kıvrımlı çekirdeğin en yaygın şekilde kullanıldığı malzeme grubudur. En sık kullanılan metal dışı çekirdek malzemeleri; reçine içerisine batırılmış fenolik, poliamid, epoksi ve termoplastik reçinelerdir. Çekirdeğin optimum mekanik özellikleri için reçine ağırlık oranı %40 ile %60 arasında olmalıdır. Reçine oranının yanı sıra kumaşların örgü durumu da çekirdeğin mekanik özelliklerini etkilemektedir. $\pm 45^\circ$ düzlemleri boyunca yönlendirilen çapraz örgülü kumaşlar, 0° - 90° düzlemleri boyunca yönlendirilen düz örgülü kumaşlara oranla 3 kat daha iyi kayma modülü özellikleri göstermektedir [36,40].

Petekli yapılar sınıflandırılırken; malzeme, hücre boyutu, hücre şekli, yoğunluk ve alüminyum petekli yapılar için alaşımlı veya folyolu olup olmadıkları bilinmesi gereken önemli bilgiler arasındadır. Hangi petek yapısının hangi uygulamalarda kullanılacağını belirlemek için ilgili petek yapısına ait niteliklerin belirlenmesi gerekmektedir. En uygun petek yapısının belirlenmesini sağlayan özellikler şu şekildedir;

- Maliyet/performans
- Parça boyutları
- Yoğunluk
- Dayanım (Darbe, Kayma, Yorulma, Düz gerilimli, Basınçlı)
- Hücre duvarı kalınlığı, duvar yüzeyinin pürüzsüzlüğü
- Nem, ultraviyole ışıkları, renk
- Çevre ile ilgili kimyasal etmenler
- İşleme ve çalışma sıcaklık aralığı
- Termal iletkenlik, izolasyon, ısı transferi, elektriksel iletkenlik
- İşlenebilirlik ve şekillendirilebilirlik
- Aşınma dayanımı
- Yanıcılık/yanmayı geciktirme
- Yüzeyler (malzeme, yapıştırma prosesi, yapıştırıcılar, kalınlık) [41]

Petek malzemelerinin her biri kendi özellikleri dahilinde önemli avantajlara sahiptir. Alüminyum petek yapılı çekirdek malzemeleri; nispeten düşük maliyet, yüksek enerji absorpsiyonu, yüksek mukavemet/ağırlık oranı, ince ve düzgün hücre duvarı oluşturma, işlenebilirlik ve iletken ısı transferi gibi özellikler sunmaktadır. Aramid elyaf petek yapılı çekirdek malzemeler düşük dielektrik özellik, yalıtkanlık ve kolay şekillendirilebilirlik gibi özellikler sunmaktadır. Yanmaya karşı yüksek dirence sahip olup, yanmayı geciktirici etkileri olan aramid elyaf petek malzemelerinin hücre boyutlarına, şekillerine ve dayanımlarına göre geniş seçim yelpazesine sahip olmaları bir diğer avantajları arasında yer almaktadır.

Cam elyaf petek yapılı çekirdek malzemeleri dayanıklı dokuma yapısına sahip olup, ısıllı şekillendirilebilirlik, yalıtkanlık ve düşük dielektrik özelliklere sahiptir. Bunun yanı sıra yatırma yöntemi ile ayarlanabilen kesme özelliklerine sahiptir.

Karbon petek yapılı çekirdek malzemeleri; yüksek sıcaklıklarda yüksek dayanıklılık ve performansa, boyutsal kararlılığa, düşük ısıllı genleşme katsayısına, nispeten yüksek

kayma modülüne ve ayarlanabilir ısı iletkenliğe sahiptir. Oldukça pahalı olmaları karbon petek yapılı çekirdek malzemelerinin dezavantajları arasında yer almaktadır.

Poliüretan petek yapılı çekirdek malzemeleri ise nemden etkilenmezler ve yüksek yorulma dayanımına sahip olup enerji yönlendirimleri fazladır [41-42].

Seramik petek yapılı çekirdek malzemeleri; yüksek sıcaklıklarda yüksek ısı dirence sahiptir. Bunun yanı sıra küçük hücre boyutlarında kullanışlı olup iyi yalıtım özellikleri sergilemektedirler. Çelik petek yapılı çekirdek malzemeleri; kuvvetli bir yapıya sahip olup iyi ısı transferi ve ısı direnç özellikleri sergilemektedirler. Termoplastik petek yapılı çekirdek malzemeleri ise iyi enerji absorpsiyonu özelliğine sahip olup nem ve kimyasal etkiler karşısında yüksek dirence sahiptir. Nispeten düşük maliyete sahip olan termoplastik petek yapılı çekirdek malzemeleri, iyi yalıtım özelliklerine sahip olup çevre şartları ile uyumludurlar [42].

Darbe hasarları düşünüldüğünde; petek yapılı uygulamaların yüksek oranda dış lokalize yüklere karşı koymada güçlük ve üzerine uygulanan etki değerinin hakkında yeterli bilgi sahibi olunmadığı durumlarda bu yapıların zarar görmesi gibi bazı sakıncaları mevcuttur. Sandviç panellerin darbeye karşı direnci doğrudan bileşenlerin bütünlüğü, bal peteği ile yapılan yapıların kalitesi ve direnci ile ilişkilidir. Bunun için her hücrenin ıslanması, reçine yardımı ile çekirdek ve yüzey arasında bir fileto oluşturacak şekilde bağlanması gerekmektedir. Oluşturulan bu filetonun dayanımı, petek yapılı sandviç panelin mukavemetini önemli derecede etkilemektedir. Köpük malzemelerinin çoğunun aksine, petek yapılı malzemeler anizotropik malzemeler olup kesme özellikleri, uzunlukları boyunca veya sac genişliğine karşı olarak test edilip edilemeyeceklerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir [43].

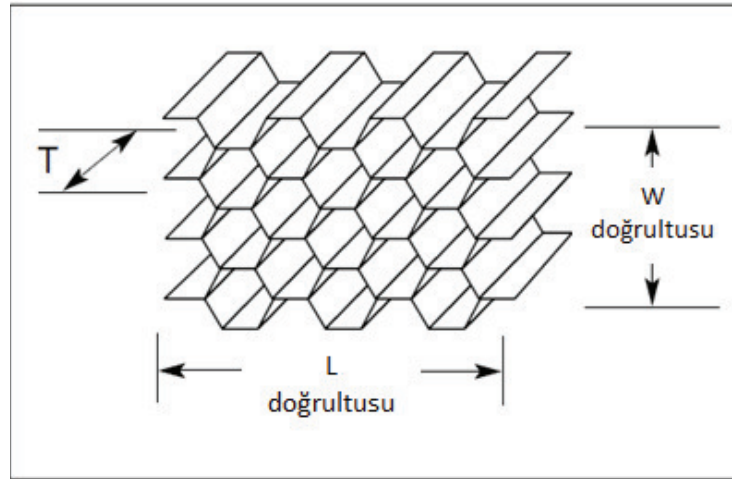
4.1 Petek Yapılı Çekirdek Hücreleri

Petek yapılı çekirdek hücreleri çeşitli şekillerde olup, en uygun hücre şekli uygulamalara bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bal peteği endüstrisi farklı şekillerdeki petek yapılarını tanımlamak amacı ile kendi terminolojisine sahiptir. Petek hücrelerinin bağlanmış kısmı düğüm olarak, tek yapraklı kısmı ise serbest hücre duvarı olarak adlandırılmaktadır. Bu yapılarda hücre boyutu, altıgen hücre yapısının iki paralel tarafı

arası baz alınarak ölçülmektedir. Petekli yapıların temel hücre şekilleri altıgen, kare ve esnek şekilli hücreler olup bu hücrelerin yanı sıra az genişletilmiş, aşırı genişletilmiş ve güçlendirilmiş hücre varyasyonları da mevcuttur [36,42]. Aşırı genişletilmiş hücre yapısı, altıgen hücrenin dikdörtgen biçimine gelinceye kadar çekilmesi ile elde edilmektedir. L doğrultusunda kolayca şekil verilebilmesi bu hücre yapılarının en önemli avantajları arasında yer almaktadır [6].

Petek yapıları çekirdek hücrelerinin boyutları 1.6 mm ile 35 mm arasında değişkenlik gösterirken, yoğunlukları 16 ile 880 kg/m³ arasında değişkenlik göstermektedir. En yaygın kullanılan hücre boyutları 3, 5, 6, 9, 13 ve 25 mm'dir. Petek yapıları çekirdek hücreleri sınıflandırılırken malzeme, hücre şekli, hücre boyutu ve hücre yoğunluğu göz önünde bulundurulmalıdır [42].

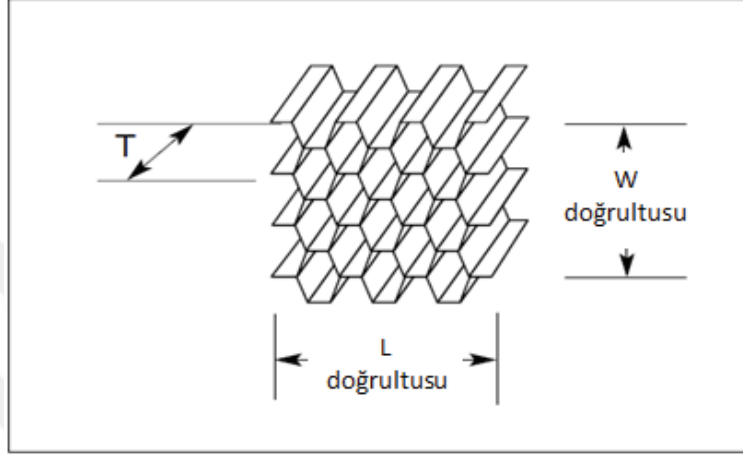
Kare şekilli çekirdek hücre yapıları kaynağa ve lehime en dirençli hücre şekilleri iken, altıgen şekilli çekirdek hücre yapıları yapışkan halde en sık kullanılan hücre yapılarından biridir. Altıgen şekilli hücre yapısı, yapısal destek sağladığı için doğadaki en etkili hücre şekillerinden biridir (Şekil 4.3). Standart altıgen bal peteği hücre yapısı, metal ve metal dışı malzemelerde en sık kullanılan temel petek yapıları hücre şekillerindendir. Bu hücre yapısı kavisli şekillere kolayca dönüştürülemediğinden ısıtılarak ve döndürülerek şekillendirilmektedir [6,36,41].



Şekil 4. 3 Altıgen şekilli petek hücre yapısı [41]

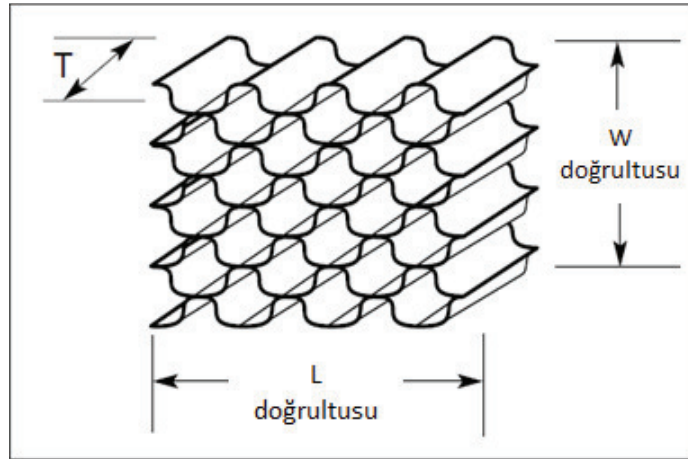
OX konfigürasyonuna sahip petek yapıları hücre şekilleri, altıgen şekilli petek hücre yapılarının W doğrultusunda aşırı genişletilmiş halidir (Şekil 4.4). Bu hücre yapıları

çekirdeğin bir eksen etrafında şekil alması istendiğinde dikdörtgen şekilli yapıya dönüştürülebilir. Standart altıgen şekilli petek hücre yapıları ile karşılaştırıldıklarında, W doğrultusundaki kayma özellikleri daha iyi iken, L doğrultusundaki kayma özellikleri daha kötüdür [41-42].



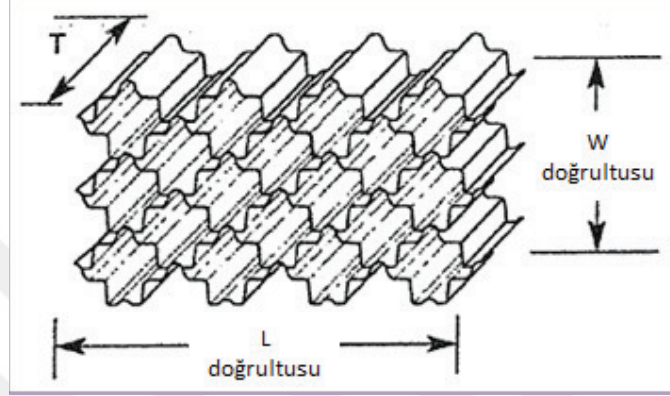
Şekil 4. 4 OX konfigürasyonuna sahip petek hücre yapısı [41]

Esnek şekilli petek hücre yapısı; hücre duvarlarını bükmeden antiklastik eğrileri azaltarak, birleşik kavislerde mükemmel şekil verilebilirlik sunmaktadır (Şekil 4.5). Birleşik eğrilere sahip parçaların şekillendirilmesi için ideal olan bu yapı, daha sıkı forma getirildiğinde aynı yoğunluktaki altıgen şekilli petek hücre yapısına oranla daha yüksek kayma mukavemeti sağlamaktadır. Esnek şekilli petek hücre yapıları alüminyum, Nomex™ ve cam elyaf gibi malzemelerden elde edilebilirler [41-42].



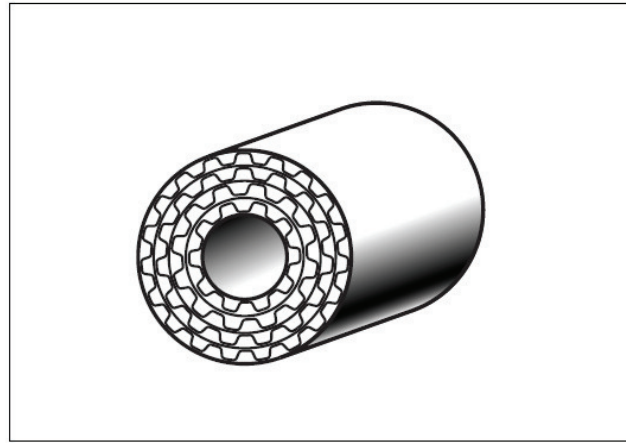
Şekil 4. 5 Esnek şekilli petek hücre yapısı [41]

Çift esnek şekilli petek hücre yapısı benzersiz bir hücre yapısına sahip olup mükemmel şekillendirilebilirlik ve yüksek özgül sıkıştırma özellikleri sunmaktadır (Şekil 4.6). En fazla şekillendirilebilen hücre yapıları arasında yer alan bu hücre yapıları, esnek şekilli petek hücre yapılarında olduğu gibi birleşik eğrilere sahip olan parçaları şekillendirmek için en ideal konfigürasyondur [41-42].



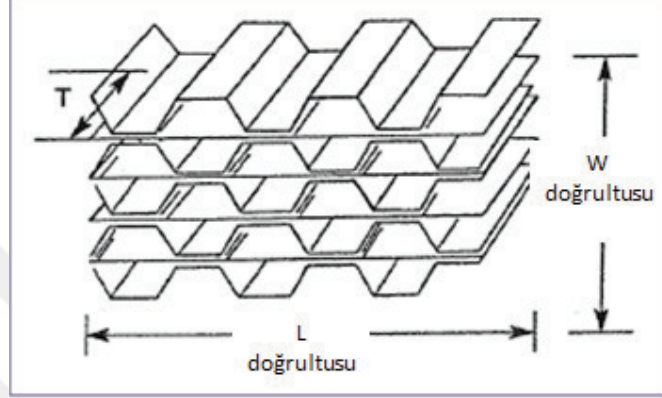
Şekil 4. 6 Çift esnek şekilli bal peteği hücre yapısı [42]

Dairesel şekilli petek hücre yapısı, daha düşük silindir çapının gerektiği durumlar için eşsiz şekilde tasarlanmış enerji absorpsiyonu sağlamaktadır (Şekil 4.7). Bu tasarım geleneksel petek hücre yapıların desteklenmeyen kenarlarında meydana gelen ezme mukavemeti kaybını ortadan kaldırmaktadır. Bu yapılar yapışkan olarak bağlanmış ve bir mandrel etrafına sarılan sıkıştırılmış düz alüminyum folyolardan elde edilirler. Bu hücre yapılarının dış çapları 12.7 ile 720 mm arasında değişirken, uzunlukları 12.7 ile 910 mm arasında değişkenlik göstermektedir [41].



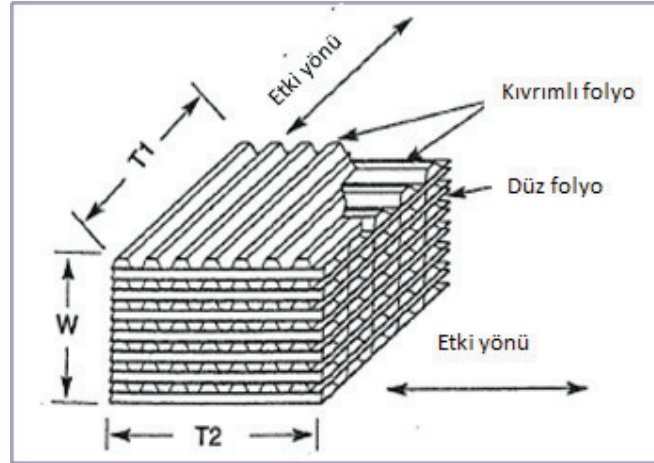
Şekil 4. 7 Dairesel şekilli petek hücre yapısı [41]

Güçlendirilmiş altıgen şekilli petek hücre yapıları, peteklerin düğüm noktalarında yer alan ve onun yoğunluğunu, mekanik özelliklerini iyileştiren düz bir levhaya sahiptir (Şekil 4.8). Oluklu şeritler arasında yer alan düz katmanların sıkıştırılması ile elde edilen bu hücre yapıları paneller içerisindeki sert noktalar, ekler ve montaj donanımları için kullanılmaktadır [41,43].



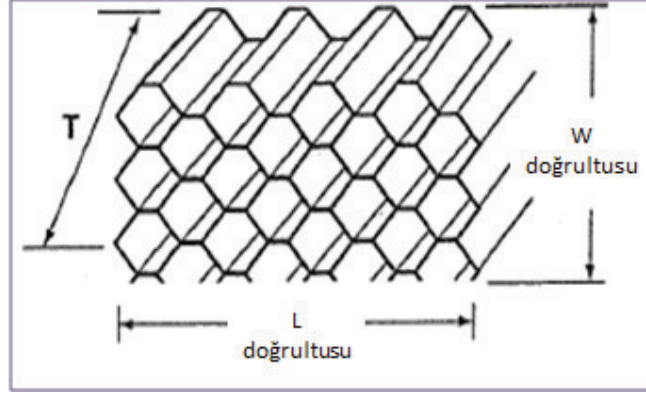
Şekil 4. 8 Güçlendirilmiş altıgen şekilli petek hücre yapısı [43]

Çapraz şekilli petek hücre yapısı farklı doğrultularda enerji absorpsiyonu gösterdiği için özel enerji absorpsiyonu gerektiren uygulamalarda kullanılmaktadır (Şekil 4.9) [35].



Şekil 4. 9 Çapraz şekilli petek hücre yapısı [42]

Kaynak ve lehime karşı en dayanıklı petek hücre yapısı olarak bilinen kare şekilli hücre yapıları; katalitik dönüştürücülerde, ısıtma, havalandırma uygulamalarında ve klimalarda kullanılmaktadır (Şekil 4.10) [36,42].



Şekil 4. 10 Kare şekilli petek hücre yapısı [42]

Petek yapılı çekirdek hücrelerinde belirtilen bu hücre şekilleri dışında özel ihtiyaçlara bağlı olarak farklı şekil ve geometrilere sahip petek yapılı çekirdek hücreleri denenmektedir [41].

4.2 Petek Yapılı Sandviç Panellerde Malzeme Seçim Kriterleri

Bal peteği; geniş yelpazede termal ve mekanik özellikler sağlayarak, çeşitli sayıda hücre boyutuna ve yoğunluğuna sahip hafif bir çekirdek konfigürasyonudur [44]. Petek yapılı sandviç paneller sınırsız sayıda malzeme ve panel konfigürasyonu içerirler. Geniş yelpazede çekirdek ve yüzey malzeme kombinasyonları seçilebildiği için kompozit yapı büyük çeşitlilik göstermektedir [45].

Petek yapılı sandviç panellerin mekanik özellikleri arasında kararlı ve kararsız haldeki basma dayanımları, kararlı haldeki basma modülleri, L ve W düzlemlerindeki kayma dayanımları ve modülleri yer almaktadır. Petek yapılı sandviç panellerin kararsız haldeki basma dayanımları, kararlı haldeki basma dayanımlarının yaklaşık olarak %90'ı kadardır. Tasarım amaçlı uygulamalarda kararlı haldeki basma dayanımları, hızlı şekilde kalite kontrol işlemlerinde ise kararsız haldeki basma dayanımları kullanılmaktadır. Aşırı uzatılmış şekilli petek hücre yapısı kullanıldığında L ve W düzlemlerindeki kayma dayanımları benzer iken, W düzlemindeki kayma modülü L düzlemindeki kayma modülünün 2 katıdır. Enerji absorpsiyonu uygulamalarında kararsız haldeki basma dayanımının yaklaşık %50'si olan ezilme mukavemeti önem kazanmaktadır. Basma özellikleri ve kayma modülleri malzemenin kalınlık değişiminden

çok fazla etkilenmezken, kayma mukavemetleri kalınlık ile değişkenlik göstermektedir. Kalınlık arttıkça kayma mukavemetinde azalma meydana gelmektedir [36].

Petek yapılı sandviç panellerde malzeme seçimi yapılırken dayanım, sertlik, yapıştırıcı performansı ve ekonomik etkenler gibi yapısal hususlar göz önünde bulundurulmalıdır. Dayanım petek hücre yapısının ve yüzey malzemelerinin mekanik özellikleri doğrultusunda tercih edilmelidir. Bu yapılarla ilgili en iyi avantajı elde etmek için malzemelerin sandviç panel içerisinde en iyi doğrultuda yönlendirilmesi gerekmektedir. Sandviç paneller genellikle daha düşük ağırlıklarda sertliği arttırmak için kullanılmaktadırlar. Dayanımın yanı sıra yapıştırıcıların performansı da malzeme seçimi yapılırken büyük önem taşımaktadır. Yüklerin bir yüzeyden diğerine aktarılması için yapıştırıcıların yüzeyleri çekirdek malzemesine iyice yapıştırılmalıdır. Görece kırılğan yapıştırıcıların, depolama ve taşıma esnasında hasara maruz kalabilecek çok hafif sandviç panellerde asla kullanılmaması gerekmektedir. Uygun maliyetli çözüm olanağı sunan petek yapılı sandviç paneller için gerekli maliyet analizlerinin yapılması gerekmektedir. Maliyet analizleri üretim ve montaj maliyetleri ile destekleyici yapı dahil olmak üzere kurulum maliyetlerini içermekte olup, malzeme seçiminde bu etkenler göz önünde bulundurulmalıdır [45].

Mekanik etkenlerin yanı sıra çevresel etkenler de petek yapılı hücre malzemelerinin seçiminde göz önünde bulundurulmalıdır. Her malzeme sisteminde olduğu gibi termal çevre, malzeme seçimlerinde önemli bir rol oynamaktadır. Bütün malzeme seçimlerinde oda sıcaklığı ile seçilen malzemenin -55°C ile 170°C arasında malzeme özelliklerini muhafaza etmesi göz önünde bulundurulur. Bunun yanında malzeme seçimi yapılırken imalat tesisleri ve malzemeyi ısıtma imkanları gibi etkenler de dikkate alınmalıdır.

Petek yapılı sandviç panellerin malzeme seçim kriterleri yapılırken göz önünde bulundurulması gereken bir başka etken de malzemelerin yanıcılık özellikleridir. Sandviç paneller yangına duyarlılıkları açısından 3 kategoride incelenmektedir. Bunlardan ilki yanmaz malzeme olup, malzeme kesin olarak yanmaz özelliklere sahiptir. İkincisi; kendi kendine sönen malzemelerdir. Bu malzemeler yanabilir ancak yanan bölge çıkartıldığında sönmektedir. Üçüncüsü ise yanabilen malzemeler olup bu

yorulma dayanımları da dikkate alınmalıdır. Tekrarlı yükler altındaki malzeme dayanımının statik yükler altındaki malzeme dayanımından daha düşük olduğu bilinmektedir. Tekrarlanan yükler altında malzeme mukavemetinin azalması yorulma olarak adlandırılıp; delikler, çentikler ve kesitteki ani değişimler yorulma üzerinde önemli etkiye sahiptir. Yorulma küçük bir çatlak ile başlar, ilk çatlak çok küçük olduğu için gözle görülememektedir. Malzeme içerisindeki bölgesel kusurlarda ve gerilme durumlarında bu çatlak büyümektedir. Bir kere çatlak oluştuğunda gerilme konsantrasyonu etkisi artmakta ve çatlak daha hızlı şekilde büyümeye başlamaktadır. Gerilme bölgesinin boyutları azaldığında sonunda kalan alan aniden kopma gösterinceye kadar kadar gerilme belirli bir büyüklükte artmaktadır. Bu yüzden yorulma hataları iki farklı hata modu ile karakterize edilmektedir. Bunlardan ilki, çatlağın ilerleyici gelişiminden kaynaklanırken, ikincisi ise ani çatlaklardan kaynaklanmaktadır. Tercih edilen malzeme sünek bile olsa meydana gelen bu kırılma kırılma tipidir [36].

- Küçük hücre boyutları daha yüksek yorulma mukavemetleri gösterir
- Kalınlığı 25.4 mm'den fazla olan çekirdeklerin yorulma dayanımları daha düşüktür

- Düşük yoğunluklu çekirdeklerde biraz daha düşük yorulma dayanımları oluşur
- L düzlemi W düzlemine oranla yorulma dayanımının daha fazlasını korur [36].

Malzemelerin yorulma dayanımlarının yanı sıra sürünme dayanımları da seçim kriterleri esnasında dikkate alınmalıdır. Sürünme, bir malzemenin belirli bir süre boyunca sabit bir gerilmeye maruz kaldığında ilk elastik sapmayı aşan deformasyonu olarak tanımlanmaktadır. Malzeme özelliklerinin yanı sıra gerilme miktarına, sıcaklığa, uzunluğa ve yükün uygulanma zamanına bağlı olan sürünme akışı üç aşamaya ayrılmaktadır. İlk aşama yüksek bir hızda başlayıp, hızlı bir şekilde yavaşlamaktadır. İkinci aşama nispeten düzgün bir orana sahip iken, üçüncü aşama artan bir hız sergileyip malzemenin bozunması ile son bulmaktadır. Oda sıcaklıklarında genellikle problem yaratmayan sürünme, yüksek sıcaklıklarda giderek daha belirgin hale gelmekte ve kabul edilemez geniş deformasyonlara, yapısal kararsızlıklara sebep olmaktadır. Hızlı ve uzun süre uçan uçaklarda uçak yapılarının sıcaklıkları oldukça yüksek hale gelmektedir. Böyle durumlarda, aerodinamik performansı tehdit eden aşırı deformasyonlar ve yüksek sıcaklıklarda dayanım azalımı gibi nedenlerden dolayı sürünme dayanımı önemli bir hal almaktadır. Sandviç panellerin sürünme dayanımı birçok faktöre bağlıdır;

- Yapının sıcaklığı
- Sandviç paneli oluşturan çekirdek, yapıştırıcı ve yüzey malzemelerinin özellikleri
- Sandviç panelin boyutları
- Başlangıç durumundaki gerilme dağılımı
- Çekirdek hücre boyutu
- Çekirdek şeritlerinin yönlendirilme durumu
- Kürlenme sonrası çekirdek ve yüzey malzemeleri arasındaki yapıştırıcıların özellikleri

Genel olarak sandviç panellerin sürünme dayanımı, çekirdeği ve yüzey malzemelerini birleştiren yapıştırıcı malzemelere bağlı olup doğru yapıştırıcı malzeme tatbik edildiğinde sürünme sandviç panellerde büyük bir problem olmamaktadır. Oda

sıcaklığında kürlenme işlemi yapılan yap şt rtıcılar, yüksek sıcaklıklarda kürlenme işlemi yapılan yap şt rtıcılara oranla sürünme açısından daha büyük avantajlara sahiptir. Hücre boyutlarındaki, çekirdek ve yüzey gerilmelerindeki artış sürünme oranını arttırmaktadır. Petek yapılı sandviç panellerin L düzlemindeki sürünme dayanımı W düzlemindeki sürünme dayanımına oranla daha düşüktür.

Uygulamalarda doğru petek hücre yapısını seçmek zor bir süreç olabilir. Bu nedenle mekanik özelliklerin yanı sıra sıcaklık maruziyeti, bağıl nem, su emilimi, akışkan emme direnci, darbe direnci ve parça maliyeti gibi özellikler petek yapılı malzemelerin seçiminde göz önünde bulundurulmalıdır [36].

Genel olarak; alüminyum petek hücre yapıları düşük ağırlıkları ve maliyetleri nedeni ile en iyi mekanik özellikleri göstermektedir. Alüminyum ve alüminyum alaşımları düşük yoğunlukları, yüksek elektrik ve ısı iletkenlikleri nedeni ile üretim ve imalat sektöründe aranan malzeme gruplarından olmaktadır. Üstün  zelliklerine karşın aşınma dirençlerinin düşük olması alüminyum ve alüminyum alaşımlarının kullanımını sınırlandırmaktadır. Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının mevcut özelliklerini daha iyi hale getirmek için elyaf ve partikül biçimli sert takviye elemanı kar ımı kullanılarak alüminyum matrisli kompozit malzemeler elde edilmektedir. Aynı zamanda i lenebilirlikleri de iyi olan alüminyum petek hücre yapıları ince ve düzgün hücre duvarı oluşturmaktadırlar. Alüminyum yüzey malzemeleri genellikle alüminyum petek yapılı çekirdekler ile tercih edilmektedir [36,41,46].

Aramid elyaf petek hücre yapıları, farklı hücre boyutlarında farklı dayanım özellikleri sergilemesi ve yanmayı geciktirici özellikleri nedeni ile tercih edilmektedirler.

Cam elyaf petek hücre yapıları, ısıll  killendirilebilirlik ve yalıtkanlık özelliklerinin arand ı yapılarda ilk planda de erlendirilmektedirler [41].

Karbon petek hücre yapıları, yüksek sıcaklıklarda iyi performans ve dayanım özelliklerini korumaktadırlar ve bu nedenle yüksek sıcaklık uygulamalarında tercih edilmektedirler [42].

En sık kullanılan metal d   malzeme gruplarından olan NomexTM ve termoplastik petek hücre yapıları en yüksek tokluk ve darbe toleransı özelliği gösteren hücre yapıları olup maliyetlerinden dolayı genelde enerji emici olarak kullanılmazlar [36].

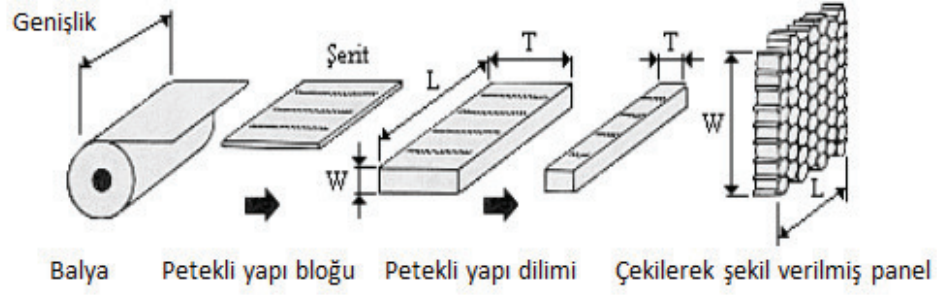
PETEK YAPILI SANDVIÇ PANELLERİN ÜRETİMİ

5.1 Petekli Yapıların Üretim Yöntemleri

Petek yapılı sandviç paneller, bal peteği şeklindeki hücrelerin ve yüzey levhalarının üretilmesi ve sonrasında üretilen bu yapıların birleştirilmesi ile elde edilirler. Petekli yapıların üretiminde pek çok teknik yer almış olsa da uzatma ve kıvrarak şekil verme temel olarak kullanılan üretim teknikleridir [6].

5.1.1 Uzatarak Şekil Verme

Genel olarak petek yapılı hücrelerin üretiminde kullanılan bu yöntem; levhaların şerit halinde kesilmesi, yapıştırıcıların sürülmesi, levhaların üst üste dizilmesi ve petekli yapı bloğunun belirlenen sıcaklıkta pres içerisinde işlenmesi aşamalarını içermektedir (Şekil 5.1). Uzatarak şekil verme yöntemi, metal ve metal olmayan hücrelerin üretiminde kullanılır. Alüminyum blokları çekme işlemine tabi tutulmadan önce genellikle istenilen kalınlıklarda dilimlere ayrılmaktadır. Ayrılan dilimler kalıpta çekilirken, her bir şerit halindeki levha komşu hücreler ile birleştirmenin olmadığı yerlerde akma göstermekte ve bu akma neticesinde levhalara şekil verilmektedir. Alüminyuma uygulanan bu yöntem diğer metalik malzemeler için de kullanılmaktadır [6,45].



Şekil 5. 1 Uzatarak şekil verme yöntemi ile petekli yapı üretimi [46]

Düşük maliyetli kağıt petekli yapılar da uzatarak şekil verme yöntemi ile elde edilmektedirler. Üretilen bu kağıt petekli yapıların hücre boyutu ve çekirdek yüksekliği 10 mm üzerindedir. Çünkü, geleneksel petekli yapı üretimi daha düşük hücre boyutlarında daha fazla zaman harcamaktadır. Üretim esnasında kağıt petekli yapılar içerisinde kalan kalıcı gerilmeler, kontrollü ısı ve nem ile ortadan kaldırılmalıdır. Düşük maliyetli kağıt petekli yapılar sahip oldukları özellikleri ile otomotiv endüstrisinde, yan darbeleri enerji emici elemanlar olarak kapılarda ve iç ambalaj koruma elemanlarında kullanılmaktadır [47].

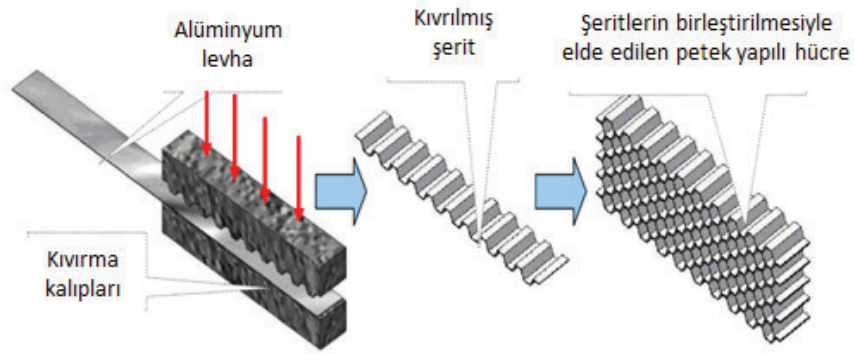
Uzatarak şekil verme yönteminde, metal levhalar ile benzer biçimlerde hazırlanmasına karşın metal olmayan şerit levhalar için bazı farklılıklar söz konusudur. Yapıştırıcı sürme işlemi öncesi metal dışı malzemeler korozyona karşı direnç artırıcı işlemler gerektirmezler. Bazı malzemelerin reçineye daha iyi doyurulması için ön işlem gerekmektedir. Metalik malzemelerden farklı olarak metal dışı petekli yapı malzemeleri, kalıbın şeklini alması için gerekli çekme işlemi sonunda kendi şekillerini koruyamamaktadır [48]. Bu yüzden kalıplama işlemi bu malzemeler için daha uzun sürede yapılmalı ve bu malzemeler şekil alma işlemi gerçekleşinceye kadar bir fırın içerisinde ısıtılmalıdır. Çekilen ve ısıtılan blok sıvı reçineye daldırılarak hücrelerin oluşumu tamamlanıncaya kadar ısıtma işlemine devam edilmektedir. Bloklar istenilen yoğunluğa ulaşıncaya kadar daldırma süreci tekrarlanır ve bu bloklardan istenilen kalınlıklarda dilimlerin kesilmesi ile petekli yapı imalatı tamamlanmış olur.

Kağıt takviyeli polyester reçineli petekli yapılarda olduğu gibi cam elyaf petekli yapılar da uzatarak şekil verme yöntemi ile elde edilirler [6]. Yapıştırıcı malzemenin tatbik

edilme noktaları değiştirilerek petek yapılı sandviç panele kazandırılan hücre şekli farklı yapılarda elde edilebilir.

5.1.2 Kıvrırma Yöntemi

Kıvrırma yöntemi; yüksek sıcaklık altında çalışan, et kalınlığı ve yoğunluğu oldukça fazla olan petekli yapıların imalatında tercih edilmektedir. Bu yöntemde şerit levhalar istenilen biçimde kıvrılarak düğüm noktalarına yapıştırıcı tatbik edilir. Sonrasında şekil verilen şerit levhalar üst üste konur ve kıvrılan blok seçilen sıcaklıkta bekletilerek istenilen kalınlıkta dilimler bloktan kesilerek elde edilir. Kalıpların ve silindirlerin işlenerek şekillendirilmesi sonucunda farklı hücre yapıları elde edilebilir (Şekil 5.2) [6].



Şekil 5. 2 Kıvrırma yöntemi ile petekli yapı üretimi [35]

Petekli yapıların imalatında kullanılan kıvrırma yöntemi, daha pahalı olduğu için sıkça tercih edilmez. Bunun nedeni oluklu levhaların istiflenmesi ve birleştirilmesi gibi gerekli el işlemleri ve bloklardan kesim işlemlerinin daha zor olmasıdır. Bununla birlikte ucuz oluklu mukavva levhalar kullanılırsa biraz ağır olmasına karşın daha uygun maliyetli petek yapılı çekirdekler elde edilebilir.

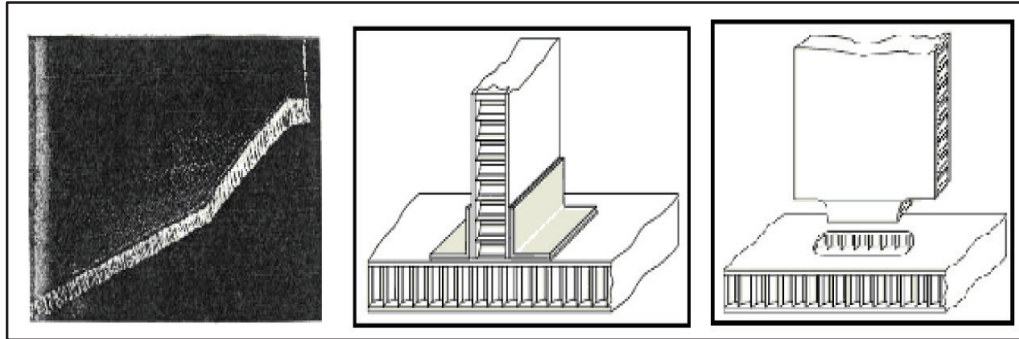
5 mm ve altındaki hücre boyutlarında standart oluklu mukavva levhalar elde edilmektedir. Hücre boyutları yüzey kalitesi için önemli olup, büyük hücre boyutları oldukça kalın olsa bile çoğunlukla bal peteği deseni ile aynı desende ortaya çıkmaktadır. Bu yüzden günümüzde otomotiv endüstrisinde kullanılan kağıt petekli yapılar bu manuel yöntem ile elde edilmektedir. Cam elyaf ve doğal elyaf takviyeli yüzeylere ve kağıt petek yapılı çekirdeklere sahip sandviç paneller bagaj döşeme

takımlarında, stepne kapaklarında ve tavan panel kaplamalarında kullanılırlar [47]. Kıvrıma yöntemi ile birlikte farklı şekil ve içeriklerde petek yapılı hücreler elde edilmektedir (Şekil 5.3).



Şekil 5. 3 Kıvrıma yöntemi ile üretilen petek yapılı hücreler [35]

Levhaların sıkıştırılması esnasında kalıp ile levhalar arasındaki sürtünmeden dolayı petek malzemesinde oluşacak kesme ve yırtılma hasarını önlemek amacıyla kalıp yağlanmalıdır [35]. Uzatarak şekil verme ve kıvrıma yöntemi kullanılarak üretimi gerçekleştirilen petekli yapılar kullanılacak olan yerin özellikleri de dikkate alınarak, Şekil 5.4’de görüldüğü gibi; temizleme (kenar traşlama), kesme, gerekirse şekil verme ve ekleme işlemlerine de maruz bırakılırlar [49].



Şekil 5. 4 Özel işlem yapılmış petek yapılı paneller [50]

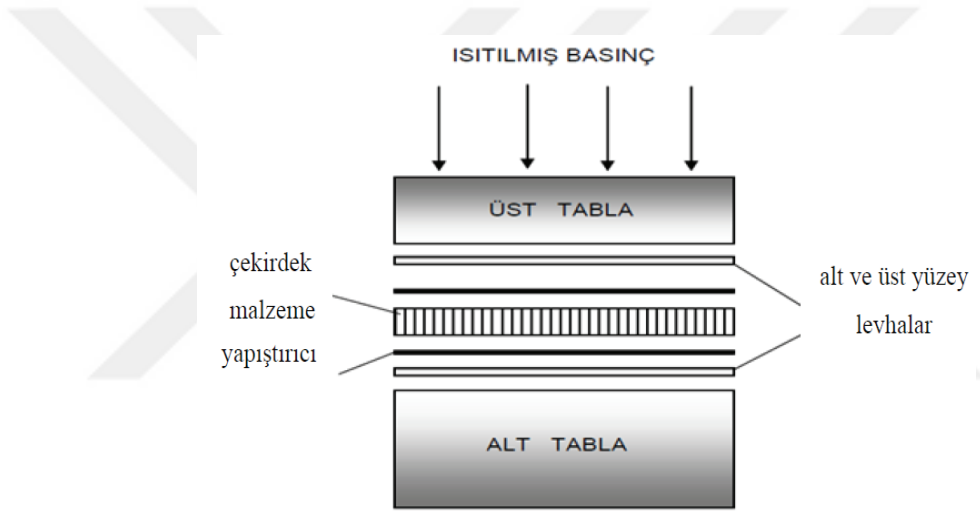
5.2 Petek Yapılı Sandviç Panellerin Üretim Yöntemleri

Petek yapılı sandviç paneller elde edilirken üç alternatif yöntem kullanılmaktadır. Genellikle düz ve önceden şekil verilmiş panelleri üretmek için sıcak presleme yöntemi, kavisli ve kompleks formdaki panelleri üretmek için vakum torbasında üretim yöntemi

ve tek kullanımlık malzeme üretimi için uygun kalıpta üretim yöntemi kullanılmaktadır [45].

5.2.1 Sıcak Presleme Yöntemi

Sıcak presleme yöntemi, genel olarak düzgün yüzeye sahip levhaların petekli yapı ile birleştirilmesinde kullanılır. Metal ve pregreg yüzeylerde yaygın olarak kullanılan bu yöntemde, üretilen parça tek seferde sonuç alınacak şekilde hazırlanmaktadır. Bu yöntem ile yapılan üretimde diğer bir seçenek de, pregreg yüzey tabakalarının basınç altında önceden ısıtılarak yapıştırıcı ile birleştirilmesidir (Şekil 5.5).

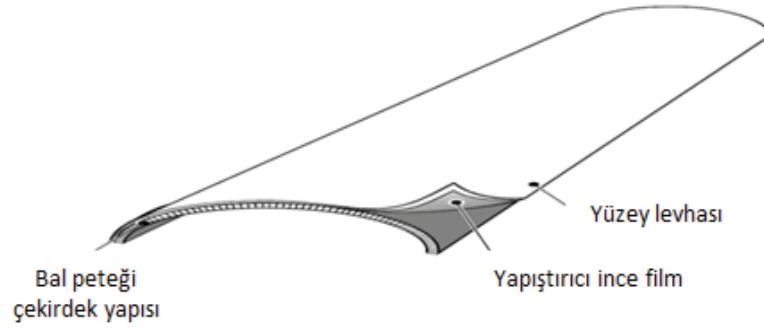


Şekil 5. 5 Sıcak presleme yöntemi ile petek yapılı sandviç panel üretimi [45]

Ekstrüzyon ile üretilmiş çubuk kesitler ve ekler gibi bütünsel olarak birleştirilmiş ürünler petek yapılı çekirdek ya da basit aparatlar ile konumlandırılabilirler [45].

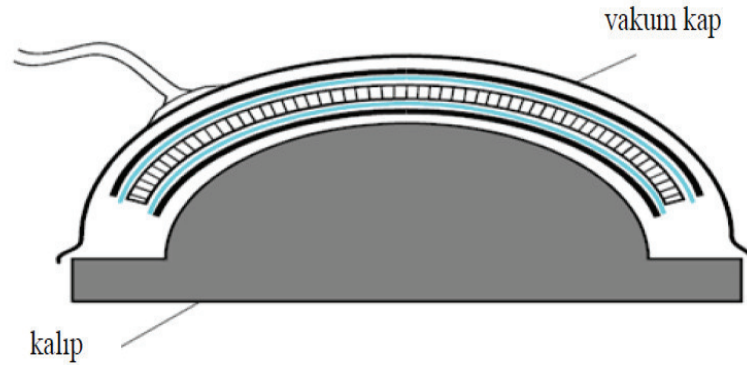
5.2.2 Vakum Torbasında Üretim Yöntemi

Karmaşık ve üretimi zor kompleks yapıların üretiminde kullanılan bu yöntemde, üretilecek olan parçalar ısıtma işlemi öncesi tek seferde sonuç alınacak şekilde montaj edilmelidir. Parça öncelikli olarak fırında ısıtılır, eğer otoklav kullanılıyorsa ek basınç uygulanmaktadır. Vakum torbasında üretim yöntemi pregrep, önceden şekil verilmiş kompozit malzemeler ve metal tabakalı sandviç paneller için uygulanmaktadır. Bu üretim yöntemi ile şekil verilmiş bal peteği ve yapıştırıcı film tabakaları kullanarak karmaşık şekilli sandviç panellerin üretimi mümkündür (Şekil 5.6) [45].



Şekil 5. 6 Vakum torbası yöntemi ile üretilmiş sandviç panel [45]

Vakum torbası tekniği kompozit üzerine esnek torbanın yerleştirilmesi ve alınan havanın vakum torbasının altından uzaklaştırılmasını içermektedir (Şekil 5.7). 1 atm'ye kadar konsolidasyon basıncı ile havanın kaldırılması vakum torbasını yatırma işlemine zorlamaktadır. Tamamlanan montaj vakum uygulanmaya devam edilerek ısıtılmış bir kalıp içerisine ya da fırına yerleştirilmektedir. Uygun kürlenme sıcaklığı uygulanarak petek yapılı sandviç paneller üretilmektedir [31].



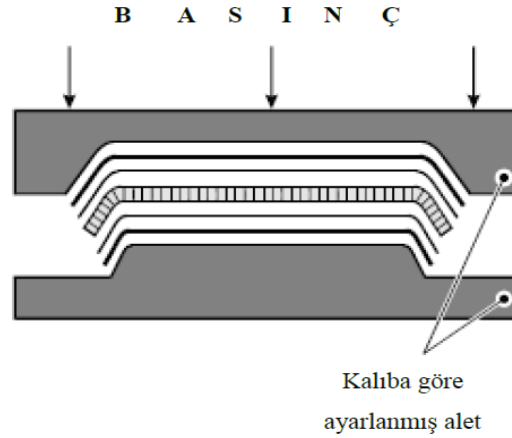
Şekil 5. 7 Vakum torbası yöntemi [45]

Özellikle, kürlenme esnasında reçinenin daha az viskoz olduğu durumlarda vakum uygulanması sandviç panellerin elde edilmesinde büyük faydalar sağlamaktadır. Bu yöntem ile reçine içerisindeki uçucu maddeler kaldırılmış olur. Bu tür uçucu maddeler pregreg yapımında kullanılan kalıcı çözücüler içermektedir. Diğer uçucu maddeler ise hazırlanmak için sertleştirici ile karıştırıldığında reçine içerisine emdirilir. Uçucu maddelerin uzaklaştırılması final parçasındaki boşlukların azalmasına yardımcı olmaktadır. Bu yöntemin diğer bir avantajı da kürlenme esnasında torbalama sistemi

yapısının bir sonucu olarak ortaya çıkan reçinelerin hareketidir. Bu sistemde ergimiş reçinenin emici bir tabaka halinde katmanlar arasında hareket ettirilmesi teşvik edilmektedir. Bu nedenle pregreg yüzeyler arasında var olabilecek sınırları azaltmak delaminasyonların oluşma olasılığını azaltmaktadır. Bununla birlikte bazı reçineler pregreg dışına çıkarılır ve torbalama sisteminde yer alan bazı malzemeler tarafından absorbe edilebilirler. Bu absorpsiyon, sandviç panellerin mekanik özelliklerini önemli derecede azaltmadan, elyaf/reçine oranını artırarak toplam ağırlığını azaltmakta ve orta derecede reçine kaybına neden olmaktadır [51].

5.2.3 Kalıp Metodu ile Şekil Verme Yöntemi

Bu işlem esnasında, sertleştirilmemiş reçine ve elyaf gibi belirli miktarda malzeme açık pozisyonda uygun kalıp boşluğunun içerisine yerleştirilmektedir. Erkek ve dişi yarı üst üste getirilerek kalıp kapatılmaktadır. Kalıp boşluğunu düzgün şekilde doldurabilsin diye kompozit malzemeyi sıkıştırmak için basınç uygulanmaktadır. Kalıplama prosesi yüksek basınç değerleri gerektirmekte ve bu durum kalıpların yüksek basınç değerlerine dayanmasını sağlamaktadır.



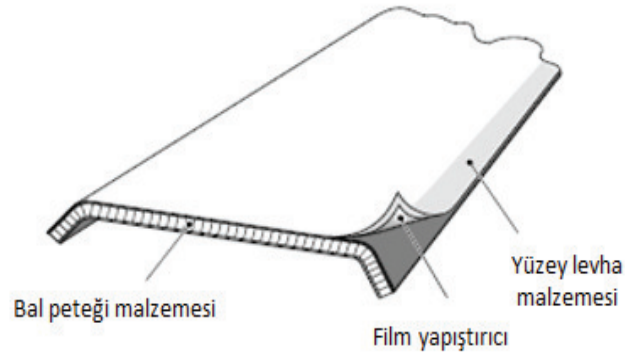
Şekil 5. 8 Kalıp metodu ile şekil verme yöntemi [45]

Presler hızlı kalıplama imkanı sağlayarak yüksek hacimli üretim olanağı sağlamaktadır (Şekil 5.8). Bu nedenle bu yöntem otomotiv endüstrisinde, yüksek miktarlarda küçük ve orta büyüklükteki parçaların imalatında kullanılmaktadır. Bu yöntemde hurda miktarı az olmasına karşın kalıp sonrası genelde kapsamlı olmayan bazı işlemler gerekmektedir.

Bu yöntem, sadece kompozitlere özgü bir yöntem olmayıp termoset ve elastomerlerin işlenmesinde de yaygın olarak kullanılmaktadır [51].

Parça alanı büyüdükçe parça alanının karesi ile bağlantılı olarak gerekli basınç miktarları da artmaktadır. Bu yüzden büyük boyutlu parçaların kalıplanmasında sıkıştırarak kalıplama yöntemi pek elverişli bir yöntem değildir. Sınırlamalarına rağmen bu yöntem ile üretilmiş hafif gövde uzantıları, çamurluklar, arka paneller, davlumbazlar, motor kapakları, kargo kapılar ve üst paneller gibi pek çok otomotiv parçası mevcuttur [51].

Otomotiv uygulamalarında kullanılan diğer bir yöntem ise uygun kalıpta şekil verme yöntemi olup bu yöntem genelde tek kullanımlık malzemelerin üretimi için kullanılmaktadır (Şekil 5.9). Bu yöntemin temel amacı; üretilecek olan parçayı yüksek toleransta üretmek ve yüzey iyileştirmesi yapılarak tek seferde netice almaktır. Bu yöntemde farklı işlem basamakları uygulanarak sıcaklık ve basınç ayarlamaları yapmak mümkündür. Isıtılmış donanımlarla mekanik basınç altında, ısıtılmamış donanımlarla basınç altında ve fırın içinde kürlenme ile yapılan üretimler bunların bazılarıdır. Bunun dışında ısıtıcı kullanımı yoksa veya sandviç panel çok büyük ise oda sıcaklığında soğuk yapıştırma işlemi de uygulanabilmektedir [51].



Şekil 5. 9 Kalıp metodu ile üretilmiş sandviç panel [45]

Uygun kalıpta şekil verme yöntemi ile otomotiv sektörü dışında pek çok alanda da parça üretimi sağlanmaktadır. Basketbol arka panoları, motosiklet parçaları, elektrik ve elektronik muhafazaları, yapı panoları, buzdolapları, mobilyalar, çim biçme makineleri gibi pek çok eşya bu yöntem ile üretilmektedir. Bu yöntemin kullanıldığı havacılık

uygulamaları arasında ise uçak iç panelleri, bazı kanat ve gövde bileşenleri, füze egzoz nozülleri ve uçak bölmeleri yer almaktadır [51].

5.3 Petek Yapılı Sandviç Panellerin Avantaj ve Dezavantajları

Petek yapılı sandviç panellerin sahip olduğu üstün özelliklerin sağladığı avantajların yanı sıra bu yapıların kullanımını sınırlandıran bazı dezavantajları da mevcuttur.

5.3.1 Petek Yapılı Sandviç Panellerin Avantajları

Günümüzde mühendislik uygulamalarında hafif yapılar oldukça fazla tercih edilmektedir. Petek yapılı sandviç panellerin sahip olduğu hafiflik özelliği bu panellerin mühendislik uygulamalarında sıkça kullanılmasını sağlamaktadır. Petek yapılı sandviç paneller sahip oldukları düşük ağırlık ve yapısal performansın yanı sıra düşük maliyetleri nedeni ile de kendilerine daha fazla kullanım alanı sağlamaktadırlar. Petek yapılı sandviç paneller sahip oldukları ağırlık ölçüsünde yüksek sertlik değerlerine sahiptirler.

Klasik malzemelere oranla daha yüksek eğilme dayanımına sahip olan petek yapılı sandviç paneller bununla birlikte yüksek yorulma dayanımı, yüksek akustik ve termal izolasyon gösterirler. Yüksek enerji absorbe etme kapasiteleri, yapılarda sağladıkları düşük ağırlığın meydana getirdiği enerji verimliliği petek yapılı sandviç panellerin bir diğer önemli avantajları arasında yer almaktadır. Aynı ağırlıktaki klasik malzemelere oranla daha yüksek basma ve yorulma mukavemetine sahip olan petek yapılı sandviç paneller yüksek korozyon direnci göstererek çevresel etkilere karşı yüksek dayanım sağlarlar. Bununla birlikte yeni tasarım esnekliği sunarak sürekli geliştirilebilir düzeyde olmaları petek yapılı sandviç panellerin kullanım alanını diğer klasik malzemelere oranla daha fazla genişletmektedir. [23,25,52,53].

5.3.2 Petek Yapılı Sandviç Panellerin Dezavantajları

Petek yapılı sandviç panellerin dayanımını yapıyı oluşturan her bir bileşenin özelliği etkilemektedir. Bileşenlerin herhangi birinde meydana gelebilecek her türlü hasar bu yapıların dayanımını azaltmaktadır. Düşük mukavemetli çekirdek malzemesinin olması, çekirdek ve yüzey malzemeleri arasında uygun olmayan yapıştırıcı kullanılması

istenmeyen özellikler ortaya çıkarabilmektedir. Petek yapılı sandviç paneller diğer malzemelere oranla bir çok avantaja sahip olmalarına karşın, çekirdek ve alt-üst yüzey levha malzemeleri arasında delaminasyonların oluşmasına oldukça müsaittirler. Bu delaminasyonlar doğal frekansları ve sönüm oranını değişikliğe uğratarak, petek yapılı sandviç panellerin rijitliğinin azalmasına neden olmaktadır. Darbe yüklemeleri altında nispeten düşük direnç gösteren petek yapılı sandviç paneller düşük hızlı darbelere karşı zayıf ve duyarlıdır. Düşük hızlı darbeler genelde iç tarafta meydana gelip görünmezler ancak yapıların sertliğini, dayanımını ve yorulma direncini önemli ölçüde azaltırlar. Bu nedenlerden ötürü darbe dayanımı petek yapılı sandviç panellerin kullanımını kısıtlandırmaktadır. Bunun yanı sıra malzeme yüzeyleri ve katlar arasında kalan hava ve gazlar petek yapılı sandviç panellerin ömrünü azaltmaktadır [23,25,53].

PETEK YAPILI SANDVIÇ PANELLERİN UYGULAMA ALANLARI

Petek yapılı sandviç paneller yüksek dayanım/ağırlık oranına sahip olup, havacılık sektöründe büyük önemi bulunan yüksek burkulma yükleri gibi statik özellikler sergilemektedir. Bal peteğinin malzemesi ve yapısı, yüzey levhalarının malzemesi ve kalınlığı değiştirilerek çeşitli özelliklerin ve istenen performansların elde edilmesi mümkün olabilmektedir. Sertlik özelliklerinin yanı sıra yüksek darbe emilimi, düşük enerji kaybı, termal izolasyon ve titreşim sönümleme gibi özelliklere sahip olan petek yapılı sandviç paneller son derece hafif konstrüksiyonlardır. Petek yapılı kompozitler diğer sandviç panellere oranla daha pahalıdır ve sandviç panel haline dönüştürülmeleri özel işçilik gerektirmektedir. Bu nedenle genellikle havacılık, denizcilik ve uzay sektörlerinde yüksek mekanik dayanım sağladıkları için tercih edilmektedirler [2,6,23].

Son birkaç yıldır sandviç panel teknolojisi büyük ivme kazanmış durumdadır. Malzeme işleme ve imalat tekniklerindeki yeni gelişmeler yeni uygulama alanlarının ortaya çıkmasına öncülük etmektedir. Bugünlerde petek yapılı sandviç paneller sahip oldukları düşük ağırlığın yanı sıra yüksek dayanıklılık ve bükülme sertliğinden dolayı çok farklı mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Petek yapılı sandviç paneller; havacılık, otomobil, spor ve denizcilik endüstrisinde çeşitli uygulama alanlarına sahiptirler. Daha çok yapısal uygulamalarda kullanılan petek yapılı sandviç panellerin en geleneksel uygulamaları havacılık sektöründedir. Uçak kanatlarında ve kanatçıklarında, döşemelerinde, kapılarında, tavanlarında, ön ve arka kenarlarında

petek yapılı sandviç paneller kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra helikopterler, füzeler, uzay mekikleri ve uydularda da petek yapılı sandviç paneller kullanılmaktadır.

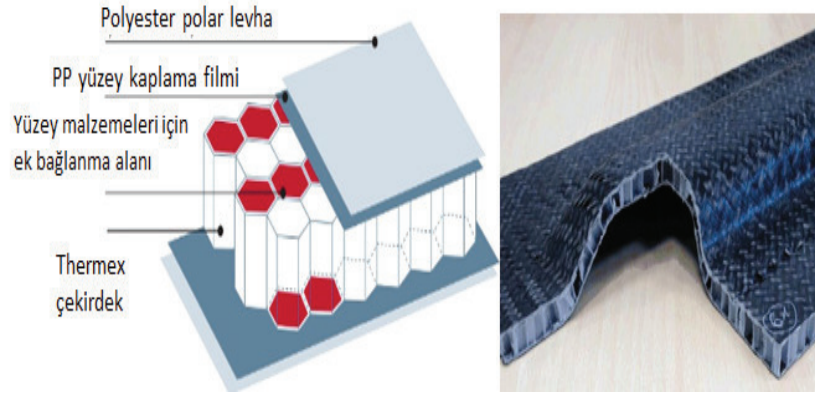
Havacılık uygulamalarının dışında petek yapılı sandviç panellerin en sık kullanıldığı alanlar kara ve su nakliye araçlarıdır. Havacılık uygulamalarına ek olarak otomobillerde, Formula 1 yarış araçlarında, enerji emen koruyucu yapılarda, motor yakıt enjeksiyon sistemleri için hava yönlendiricilerde, demir yolu taşımacılığında kapılarda, bölmelerde, tavanlarda, katlarda ve enerji emici tamponlarda petek yapılı sandviç paneller kullanılmaktadır. Bütün bu uygulamaların yanı sıra ısıtma ve havalandırma cihazları ile kayak malzemelerinde, elektronik koruma muhafazalarında da petek yapılı sandviç paneller kullanılmaktadır [22,41,54].

6.1 Otomotiv Endüstrisi

Otomotiv endüstrisi giderek hızlı bir şekilde büyüme göstermektedir. Bu büyüme günümüz müşterilerinin araçlarla ilgili olarak düşük ağırlıklarda yüksek performans ve düşük yakıt tüketimi gibi taleplerinin ortaya çıkmasına yol açmaktadır. Bu durum otomotiv üreticilerini ağırlık azaltma çalışmalarına yönlendirmektedir. Araçların iç ve dış gövde panelleri ağırlık azaltma çalışmalarının en çok uygulandığı bölgelerden biridir. Gövde panelinin ağırlığının azaltılması sonucunda yakıt tüketiminde iyileşme gözlemlenmektedir. Bunun yanı sıra gövde panellerini sac metaller yerine petek yapılı sandviç panellerle değiştirmek motor emisyon salınımını azaltmaktadır.

Yüksek statik ve titreşim performansı sergilemelerinin yanı sıra gövdenin eğilme ve burulma dayanımını arttırmaları, araçların gövde panellerinde petek yapılı sandviç panellerin kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Gövde panellerinin dışında otomobil iç taban kaplamaları ve bagaj bölmeleri de ağırlık azaltmak amacı ile petek yapılı sandviç panellerden elde edilmektedir [55-56].

Thermex çekirdekli sandviç paneller sahip oldukları hafiflik, mukavemet, neme dayanıklılık ve kolay şekillendirilebilme özellikleri nedeni ile otomotiv sektöründe kullanım alanı bulmaktadırlar (Şekil 6.1).



Şekil 6. 1 Thermex çekirdekli sandviç paneller [57]

Otomotiv sektöründe petek yapılı sandviç panellerin uygulandığı alanlar şu şekildedir;

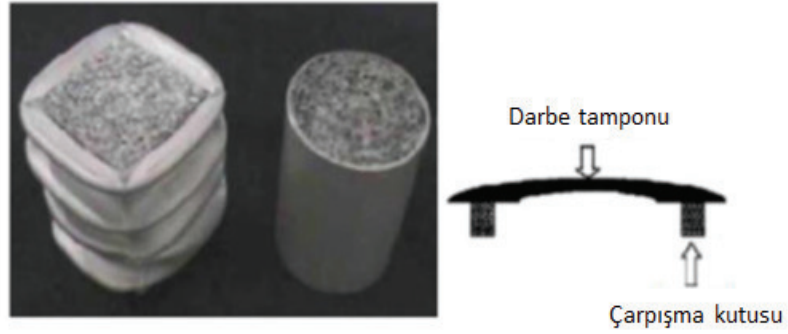
- Gövde trim parçaları
- Yük taşıyan zemin döşemeleri
- Başlık ve bagaj havuzları
- Kapı panelleri, kapı girişleri
- Titreşim sönümleyiciler
- Koltuk arkalıkları
- Elektrikli araçlar için hafif ağırlıklı eleman tasarımları
- Ara bölmeler
- İç aksamlar (Şekil 6.2)



Şekil 6. 2 Petek yapılı sandviç panellerin otomotiv endüstrisindeki uygulamaları a) Ön tampon, b) Kapı iç trim parçaları

Bu yapıların otomotiv sektöründe kullanılması pek çok avantajı beraberinde getirmektedir. Ağırlık ve maliyet kazancı, sertlik, mükemmel ısıl şekillendirilebilirlik, geliştirilmiş ısıl yalıtım, akustik performans, neme karşı duyarlılık ve CO₂ emisyonunu azaltma bu yapıların kazandırdığı avantajlar arasında yer almaktadır [57].

Petek yapılı sandviç panellerin otomotiv endüstrisindeki kullanımına başka bir örnek de çarpışma emicileridir. Çoğu firma yolcuları korumak ve araçta meydana gelebilecek hasarları en aza indirmek amacıyla çalışmalar yapmaktadır. Bu çalışmaların sonucunda darbe tamponu ile ön korkuluk arasında yer alan çarpışma kutuları icat edilmiştir. Çarpışma kutuları çarpışma sırasında meydana gelebilecek bütün enerjiyi absorbe ederek deforme olurlar ve aracın dış yüzeyinde meydana gelebilecek hasarı önlemiş olurlar. Çarpışma kutularının üretiminde iyi ses yalıtımına sahip olduğu için alüminyum petek yapılar kullanılmaktadır (Şekil 6.3) [58].



Şekil 6. 3 Alüminyum petek yapılı çarpışma kutusu [58]

Otomotiv uygulamalarında en yaygın kullanılan petek yapılı çekirdek malzemeleri; polipropilen, poliamid (PA6,PA66), ABS, polietilen ve polikarbonattır. Volkswagen ve Mercedes gibi bilinen otomotiv şirketleri de petek yapılarda bu malzemeleri kullanmaktadır. Parlak raflarda, zeminlerde, gövdelerde, yan panellerde kullanılan bu petek yapılı malzemeler UV direncine ve ışığa karşı renk dayanıklılığına sahip olup seri üretimde doğru işleme açısından yüksek kalite getirmektedirler. Alt bölme elemanları, çamurluk davlumbazları, bagaj bölmeleri, yan paneller, kapı çerçeveleri, zemin döşeme sistemleri ve akustik elemanları gibi pek çok bölgede önemli otomotiv üreticileri petek yapılı sandviç panelleri tercih etmektedir [57].

Çizelge 6. 1 Polipropilen petekli yapıların özellikleri [57]

Malzeme	THPP60-FN			THPP80-FN			THPP120-FN
Çekirdek Malzemesi	Polipropilen			Polipropilen			Polipropilen
Çekirdek Kalınlığı (mm)	8	15	23	8	15	23	3.5
Çekirdek Çapı (mm)	8.0	9.6	9.6	8.0	9.6	9.6	3.0
Yoğunluk (kg/m ³)	60-70			80-90			120-130
Basma Dayanımı (MPa)	0.6			1.2			1.6
Basma Modülü (MPa)	15			40			20
Kayma Dayanımı (MPa)	0.2/0.4			0.3/0.5			0.3/0.5
Kayma Modülü (MPa)	5/14			6/15			6/15
Çalışma Sıcaklığı (°C)	140°C'ye kadar			140°C'ye kadar			140°C'ye kadar
Isıl İletkenlik (W/mK)	0.06			0.065			0.065
Yüzey Tabakası	50 µm PP film , 35 µm ham polyester			50 µm PP film , 35 µm ham polyester			50 µm PP film , 35 µm ham polyester

6.2 Havacılık Endüstrisi

Petek yapılı sandviç paneller havacılık endüstrisinde büyük önem taşıyan yüksek sertlik/ağırlık oranı ve yüksek burkulma yükleri gibi özellikler sergilemelerine karşın, ticari uçaklardaki mevcut uygulamaları halen kontrol yüzeyi ve zemin paneller gibi ikincil yapılarla sınırlıdır. Yapısal bütünlüğü, verimliliği ve güvenliği sağlamak için uçak yapıların düzenli olarak gözetilmesi gerekmektedir. Uçak kompozit yapılarının uçuşa elverişliliği; darbe hasarı, delaminasyon ve üretim kusurları gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Hizmet esnasında boşluklar ve zayıf bağlar gibi imalat kusurlarından, mekanik kusurlardan ve çevresel etkilerden dolayı yapısal hasarlar başlamaktadır [23].

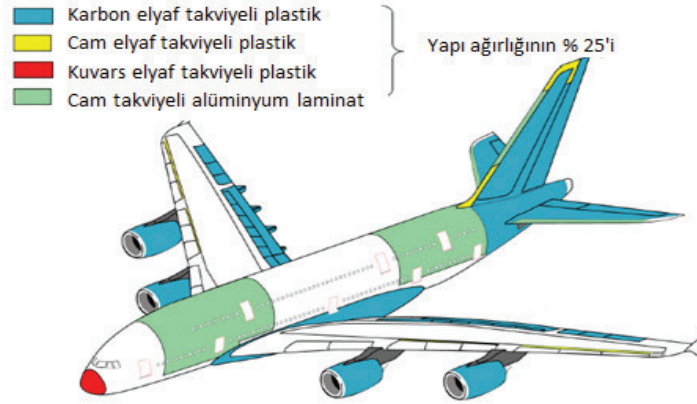
Sandviç panellerin dayanıklılık ve darbe toleransının ilk sırada düşünüldüğü uçakların birincil yapılarında kullanılması düşünülmektedir. Bu nedenle hizmet esnasındaki olumsuz etkilerin anlaşılması gerekmektedir. Karmaşık dinamik yükler altındaki malzeme davranışının bilinmemesi nedeni ile bu yapıların sivil havacılık gibi yüksek güvenilirliğin arandığı alanlarda kullanılması kısıtlanmış durumdadır. Birincil yapılarda bu uygulamaları kullanabilmek için gerekli şartların karşılanması gerekmektedir. Bu malzemelerin farklı uygulamalarda kullanılması için çeşitli statik ve yorulma yükleri altında gereken statik ve yorulma davranışlarının iyi belirlenmesi gerekmektedir [59].

Petek yapılı sandviç paneller, yüksek sertlik/ağırlık oranları nedeni ile uçak ve uzay araçlarının inşasında metal yapıların yerine giderek daha fazla kullanılmaktadır. Bu özelliklerine ek olarak darbe sönümleme, düşük enerji kaybı, termal yönetim ve akustik özellikleri açısından kullanışlıdır. Uçak kabininde oturanları gürültülere karşı korumak için yapıların ve akustik özelliklerin arasındaki ilişkinin iyi anlaşılması önemlidir [2]. Havacılık ve uzay sanayisine yönelik uygulamalarda hafiflik ve rijitlik özellikleri büyük önem taşımaktadır. Genellikle uçakta kullanılan taban kaplamaları, kanat ve kuyruk parçaları, helikopter pervanesi gibi parçalar sandviç konstrüksiyon tekniği ile üretilmektedirler [6].

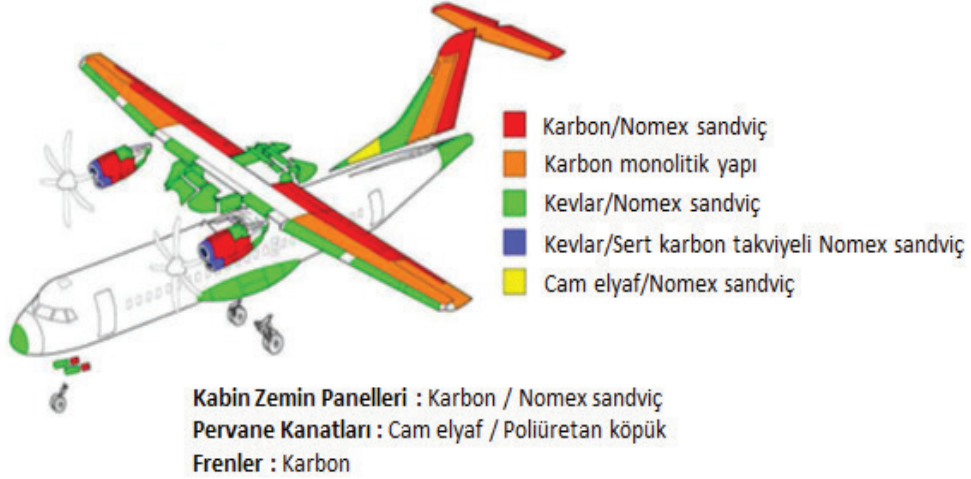
Yüksek bükülme sertlikleri ve mukavemetlerinden dolayı havacılık endüstrisinde petek yapılı sandviç panellerin kullanımı artış göstermektedir. Buna karşın bu panellerin havacılık endüstrisinde kullanımını kısıtlayan bazı olumsuz yönleri de yer almaktadır. İşletim koşullarında sandviç panellerin mekanik ve fonksiyonel özelliklerini iyileştirmek

için iki farklı strateji izlemek mümkündür. Bu stratejilerden ilki yüzey kalınlığını arttırmak iken, diğeri çekirdeğin mekanik özelliklerini iyileştirmek için içersine nano ve mikro dolgu maddeleri ilave etmektir. Genellikle termoplastik çekirdekli paneller için kullanılan ilk teknik ikinci tekniğe göre daha fazla ağırlık artışı sağlamakta ve daha fazla üretim maliyeti gerektirmektedir. Ayrıca ısı ile sertleştirilen çekirdeklerden dolayı katkı işlemi ile üretilen paneller daha büyük çevresel etkiye neden olmaktadır [5].

Sandviç konseptli yapılar havacılık uygulamalarında ilk olarak İkinci Dünya savaşı sırasında çok amaçlı askeri uçaklarda kullanılmıştır. Uçak kanatları ve gövdesinde kontrplak yüzeyler ile ahşap çekirdekten oluşan petek yapılı sandviç paneller kullanılmıştır. Bu uygulamadan itibaren havacılık endüstrisindeki polimerik sandviç panellerin kullanımı yeni elyaf türleri, reçine sistemleri, ileri üretim teknikleri ve hafif çekirdek malzemelerinin ortaya çıkması ile artış göstermiştir. Sandviç paneller uçak kanatçıklarında, zemin döşemelerinde ve perdelerde kullanılmaktadır. En yeni ticari uçaklar olan Airbus A380 ve Boeing 787 modellerinde sandviç panellerin kullanımı artış göstermektedir. 2002’de başlanan Airbus A340 ticari uçağında, uçak yapısındaki karbon elyaf takviyeli plastik oranı %15 iken Airbus A380’nin ana yapısında bu oran %25’e çıkarılmıştır [40]. 2006 yılında üretilen A380 Airbus uçağında kullanılan kompozit malzeme miktarı %22 seviyesinde olup bu malzemeler yapı ağırlığının %25’ini oluşturmaktadır (Şekil 6.4).



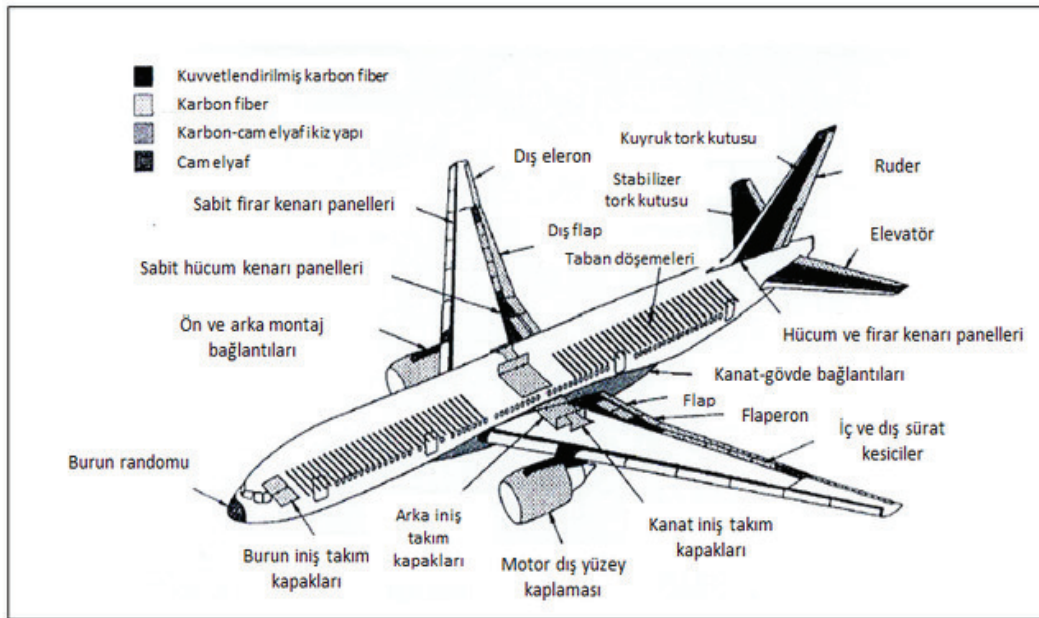
Şekil 6. 4 2006 yılında üretilen A380 uçağında kullanılan kompozit malzeme miktarı (%22 seviyesinde) [60]



Şekil 6. 5 1989 yılında üretilen Atr72 uçağında kullanılan kompozit malzeme miktarı (%10 seviyesinde) [60]

Şekil 6.5’de görüldüğü gibi 1989 yılında üretilen Atr72 uçağında kullanılan kompozit malzeme miktarı %10 iken, bunun çoğunluğunu karbon ve Kevlar NomexTM sandviç paneller oluşturmaktadır. Cam elyafli polyester kompozitler, 1940 yılından itibaren askeri uçakların radom ve yakıt tanklarından sonra birçok gövde elemanında çeşitli şekillerde kullanılmaya başlamıştır. 1944 yılından itibaren cam elyaflar uçakların yangına karşı koruma bölgelerinde; 1952 yılından itibaren grafit epoksi bazlı kompozitler radomlarda, pervanelerde, yer döşemelerinde, kapılarda, kontrol yüzeylerinde, kuyrukta, kanatlarda ve uçak ana gövde yapısında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Grafit polimer bazlı kompozitler 1960 yılından itibaren yangın koruma duvarlarında ve yüksek sıcaklığa maruz kalan hava alıklarında kullanılmaya başlanmıştır. Boron epoksi kompozitler; 1969 yılında kumanda yüzeyleri, dümen ve dengeleyicilerde yapısal tamir amaçlı kullanılmaya başlamıştır. 1971 yılında ortaya çıkan kevlar epoksi kompozit malzemeler; motor dış gövde yapılarında, kanatların hücum kenarlarında kullanılmıştır. F15 savaş uçaklarının iniş takımlarında metal matrisli kompozit malzemeler kullanılarak %30 civarında ağırlık azalması gözlemlenmiştir. F16 savaş uçaklarının giriş kapılarında, iniş takımlarının iç ve dış yüzeylerinde termoplastik kompozit malzemeler kullanılmıştır. Yakın geçmişte üretimine başlanan savaş uçaklarında karbon bazlı kompozit gövde ve gövde parçaları kullanılmıştır. Karbon elyaf takviyeli plastik kompozit kullanımı, ağırlığı önemli derecede azaltmaktadır [61].

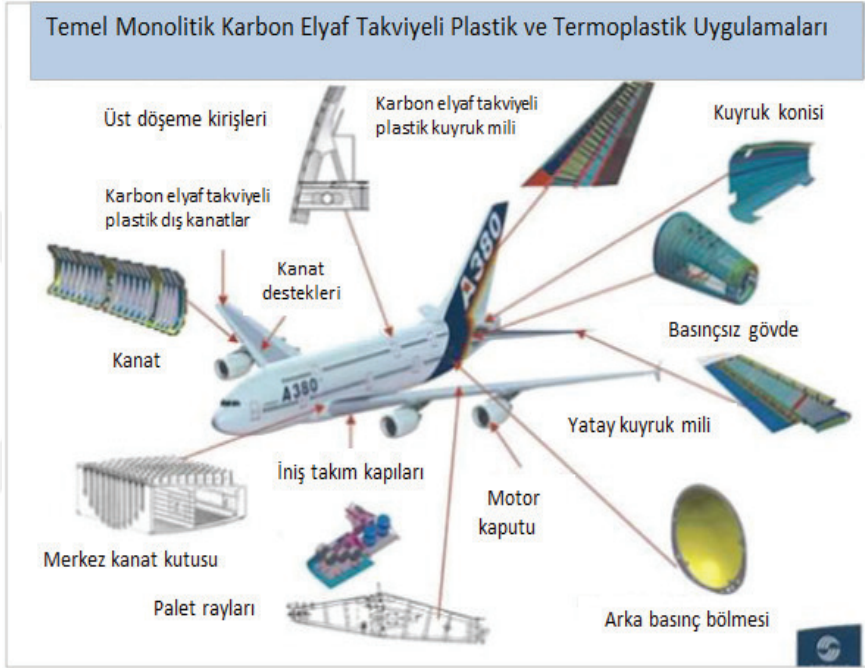
1970'li yılların başlarında takviye malzemesi olarak kullanılan boron, karbon ve kevların özelliklerinin ve maliyetinin tam olarak bilinmemesi nedeni ile ticari uçaklarda kullanımı kısıtlanmıştır. Ticari uçaklarda gelişmiş kompozit malzemelerin kullanılmak istenmesinin nedeni, yapısal ağırlığın azalmasından dolayı maliyetlerin önemli derecede azalmasıdır. Son yıllarda üretilen Boeing 767 ve Boeing 777 ticari yolcu uçaklarında dikey kumanda yüzeyleri, gövde yan panelleri aramid sandviç panellerden, dikey ve yatay kumanda yüzeyleri grafit-epoksi sandviç panellerden üretilmektedir. Boeing 777 uçaklarında ek olarak kontrol yüzeylerinde, motor dış yüzeylerinde, iniş takımı kapaklarında, gövde-kanat bağlantılarında, kanat hücum ve firar kenarlarında, uçak iç döşemelerinde ve radomda kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Taban döşemelerinin dışında bütün malzemelerin petek hücreleri Nomex™ aramid sandviç panelden oluşmaktadır (Şekil 6.6) [61].



Şekil 6. 6 Boeing 777 uçağında yer alan sandviç panel uygulamaları [61]

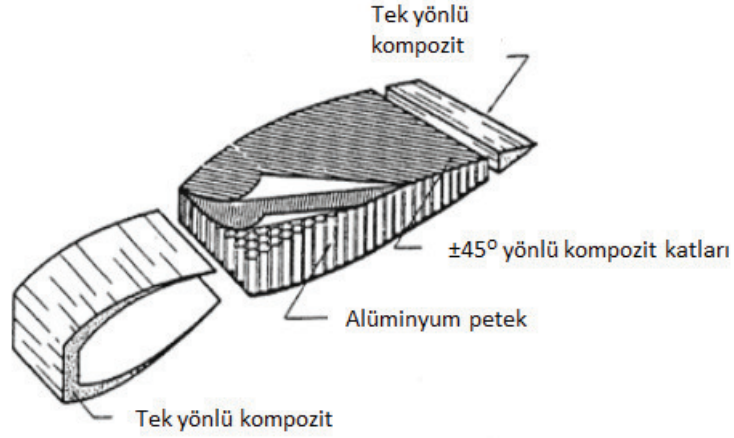
Ticari ve savunma uçakları, helikopterler ve motorlar için karbon elyaf ve kompozit malzemeler alanında dünya lideri olan Hexcel, aynı zamanda mühendislik temel parçaları ve komple yapılarda dahil olmak üzere hafif kompozit malzemelerde uzman bir firmadır. Hexcel firmasının ürettiği kompozit malzemeler uçak tasarımına büyük faydalar sağlamaktadır. Alüminyum ile karşılaştırıldığında karbon elyaf takviyeli pregreglerin yorulma dayanımlarındaki artış büyük fayda sağlamaktadır. Boeing 787 ve

Airbus A350 uçaklarının gövdesinin %50'den fazlası karbon elyaf takviyeli kompozitlerden yapılmaktadır. Airbus A380 uçağının kanat, kanat destekleri, motor kaputu, iniş takım kalıpları ve arka basınç bölmesi başta olmak üzere pek çok bölgesinde karbon elyaf takviyeli plastik ve termoplastik kompozitler kullanılmaktadır (Şekil 6.7). Hexcel bu programlar için önemli malzeme tedarikçisi konumunda bulunmaktadır [62].



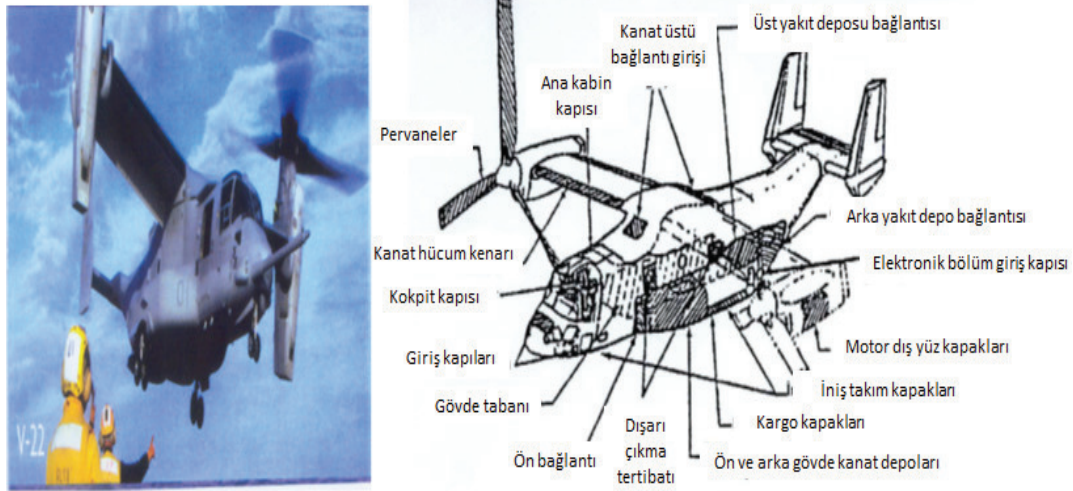
Şekil 6. 7 A380 uçaklarında kullanılan karbon elyaf takviyeli plastik ve termoplastik uygulamaları [62]

Uçak motoru üreten firmalar, motor ağırlığından %25 oranında kazanç sağlamak için kompozit yapılı kaplamaların alüminyum olmasını tercih etmektedirler. Alüminyum petek yapısı motorun çelik desteklerini alevlere karşı korumaktadır (Şekil 6.8). Kaplamalarda ise uygun maliyet ve optimum özelliklere sahip olma açısından karbon fiber tercih edilmektedir [63].



Şekil 6. 8 Uçak motoru rotor kanat yapısı

Helikopterlerde kompozit malzemelerin kullanımı; 1950’li yıllarda aerodinamik yük taşımayan bölgelerde, kapı ve panellerde başlamıştır. Sonraki yıllarda helikopterlerin ana parçalarında da kompozit malzemelerin kullanımının hızlı bir şekilde arttığı gözlemlenmektedir. V-22 osprey dikine havalanma özelliğine sahip tilt rotor askeri helikopterde kompozit malzemeler yoğun şekilde kullanılmıştır (Şekil 6.9). Bu askeri helikopterde %44’ü Grafit/Epoksi, %7’si Cam/Epoksi olmak üzere %51 oranında kompozit malzeme kullanılmıştır. Bu yüzdenin dışında bu yapı içerisinde birçok petek yapılı sandviç panel de yer almıştır [64].



Şekil 6. 9 V-22 helikopteri ve petek yapılı sandviç panellerin kullanım bölgeleri [65-66]

En son teknoloji ile üretilen RAH 66 Commançî askeri helikopterlerinin %70’den fazlası karbon elyaf/epoksi, karbon/cam, elyaf/epoksi kompozitlerden ve çeşitli

konfigürasyonlarda petekli yapıya sahip sandviç panellerden oluşmaktadır (Şekil 6.10) [66].



Şekil 6. 10 RAH 66 Commançi askeri helikopteri [65]

6.3 Denizcilik Endüstrisi

Petek yapılı kompozitler diğer sandviç konstrüksiyon malzemelerine oranla daha pahalı olup sandviç panel haline dönüştürülmeleri için özel işçilik gerekmektedir. Bundan dolayı denizcilik sektöründe genellikle yüksek mekanik dayanım sağlamak amacı ile kullanılmaktadırlar. Özellikle tekne imalatı esnasında sandviç panel teknolojisi kullanılarak teknenin mekanik dayanımı arttırılmaktadır [6]. Ticari gemilerin ara bölmelerinde, duvarlarında, tavan ve bölme panellerinde, yelkenli yatlarda petek yapılı sandviç paneller kullanılmaktadır (Şekil 6.11). Bu yapıların kazandırdığı avantajlar arasında ses yalıtımı, enerji absorpsiyonu, hafiflik, korozyon dayanımı ve enerji tasarrufu yer almaktadır [67].



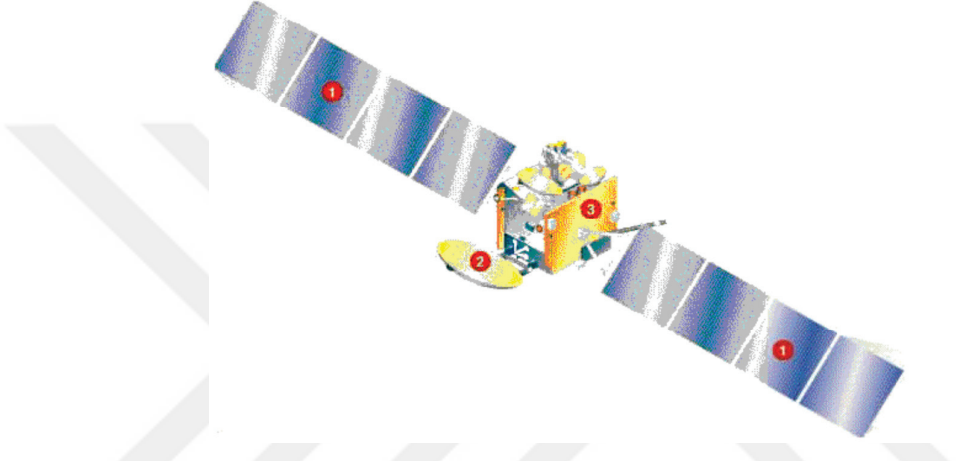
Şekil 6. 11 Teknede kullanılan petek yapılı kompozitler (2 ve 6 : Dış gövde kısmı, 4 : Asma tavanlar, 7 : Kamara bölmeleri, 9 : Hava kalkanı) [6]

Donanma gemilerinde ağırlığı azaltarak, geminin su üzerindeki manevra kabiliyetini ve kararlılığını arttırmak için ara bölmelerde petek yapılı sandviç paneller kullanılmaktadır. Panellerde yüzey malzemeleri olarak alüminyum ve cam elyaf kullanılırken, çekirdek malzemesi olarak NomexTM petek yapısı kullanılmaktadır. Daha önceki yıllarda alüminyum yüzey malzemesi ve petekli çekirdek yapısının kullanıldığı yarış teknelerinin güverteleri ve bölmeleri de üretilmiş olup bu tekneler oldukça hafiftir. Petek yapılı sandviç paneller yüksek hızlı feribotlarda kullanılmaktadır. Petekli yapılardan elde edilmiş lüks gemiler inşa edilmiş ve bu gemiler uzun mesafelere yolculuk etmişlerdir. Bu paneller merdivenlerde, mobilya dekorasyonlarında, kanepe çerçevelerinde, raflarda, yemek masalarında, mutfak ve banyo ünitelerinde kullanılmışlardır. İspanyol tersanesi MEFASA dünyanın en büyük tersanesini yaratırken kullandığı malzemeler arasında NomexTM petek yapıları yer almaktadır. Kanolarda, kayıklarda ve su kayaklarında ağırlığı azaltıp performansı iyileştirmek için yine petek yapılı sandviç paneller kullanılmaktadır [41,43].

Petek yapılı sandviç paneller; iyi dayanıklılık, yüksek sertlik/ağırlık özellikleri, hafiflik, yakıt tasarrufu gibi özellikleri nedeni ile bot yapımında da kullanılmaktadırlar. Halen denizcilik endüstrisinde çeşitli petek yapılı sandviç panellerin kullanıldığı pek çok uygulama mevcuttur. Düşük maliyetli termoplastik bal peteği malzemelerin bu yapılarda kullanımı oldukça fayda sağlamaktadır [43].

6.4 Diğer Endüstri Uygulamaları

Günümüzde petek yapılı sandviç paneller; yüksek mukavemet, neme karşı dayanım, hafiflik ve UV dayanımı nedeni ile güneş panellerinin destekleyici bölmelerinde kullanılmaktadırlar (Şekil 6.12). Petekli yapılar; radyo dalgası kalkanı, uyduların güneş panelleri ve hava akımı doğrultucuları gibi yerlerinde ve enerji absorbe edici bölgelerde geniş kullanım alanına sahiptir [6,67].



Şekil 6. 12 1. Güneş panelleri 2. Yansıtıcı antenler ve 3. Gövde: Alüminyum petekli yapı ve epoksi-karbon kompozit [6]

Katlanabilir konteynır sistemleri, hafif ağırlıklı ürünleri taşımak için yüksek derecede uygun sistemlerdir (Şekil 6.13). Konteynırlar ideal ambalaj yoğunluğuna ve taşıma esnasında darbe emici yapıya sahiptirler. Katlanabilir konteynırlar yapısal dizaynları ve dirençleri nedeni ile pek çok uygulamalar için uygun olup petek yapılı sandviç paneller kullanılarak elde edilirler [67].



Şekil 6. 13 Katlanabilir konteynır sistemleri

Yüksek mukavemet, mükemmel ses dayanımı, şok direnci ve neme karşı dayanım özellikleri nedeni ile hızlı trenlerin yer, yan ve tavan döşemelerinde petek yapılı sandviç paneller kullanılmaktadır (Şekil 6.14).



Şekil 6. 14 Hızlı trenler

Petek yapılı sandviç panellerin sahip olduğu hafiflik, yüksek mukavemet, geri dönüşüm kabiliyeti gibi özellikler inşaat ve yapı sektörlerinde bu malzemelerin sıkça kullanılmasını sağlamaktadır. İnşaat kalıbı ve destek parçalarında, prefabrik evlerin duvar ve yer panellerinde, mutfak ve bölmelerinde kullanılmaktadırlar (Şekil 6.15).



Şekil 6. 15 İnşaat ve yapı sektörü uygulamaları

Hafiflik, yüksek mukavemet, neme karşı dayanım ve diğer montaj aksamaları ile ultrasonik kaynak imkanı nedeni ile beyaz aşıların üst ve bölücü tablalarında kullanılmaktadırlar (Şekil 6.16).



Şekil 6. 16 Beyaz eşya uygulamaları

Bu uygulama alanlarının yanı sıra hava, su, sıvı yönlendirme ekipmanlarında, ısıtma ve havalandırma cihazlarında, enerji emici yapılar gibi pek çok alanda da petek yapılı sandviç paneller kullanılmaktadır [67].

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Otomotiv endüstrisi hızla büyümekte olup araçlar içerisindeki konfor alanı her geçen gün biraz daha arttırılmaktadır. Diğer yandan günümüz müşterilerinin araçlarla ilgili olarak yakıt ekonomisi ve düşük maliyetler ile yüksek performans sağlama gibi konularda sıkı talepleri mevcuttur. Bu talepler otomotiv üreticilerini ağırlık azaltma çalışmalarına yöneltmektedir. Daha hafif ağırlıkta araçlara sahip olmak, hem enerji tasarrufu hem de çevre koruma amaçları açısından büyük öneme sahip ve sürdürülebilir kalkınma yöntemlerinden biridir. Günümüzde daha yüksek enerji tasarrufu ve yakıt ekonomisi sağlamak için daha düşük ağırlıklarda araçlar gerekmektedir. Araçların iç ve dış gövde panelleri bu beklentileri karşılama açısından en önemli bölgelerden biridir. Araçlarda ağırlık azaltma; yüksek dayanımlı, düşük ağırlıklı malzeme veya düşük ağırlıklı petek yapılı sandviç panel kullanılarak sağlanabilmektedir [4,55,68].

Petek yapılı sandviç paneller kimyasal kararlılıklarının yanı sıra sahip oldukları yüksek özgül mukavemet, yüksek enerji sönmeme kabiliyetleri nedeni ile en ideal malzeme gruplarından biridir. Petek yapılı sandviç paneller, genel olarak yüksek sertliğe ve yüksek dayanıma sahip yüzey malzemeleri ile düşük ağırlığa sahip kalın çekirdek malzemelerinden elde edilirler. Çekirdek malzemeleri ve yüzey malzemeleri genelde bir bağlayıcı ile birbirlerine yapıştırılır. Yüzey malzemeleri olarak nispeten daha sert ve dayanıklı malzemeler seçilirken, çekirdek malzemeleri olarak daha hafif malzemeler tercih edilmektedir [14].

Üretim prosesleri zor ve pahalı olmasına karşın, sahip oldukları yüksek eğilme sertliği, düşük ağırlık, yüksek enerji sönümleme kabiliyeti ve dayanım özelliklerinden dolayı otomotiv, havacılık ve denizcilik başta olmak üzere pek çok alanda petek yapılı sandviç panellerin kullanımı artış göstermektedir. Bal peteğinin hücre malzemesi, yoğunluğu ve boyutunun yanı sıra yüzey malzemelerinin seçimi de petek yapılı sandviç panellerin kullanıldığı yerlere bağlı olarak tasarımcılara farklı seçenekler sunmaktadır. En uygun bal peteği yapısı belirlenirken; parça boyutları, maliyet-performans durumu, yoğunluk, kayma ve yorulma dayanımı, aşınma direnci, şekillendirilebilirlik ve dayanım en çok dikkate alınan özelliklerdir [1,35,39].

Günümüz müşterilerinin beklenti ve taleplerini karşılamak adına yapılan ağırlık azaltma çalışmaları, hafif ticari araçların arka iç gövde yan panel bölgesinde daha hafif ve daha sağlam yeni malzemeler aramasına olanak sağlamıştır. Kontrplak panellerin titreşim, izolasyon ve ses gibi problemlere sahip olması, petek yapılı sandviç panellerin hafif ticari araçlarda arka iç gövde yan panel malzemesi olarak tercih edilmesini sağlamıştır. Petek yapılı sandviç panellerin düşük ağırlığa, yüksek basma dayanımına, ses absorpsiyonuna ve titreşim sönümleme kabiliyetine sahip olmaları hafif ticari araçlarda tercih edilmelerinin başlıca sebebi olmuştur. Bu panellerin sahip olduğu düşük ağırlık, yakıt tasarrufunu da beraberinde getirdiği için müşteri beklentilerinin karşılanması açısından oldukça büyük önem arz etmektedir. Petek yapılı sandviç paneller kontrplak paneller ile karşılaştırıldıklarında m^2 başına ortalama 1 kg ağırlık kazancı sağlamakta ve yakıt tüketimini yaklaşık olarak 0.2 litre iyileştirmektedir.

7.1 Malzeme Seçimi

Günümüzde kullanıldığı ifade edilen yüz binden fazla farklı malzeme türünün her biri, hem problemleri çözmek hem de insanlığa hizmet etmek adına sürekli bir gelişim süreci geçirmektedir. Kullanılan her bir malzeme ayrı ayrı sayıldığında bir araçta yaklaşık olarak 20-25 bin adet malzeme yer almaktadır. Çok sayıda malzemenin yer aldığı karmaşık sistemlerin her biri önemli görevleri yerine getirmektedir. Bundan dolayı bulundukları yerdeki şartlara uygun olarak her bir malzemenin doğru seçilmesi oldukça önemlidir. Malzeme seçiminde göz önünde bulundurulacak mekanik mukavemet, süneklik, tasarım, kararlılık, imal edilebilirlik, elde edilebilirlik, korozyon

direnci ve maliyet gibi genel karakteristikler mevcuttur. Bazı uygulamalarda bu karakteristiklerin dışında ek faktörlerin de göz önünde bulundurulduğu durumlar yer almaktadır. Sıcaklık, çevresel koşullar, uygulanan gerilmenin derecesi, imalat ve çalışma koşulları bilinmeden uygun malzemeyi seçmek oldukça zor olmaktadır.

Mukavemet: Malzeme seçiminde genellikle en dikkat edilmesi gereken nokta malzemenin gerekli gerilmelere dayanıp dayanmayacağıdır. Mukavemet genellikle birinci seçim kriteri iken, mukavemetin yüzde yüz istendiği durumlarda sertlik, özgül ağırlık, mukavemet/özgül ağırlık gibi parametreler birinci seçim kriteri olarak ön plana çıkmaktadır.

Süneklik: Süneklik problemi genel olarak mukavemet problemine bağlı olup gerekli süneklik mukavemetten fedakarlık edilerek elde edilmektedir. Mukavemet değerlerinde çok büyük bir kayıp gerçekleştirilmeden bir miktar süneklik her zaman istenmektedir. Buna ek olarak süneklik; haddeleme, çekme, ekstrüzyon ve diğer mekanik işleme prosesleri ile yapılan imalatta aranan bir özelliktir.

Tasarım: Malzeme seçiminde mukavemet ve süneklik ile bağlantılı olup çalışma esnasındaki bozulmaların büyük bir çoğunluğu yorulmadan kaynaklanmaktadır. Malzemelerin yorulma dirençleri de tasarım ve üretim kriterlerine bağlı olmaktadır.

Kararlılık: Çalışma halindeki malzemelerin kararlılığı sıcaklığa, sıcaklık dalgalanmalarına ve bu sıcaklıkta ne kadar süre ile kaldıklarına bağlıdır. Sıcaklık malzemelerin mikro yapısında değişiklikler meydana getirir.

Elde edilebilirlik: Malzemenin nitelikleri göz önüne alınmadan, eğer malzeme kolay elde edilebilir değilse bir tasarım yapmak mantıklı değildir. Elde edilebilirlik ile anlatılmak istenen malzemenin fiyatı ve istenen şekli alabilmesidir.

Üretilirlik: Elde edilebilirlik ile bağlantılı olup aralarındaki fark parça sayısı fazla olunca metal kalıp gerekmesi ve masrafın fazla olması, kritik sayı aşıldığında ise karlı olunmasıdır.

Korozyon direnci: Her tasarım yapılırken korozyon ihtimali mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır.

Maliyet: Malzeme seçiminde bu kriter son karar olarak ödün vermeyi gerektirebilir. Donanımın bir parçasının maliyeti; ham madde, üretim ve taşıma maliyetlerini de kapsamaktadır [69].

Bütün bu malzeme seçim kriterleri ışığında deneysel çalışmada malzeme seçimi yapılırken şu aşamalar takip edilmiştir ;

- Malzemelerin genel özelliklerinin analizi
- Aday malzemelerin seçimi
- Adayların geliştirilmesi
- Gerekli özelliklere en uygun malzemenin seçimi

Burada önemli olan, ilgili yerde kullanılacak olan malzeme için gerekli özellikler ortaya konulduktan sonra bu özellikleri en iyi, en kararlı ve en ucuz şekilde sağlayacak optimum malzeme seçimidir.

Hafif ticari araçlarda arka iç gövde yan panel malzemesi olarak kontrplak paneller kullanılmaktadır. Kontrplak paneller yük taşıma amaçlı kullanılan hafif ticari araçların arka iç gövde yan panellerinde kullanılmasına karşın bu panellerin araçlarda kullanımını sınırlandıran bazı özellikleri mevcuttur. Korozyon dirençlerinin zayıf olması, ses ve titreşim sönümleme açısından yetersiz olmaları ve araca kattıkları ağırlık nedeni ile yakıt tasarrufu açısından uygun özellikte olmamaları otomotiv üreticilerini hafif ticari araçlarda arka iç gövde yan panel malzemesi olarak yeni malzeme arayışlarına yönlendirmiştir. Malzemelerin gerekli özelliklerinin analizinin yapılması sonucunda panel malzemesinden beklenen özellikler şu şekilde sıralanmıştır;

- Yüksek basma ve yüksek kayma mukavemeti
- Yüksek dayanım/ağırlık oranı
- Yüksek darbe dayanımı ve sertlik
- Su ve neme dayanım
- Koroziyon sıvılara karşı dayanım
- Kimyasal dayanım

- Ses yalıtımı (titreşimi azaltıcı ve sesi absorbe edici olmalıdır)
- Yüksek enerji absorbe etme yeteneği
- Termal izolasyon performansı
- Yeşil çevre dostu, %100 geri dönüşüm
- Düşük maliyet
- Hafiflik

Yukarıda belirtilen özellikler göz önünde bulundurulduğunda arka iç gövde yan panel malzemesi olarak şu malzemeler aday olarak gösterilmiştir;

- Cam elyaf takviyeli plastik
- Karbon elyaf takviyeli plastik
- Yüksek mukavemetli alüminyum alaşımları
- Yüksek mukavemetli magnezyum alaşımları
- Petek yapılı polipropilen sandviç panel
- Petek yapılı alüminyum sandviç panel
- Petek yapılı cam elyaf takviyeli polipropilen sandviç panel

Adayların geliştirilmesi sürecinde; yüksek dayanım/ağırlık oranı, ses yalıtımı, titreşim sönümleme, yüksek enerji absorbe etme yeteneği ve hafiflik göz önüne alındığında petek yapılı sandviç paneller diğer malzemeler arasında daha çok ön plana çıkmıştır. Genel olarak yüksek sertliğe ve yüksek dayanıma sahip yüzey malzemelerinin bir bağlayıcı yardımıyla düşük ağırlığa sahip kalın çekirdek malzemelerine yapıştırılması ile elde edilen petek yapılı sandviç panellerin yüksek eğilme sertliği, yüksek mukavemet/ağırlık oranları otomotiv sektöründe kullanımlarını oldukça geliştirmiştir. Bu alanda kullanılan çekirdek malzemeleri genellikle hafif olup düşük elastisite modülüne sahiptirler. Çekirdek malzemeleri arasında petekli yapılar daha ön plana çıkmaktadır. Sandviç paneller yüzey malzemesine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

Petek yapılı alüminyum sandviç panel; çekirdek malzemesi olarak petek yapılı polipropilen kullanılırken, alt-üst yüzey malzemeleri olarak alüminyum kullanılmıştır. Alüminyum en iyi mukavemet/ağırlık oranı gösteren malzemelerden olup düşük yoğunluğu, yüksek elektrik ve ısı iletkenliği ile ön plana çıkmaktadır. Buna karşın aşınma direncinin düşük olması ve alüminyum yüzey malzemelerinin genellikle alüminyum petek yapısına sahip çekirdek malzemeleri ile tercih edilmesi kullanımlarını sınırlandırmaktadır.

Petek yapılı cam elyaf takviyeli polipropilen sandviç panelde ise çekirdek malzemesi olarak petek yapılı polipropilen kullanılırken alt-üst yüzey malzemeleri olarak cam elyaf takviyeli polipropilen kullanılmıştır. Bu paneller daha çok ısıl şekillendirilebilirlik ve yalıtkanlık özelliklerinin arandığı yapılarda ön planda değerlendirilmektedir.

Petek yapılı polipropilen sandviç panel; çekirdek ve alt-üst yüzey malzemeleri olarak polipropilen kullanılmıştır. Polipropilen malzemesinin düşük özgül ağırlığa, iyi derecede yorulma dayanımına, darbe dayanımına, kimyasal dirence ve elektrik yalıtımına sahip olmasının yanında düşük maliyetli olması bu panellerin kullanım alanlarını genişletmektedir.

Gerekli özelliklere en uygun malzeme seçildiğinde petek yapılı polipropilen sandviç paneller diğer sandviç panellere oranla daha çok ön plana çıkmıştır. Bu panellerin mükemmel derecede enerji, titreşim ve ses absorbe edici özellikte olmaları kontrplak panellerde gözlemlenen titreşim ve ses problemlerini ortadan kaldırma açısından büyük önem arz etmektedir. Bunun yanı sıra diğer malzeme grupları ile kıyaslandıklarında en düşük ağırlık ve en uygun maliyet özellikleri sergilemelerinden dolayı, yük taşıma amaçlı kullanılan hafif ticari araçlarda arka iç gövde yan panel malzemesi olarak seçilmiştir.

Petek yapılı sandviç paneller, tüm avantajların bir araya geldiği bal peteği şeklindeki çekirdek yapısı ile üretimde optimizasyon sağlanarak uygun maliyetli çözüm önerileri sunmaktadır. Petek hücrelerindeki sıkışmış hava sayesinde bal peteklerinin termal izolasyon performansı, sert polimer çekirdekli metallere cam ve sandviç panellere nazaran çok daha yüksektir. Tipik bir PP petek yapılı bal peteğinin termal iletkenlik

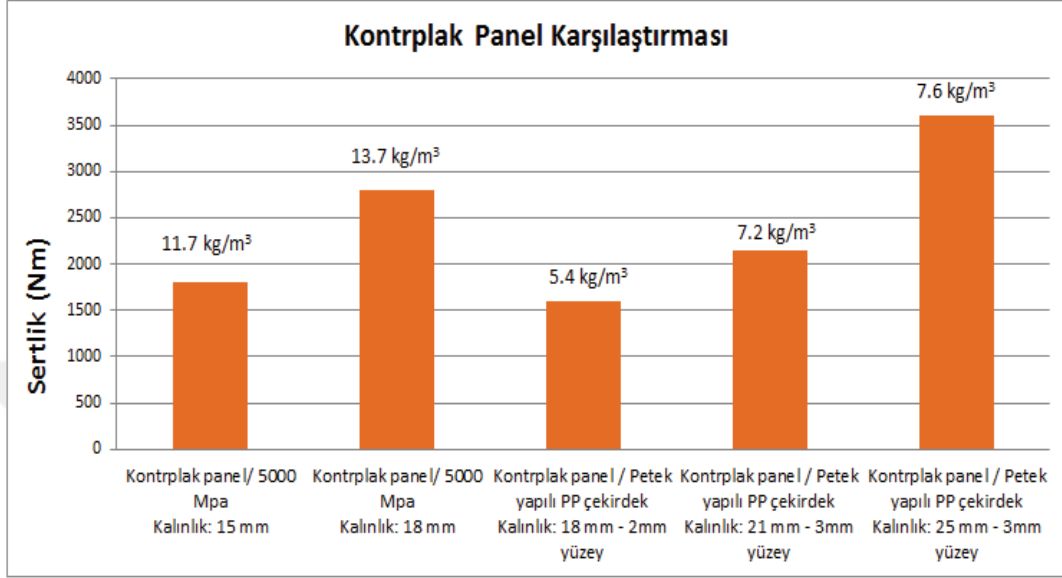
kaysayısı 0.07 W/mK iken, geleneksel sert PP çekirdekli panellerin termal iletkenliği yaklaşık olarak 0.02 W/mK 'dir [67].

Çizelge 7. 1 Petek yapılı PP sandviç panellerin otomotiv endüstrisinde sıkça kullanılan diğler panellerle karşılaştırılması [67]

Oluklu Çelik levhaya göre avantajları	Kontrplak panele göre avantajları	Lif takviyeli polimer'e göre avantajları
Hafif, kurulumu kolay	Hafif, kurulumu kolay	Hafif, kurulumu kolay
Yüksek darbe dayanımı	Yüksek darbe dayanımı	Yüksek darbe dayanımı
Dayanıklı	Sağlam, yüksek ısı dayanımı	Delaminasyon direnci
Termal yalıtım	%100 geri dönüşüm	%100 geri dönüşüm
Su geçirmez	Su geçirmez	Su geçirmez
Tamiri kolay	Yağ ve kirlenmeye dayanıklı	Tamiri kolay
Korozyon direnci yüksek	Tamiri kolay	Uzun kullanım ömrü
Yiyecek taşınabilir	Yiyecek taşınabilir	
Uzun kullanım ömrü	Uzun kullanım ömrü	

Petek yapılı polipropilen sandviç panellerin otomotiv endüstrisinde kullanılan diğler paneller ile kıyaslandığında birçok avantajı bulunmaktadır. Hafif olmaları, uzun kullanım ömrüne sahip olmaları, kurulumlarının kolay olması, sağlam ve dayanıklı olmaları ve tamirlerinin kolay olması bu avantajlar arasında yer almaktadır (Çizelge 7.1). %100 geri dönüşümü mevcut olan petek yapılı PP sandviç paneller iyi basma dayanımı özellikleri sergilemektedirler. Kısa süreli uygulanan yüklemelerde 75x75 mm'lik alanda 1.6 MPa'lık basınca kadar dayandıkları tespit edilmiştir. Özellikle perçinleme, kaynaklama ve yapıştırmaya uygun olan sandviç paneller talaş kaldırma ve termoform yöntemleri ile şekillendirilebilmektedir. Yüzey levhaları mükemmel UV dayanımına sahip olup, kimyasal, petrol ve yağ türevlerine karşı yüksek dayanım

gösterirler. Petek yapılı PP sandviç panellerin su absorbe etme miktarları % 1.4 'ün altındadır [67].



Şekil 7. 1 Kontırplak panel ile petek yapılı PP sandviç panel karşılaştırması [67]

Şekil 7.1’de yer alan grafikte polipropilen içerikli petek yapıların sandviç panel yapılarına dahil olduklarında sandviç panelin yoğunluğunu azalttıkları, buna karşın sertlik miktarlarını arttırdıkları gözlemlenmiştir [67].

7.1.1 Malzeme

Deneyisel çalışmada hafiflik, basma dayanımı, basma mukavemeti, korozyon direnci ve enerji absorbe etme gibi özellikler arandığından kontırplak paneller yerine çekirdek ve alt-üst yüzey malzemesi polipropilen olan petek yapılı sandviç paneller kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan petek yapılı sandviç panelin alt-üst yüzey malzemelerinin içerisine %20 oranında talk minerali ilave edilmiştir. Polimer kompozitlerin sertlik değerleri içerisine ilave edilen katkıların dağılımı ile ilişkili olduğundan polipropilen içerisine ilave edilen talk minerali matrisin esnekliğini azaltarak yapıyı daha rijit hale getirmiştir. Talk mineralinin matris içerisindeki homojen dağılımı ve matris ile kuvvetli bir ara yüzey bağı oluşturması yüzey malzemelerinin sertliğini arttırmıştır. Talk mineralinin yanı sıra malzeme içerisinde %5 oranında kaymayı sağlayan ilave pigmentler içeren masterbatch katkı malzemesi yer almaktadır. Deneyisel çalışmada kullanılan alt-üst yüzey malzemelerinin kalınlıkları 0.5 mm olup yoğunlukları 500 g/m² dir.

Çizelge 7. 2 0.5 mm kalınlığa sahip PP alt-üst yüzey levhalarının özellikleri [67]

Özellik	Test Sonucu	Test Metodu
Akma Anındaki gerilme dayanımı	29 MPa	ISO 527-3
Akma anındaki uzama	%6	ISO 527-3
Gerilme modülü (boyuna)	1500 MPa	ISO 527-3
Gerilme modülü (enine)	1400 MPa	ISO 527-3
Ergime sıcaklığı	165°C	ISO 3146
Isıl sapma sıcaklığı (1.80MPa - 120°C/her saat)	54°C	ISO 752
Isıl sapma sıcaklığı (0.45MPa - 120°C/her saat)	92°C	ISO 752
Yanıcılık	B	SAE 369

Çizelge 7.2’de deneysel çalışmada kullanılan PP alt-üst yüzey levhalarının mekanik, termal ve fiziksel özellikleri yer almaktadır. ISO 527-3 standardına göre PP yüzey levhalarının akma anındaki gerilme dayanımı 29 MPa iken, akma anında meydana gelen uzama değeri %6’dır. ISO 527-3 standardına göre ergime sıcaklığı 165°C olan PP yüzey levhaları için yanıcılık çok önemli bir kriterdir. SAE 369 standardına göre yüzey levhalarının yanıcılık özellikleri B sınıfında kategorize edilmiştir.

Petek yapılı sandviç panellerde çekirdek malzemesinin seçimi, sandviç panellerin özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Deneysel çalışmada düşük özgül ağırlığı, iyi ses yalıtımı, enerji ve ses absorbe etme özellikleri ile ön plana çıkan polipropilen petek yapılı çekirdek kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan PP petek yapılı çekirdek malzemesinin kalınlığı 4 mm, yoğunluğu 500 g/m² ve petek çapı 5mm’dir. Çekirdek malzemesi içerisinde %2 oranında ultraviyole, renk pigmentleri ve tutucular içeren master batch katkı malzemesi yer almaktadır. Çekirdek malzemesi içerisine katılan

ultraviyole ve renk pigmentleri yapının rengini değiştirmelerinin yanı sıra, test numunelerine uygulanacak olan çizilme testi gibi bazı fiziksel testler için önemli avantaj sağlamaktadır. Buna ilave olarak çekirdek malzemesi içerisine katılan tutucular ise çekirdek malzemesinin mekanik özelliklerini iyileştirmektedir.



Çizelge 7. 3 4 mm kalınlığa sahip petek yapılı PP çekirdek hücresinin malzeme özellikleri [67]

Özellik	Test Sonucu	Test Metodu
Akma anındaki gerilme dayanımı	29 MPa	ISO 527-3
Akma anındaki uzama	%6	ISO 527-3
Gerilme modülü (boyuna)	1500 MPa	ISO 527-3
Gerilme modülü (enine)	1400 MPa	ISO 527-3
Izod darbe dayanımı (23°C - çentikli)	>50 kJ/m ²	ISO 180
Izod darbe dayanımı (-20°C - çentikli)	9 kJ/m ²	ISO 180
Izod darbe dayanımı (23°C - çentikli)	>50 kJ/m ²	ISO 179
Izod darbe dayanımı (-20°C - çentikli)	10 kJ/m ²	ISO 179
Ergime sıcaklığı	165°C	ISO 3146
Ergime akış indeksi (230°C/2.16 kg)	1.3 g/10 dakika	ISO 1133
Isıl sapma sıcaklığı (1.80MPa - 120°C/her saat)	54°C	ISO 752
Isıl sapma sıcaklığı (0.45MPa - 120°C/her saat)	92°C	ISO 752
Yanıcılık	B	SAE 369

Çizelge 7.3, 4 mm kalınlığa sahip PP petek yapılı çekirdek malzemesinin mekanik, termal ve fiziksel özelliklerini göstermektedir. ISO 527-3 standardına göre PP petek yapılı çekirdek malzemesinin boyuna gerilme modülü 1500 MPa, enine gerilme modülü 1400 MPa, akma anındaki gerilme dayanımı 29 MPa ve bu andaki uzaması %6'dır [67].

Yüzey malzemelerinin petek yapılı çekirdek malzemeleri ile birleştirilerek sandviç panel haline getirilmesi termal laminasyon işlemi ile sağlanmıştır. Herhangi bir yapıştırıcı kullanmadan alt-üst yüzey levhaları ile çekirdek malzemesi 150°C altında laminasyon işlemi uygulanarak çift taraflı olarak birleştirilmiştir.

Deneyssel çalışmada kullanılan malzeme, toplamda 5 mm kalınlığa sahip olup içerisindeki bal peteği şeklindeki polipropilen çekirdek ve her iki yüzeyindeki yüksek mekanik özellikli polipropilen ile sandviç yapıdadır.

Çizelge 7. 4 5 mm kalınlığa sahip petek yapılı PP sandviç panelin özellikleri [67]

Özellik	Test Sonucu	Test Metodu
Gerilme modülü	1600 MPa	ISO 527-2
Eğilme modülü	1500 MPa	ISO 178
150N altında maksimum sapma (boyuna)	2.6 mm	ASTM C393 M
150N altında maksimum sapma (enine)	1.91 mm	ASTM C393 M
Ergime Sıcaklığı	165°C	ISO 3146
Camsı Geçiş Sıcaklığı (T_g)	82.5°C	ISO 3146
Yanıcılık	B	SAE 369

Çizelge 7.4’de nihai ürün olan petek yapılı PP sandviç panelin mekanik, termal ve fiziksel özellikleri yer almaktadır. ISO 527-2 standardına göre 5 mm kalınlığa sahip %100 PP sandviç panelin gerilme modülü 1600 MPa, ISO 178 standardına göre eğilme modülü 1500 MPa’dır. ASTM C393 M standardına göre 5 mm kalınlığındaki PP sandviç panele 150 N kuvvet uygulandığında boyuna maksimum sapma değeri 2.6 mm iken enine maksimum sapma değeri 1.91 mm’dir. ISO 3146 standardına göre ergime sıcaklığı 165°C olan bu panelin yanıcılık özellikleri B sınıfında kategorize edilmiştir.

Deneyisel çalışmada kullanılan nihai arka iç gövde yan panel malzemesinin içeriği şu şekildedir;

F1: 5PP80/4PP0.5: Petek çapı: 5mm, Petek malzemesi: Polipropilen, yüzey malzemeleri: Polipropilen, Yüzey malzemesi kalınlıkları: 0.5 mm, petek kalınlığı: 4 mm, Toplam kalınlık: 5 mm, yoğunluk: 1500 g/m² - Numune içerisinde yüzey malzemeleri için %5 oranında kaymayı sağlayan ilave pigmentler içeren Masterbatch ilave edilirken çekirdek malzemeleri içerisine %2 oranında UV, renk pigmentleri ve bağlayıcılar içeren Masterbatch ilave edilmiştir. Bunun yanı sıra yüzey malzemeleri içerisinde %20 oranında talk katkı malzemesi yer almaktadır.

Deneyisel çalışmada, malzeme seçim işlemi sonrası tercih edilen %5 MB takviyeli petek yapılı PP sandviç panellerin yanı sıra, farklı alt-üst yüzey malzemelerine ve farklı miktarlarda katkı madde oranlarına sahip 3 farklı test numunesi de teste tabi tutulmuştur. Test numunelerin gerçekleştirilen mekanik, termal ve fiziksel testler karşısındaki durumları değerlendirilerek avantaj ve dezavantajları ortaya koyulmuştur. Deneyisel çalışmada kullanılan diğer test numunelerinin içerikleri şu şekildedir;

F2: 5PP80/4PP0.5: Petek çapı: 5mm, Petek malzemesi: Polipropilen, Yüzey malzemeleri: Polipropilen, Yüzey malzemesi kalınlıkları: 0.5 mm, Petek kalınlığı: 4 mm, Toplam kalınlık: 5 mm ve Yoğunluk: 1500 g/m² - Numune içerisinde çekirdek ve yüzey malzemeleri içerisine %3 oranında masterbatch ilave edilmiştir.

F3: 5PP80/6AL0.75: Petek çapı: 5mm, Petek malzemesi: Polipropilen, Yüzey malzemeleri: Alüminyum, Yüzey malzemesi kalınlıkları: 0.75 mm, Petek kalınlığı: 6 mm, Toplam kalınlık: 7.5 mm ve Yoğunluk: 3000 g/m².

F4: 5PP80/6GFRP0.75: Petek çapı: 5mm, Petek malzemesi: Polipropilen, Yüzey malzemeleri: Cam elyaf takviyeli polipropilen, Yüzey malzemesi kalınlıkları: 0.75 mm, Petek kalınlığı: 6 mm, Toplam kalınlık: 7.5 mm ve Yoğunluk: 3000 g/m².

7.1.2 Numunelerin Hazırlanması

Petek yapılı sandviç paneller, bal peteği şeklindeki hücrelerin ve yüzey levhalarının üretilmesi ve daha sonra bu iki yapının birleştirilmesi ile elde edilirler.

Çizelge 7. 5 %5 MB takviyeli petek yapılı PP sandviç panellerde kullanılan PP malzemesinin içeriği [67]

Malzeme İçeriği	PPH	PPC	Talk
Ağırlıkça % bileşim oranı (yüzey levhaları)	%52	%28	%20

Propilenin polimerizasyonu sonucu üretilen kolay şekillendirilebilen ve ekonomik bir polimer olan homopolimer propilen (PPH), yine propilenin polimerizasyonu ile üretilip sıcaklık dayanımı yüksek olan kopolimer propilen (PPC) ve talkın Çizelge 7.5’de belirtilen yüzdelerde karıştırılması ile uygulamada kullanılacak olan polipropilen içeriği elde edilmiştir.

Hazırlanan karışım, uygulanan kuvvetle itilip ürün kesitini veren ekstruderden geçirilerek profil haline getirilmiştir. Bu işlem sırasında meydana gelen yoğun deformasyon ve sürtünmeden dolayı işlem boyunca artan bir sıcaklık değişimi meydana gelmektedir. Ekstruderden çıkan polipropilen levhalar soğutma banyosuna daldırıldıktan sonra silindirler içerisinden geçirilmiştir. Altıgen formdaki bal peteği çekirdek yapılar, vakum içerisinde ısıtılarak şekil verme yöntemi ile elde edilmiştir. Petek yapıları sürekli bir üretim hattında dakikada 50 m’ye varan hızda dönel hareketlerle ardışık olarak oluşturulmuştur. Sonrasında yarım altıgen sıralar bir kanal içerisine yerleştirilerek katlama prosesi gerçekleştirilmiştir. Yüzey levhalarının alt-üst bağlantı noktalarının değişmesinden dolayı katlama prosesi kolayca tamamlanmıştır. Petekli yapılar ısıl füzyon yöntemi ile dahili olarak birbirine bağlanmıştır. Sonrasında ise yüzey levhaları ve petekli çekirdek yapı, yapıştırıcı malzeme kullanmadan 150°C altında termal laminasyon işlemi ile birleştirilerek Çizelge 7.6’da belirtilen özelliklerde petek yapılı sandviç panellerin elde edilmesi sağlanmıştır. Hat sonunda belirlenen ölçülerde kesilen sandviç paneller daha sonrasında yüzey temizleme işlemine tabi tutulmuştur. Yüzey temizleme işleminin ardından test numuneleri uygulanacak farklı deney çalışmalarına göre su jeti yardımı ile farklı boyutlarda kesilerek deneysel çalışmalara hazır hale getirilmiştir.

Çizelge 7. 6 %5 MB takviyeli petek yapılı PP sandviç panele ait malzeme özellikleri

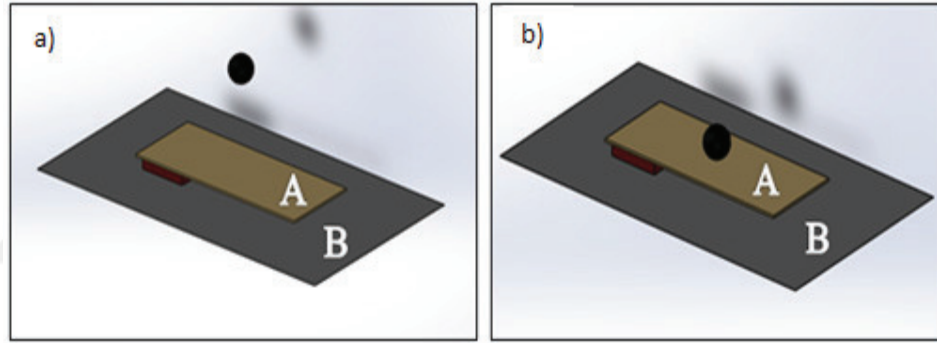
Panel malzemesi	Kalınlık	Yoğunluk	Talk Oranı	MB Oranı
Alt yüzey levhası	0.5 mm	500 g/m ²	%20	%5
Çekirdek	4 mm	500 g/m ²	-	%2
Üst yüzey levhası	0.5 mm	500 g/m ²	%20	%5

Sandviç yapı olarak seçilen bu malzemeyi hafif ticari araçlarda kullanabilmek için petek yapılı PP sandviç panel test numunelerinin bazı mühendislik ve malzeme testlerini başarı ile tamamlaması gerekmektedir. Bu nedenle üretilen petek yapılı sandviç paneller farklı mekanik, fiziksel ve termal testlere tabi tutulmuş ve özellikleri ortaya koyulmuştur.

7.2 Mekanik Testler

7.2.1 Darbe Dayanım Deneyi

Darbe dayanım deneyi, araç içerisinde bulunan taban konsolları, koltuk parçaları, zemin döşemeleri ve gövde panelleri gibi bölgelerde kullanılan malzemelerin darbe dayanımını belirlemek için uygulanmaktadır. Deneysel çalışma, 4.5 kg ağırlığa ve 127 mm çapa sahip olan kauçuk bir topun mühendislik şartnamelerinde yer alan darbe koşulları altında belirtilen yükseklikten bırakılması esasına dayanmaktadır. Deneyin uygulanması esnasında araç gövde yan panelleri için mühendislik şartnamelerinde belirtilen yükseklik değeri olan 460 mm yükseklikten ve onaylanmış tutma koşulları uygulanarak kauçuk top test numuneleri üzerine bırakılmıştır (Şekil 7.2).



Şekil 7. 2 Darbe dayanım deneyinin uygulanma metodu a) Kauçuk topun atılması
b) Kauçuk topun test numune yüzeyi ile teması

Hafif ticari araçların iç gövde panelleri için uygulanan mühendislik ve malzeme standartlarına göre, oda sıcaklığı koşullarında gerçekleştirilen deneysel çalışma sonucunda numune yüzeyinde herhangi bir çatlama ve kırılma gözlemlenmemesi ve numunenin yüzeyinde oluşan girintiden tamamen kurtulması beklenmektedir. Darbe dayanım deneyi, yüksek hızlı çarpışma altında test numunelerinin ortaya çıkan kinetik enerjiyi hangi ölçüde absorbe ettiğini ölçmek için uygulanmaktadır. Uygulamada 4.5 kg kütleli kauçuk top 460 mm yükseklikten ilk hızı sıfır ($V_0=0$) olacak şekilde test numunelerinin üzerine bırakılmıştır. Kauçuk topun sahip olduğu kinetik enerji test numunesi tarafından absorbe edilmiştir. Yutulan kinetik enerji,

$$E_k = \frac{1}{2}mV^2 \quad (7.1)$$

eşitliğinden bulunur. Burada m , kauçuk topun kütlesi, V ise kauçuk topun test numunesinin yüzeyine temas ettiği andaki hızıdır. Genel mekanik enerji denklemi;

$$U = \Delta T + \Delta V_e + \Delta V_g \quad (7.2)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada U , dış kuvvetin yaptığı iş olup sıfırdır. ΔT ise kinetik enerji değişimidir. V_f ve V_0 , m kütleli cismin sırası ile son ve ilk hızları olmak üzere

$$\Delta T = \frac{1}{2}m(V_f^2 - V_0^2) = \frac{1}{2}mV^2 \quad (7.3)$$

elde edilir. ΔV_e , elastik sistemin potansiyel enerjisindeki değişimi olup değeri sıfırdır.

ΔV_g ise gravitasyonel potansiyel enerjideki değişimdir.

$$\Delta V_g = mg(h_f - h_0) = mg(-h) = -mgh \quad (7.4)$$

Burada h , çarpma yüksekliği, h_f ve h_0 değerleri ise düşey uzaklıklardır. Eşitlik 7.3 ve Eşitlik 7.4, Eşitlik 7.2’de yerine yazılacak olursa

$$V = 2gh \quad (7.5)$$

elde edilir. Elde edilen bu eşitlik yardımı ile cismin çarpma anındaki hızı belirlenir. 7.1 nolu eşitlik yardımı ile kinetik enerji hesaplanmıştır.

Çizelge 7. 7 Darbe dayanım deneyinde kullanılan sayısal değerler

m	Cismin kütlesi	4.5 kg
h	Çarpma yüksekliği	0.46 m
g	Yerçekimi ivmesi	9.81 m/s ²
V	Hız	3 m/s
E_k	Kinetik enerji	20.25 J

Çizelge 7.7, darbe dayanım deneyinde kullanılan sayısal değerleri göstermektedir. 4.5 kg ağırlığındaki kauçuk top 0.46 m yükseklikten test numunesinin yüzeyine çarptığı anda, $3 \frac{m}{s}$ ’a hıza ulaşmıştır. Kauçuk topun test numunesinin yüzeyine çarptığı anda 20.25 Joule değerinde kinetik enerji ortaya çıkmıştır.

7.2.2 Kırılma Dayanım Deneyi

Kırılma dayanım deneyi test numunelerinin dayanım, rijitlik ve süneklik gibi mekanik özelliklerini belirlemek için uygulanmıştır. Deneyin uygulanması esnasında sabit oran uzantılı test cihazı kullanılmıştır. Test numuneleri üzerine gelen kuvveti ve malzeme yüzeyleri arasında gerçekleşecek olan ayrılma miktarlarını ölçmek için test ekipmanı içerisine kayıt cihazı yerleştirilmiştir. Ekipmanın test işlemi sırasında pürüzsüz, düzgün çene hareketleri ve gerekli oran ile arttırılabilen gerinim değerlerini sağlaması istenmiştir (Şekil 7.3).



Şekil 7. 3 Sabit oran uzantılı kırılma dayanım deneyi test cihazı

ASTM D 1000 standardına uygun olarak gerçekleştirilen deneysel çalışmada, test cihazı içerisine yerleştirilen test numunelerine 1 saat süre içerisinde sabit oranlar ile artan kuvvet değerleri uygulanmaya başlanmıştır. Test numuneleri üzerinde kopma işlemi gerçekleşinceye kadar işleme devam edilmiştir. Kopma işlemi gerçekleştiği anda test numunesi üzerine uygulanan kuvvet değeri ve numune içerisinde gerçekleşen uzama değeri ekstansometre cihazı ile ölçülmüştür. ASTM D 1000 standardına göre test numunelerinin deney kriterlerini başarı ile sağlaması için 1200 N/m altında kopma göstermemesi beklenmektedir.

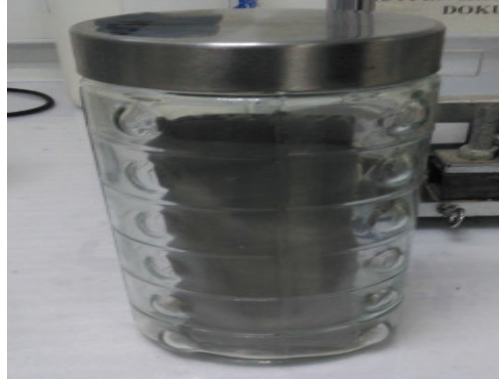
7.3 Fiziksel Testler

7.3.1 Koku Deneyi

Hafif ticari araçların iç döşeme ve gövde yan panel malzemelerinden kaynaklanan kokuların değerlendirilmesi için deneysel çalışma yürütülmüştür. FLTM BO 131-03 koku

testi standartlarına uygun olarak gerçekleştirilen deneysel çalışmada, benim de içerisinde yer aldığım koku değerlendirme ekibi tarafından test numunelerinin koku düzeyleri değerlendirilmiştir. Test çalışmasının gerçekleştirildiği otomotiv şirketinin laboratuvar test metodlarına uygun olarak gerçekleştirilen koku deneyi, kokudan tamamen arındırılmış bir ortamda ve 3 farklı sıcaklık değeri altında gerçekleştirilmiştir.

İlk durumda; test numuneleri bir kavanoz içerisine yerleştirilmiştir (Şekil 7.4). Sonrasında kavanozun ağzı kapatılarak, oda sıcaklığında (25°C) ve %50 bağıl nem koşullarında 24 saat süre ile bekletilmiştir. 24 saat sonunda kavanozun ağzı açılarak test numunelerinin koku durumu, ortamda bulunan koku değerlendirme ekibi tarafından değerlendirilmiştir. Test numunelerine ait koku oda içerisinde yayılma göstermeden derhal koku değerlendirme ekibi tarafından değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Değerlendirme esnasında değerlendiricilerin burnu kavanoz kapağının 5 cm üzerinde olacak şekilde, gelen havanın doğrudan değerlendiricilerin burnuna doğru kaydırılması sağlanmıştır.



Şekil 7. 4 Koku deneyini gerçekleştirmek üzere oda koşullarında kavanoz içerisine yerleştirilmiş test numuneleri

İkinci durumda; kavanoz içerisine yerleştirilen test numuneleri, önceden 40°C'ye ısıtılan fırın içerisine konulmuş ve kavanozun ağzı kapatılarak 24 saat süre ile fırın içerisinde bekletilmiştir (Şekil 7.5). Bu süre sonunda kavanoz fırın içerisinden çıkarılarak test numunelerine ait koku durumu derhal koku değerlendirme ekibi tarafından değerlendirilmiştir.



Şekil 7. 5 Koku deneyini gerçekleştirmek üzere 40°C'ye ısıtılan fırın içerisine yerleştirilmiş test numuneleri

Üçüncü durumda; kavanoz içerisine yerleştirilen test numuneleri, daha önceden 65°C'ye ısıtılan fırın içerisine 2 saat süre ile yerleştirilmiştir. Bu süre sonunda kavanoz fırın içerisinden çıkarılarak test numunelerinin koku düzeyi derhal koku değerlendirme ekibi tarafından değerlendirilmiştir.

Çizelge 7. 8 Koku deneyi değerlendirme skalası

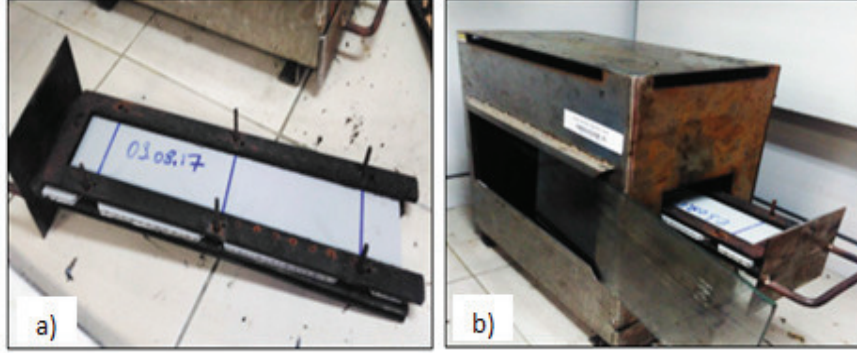
Değerlendirme Puanı	Koku Derecesi
1	Koku fark edilmiyor
1.5	Hafif algılanabilir
2	Algılanabilir, rahatsız edici değil
2.5	Açıkça algılanabilir, rahatsız edici değil
3	Daha net algılanabilir, rahatsız edici değil
3.5	Yoğun, biraz rahatsız edici
4	Rahatsız edici
4.5	Yoğun, rahatsız edici
5	Kesinlikle rahatsız edici
5.5	Çok yoğun, rahatsız edici
6	Son derece rahatsız edici

Çizelge 7.8’de test numunelerinin koku düzeyini belirlemek için kullanılan koku değerlendirme skalası yer almaktadır. Koku değerlendirme ekibinde yer alan değerlendiriciler deneysel çalışmaya ait sonuçları değerlendirirken bu değerlendirme skalasından yararlanmışlardır. FLTM BO 131-03 test standardlarına göre gerçekleştirilen deneysel çalışmada “en küçük değer en iyi” esas alınmıştır. Test numunelerinin deney kriterlerini başarı ile sağlaması için 3 farklı sıcaklık koşulu için koku değerlendirme puanının maksimum “3” olması gerekmektedir.

7.3.2 Yanmazlık Deneyi

Yanmazlık deneyi test numunelerinin yanmaya karşı dirençlerini belirlemek amacı ile uygulanmıştır. 102x354 mm boyutlarında hazırlanan test numuneleri yanma esnasında dumanın odaya yayılmaması için metal kabinin içerisine yatay şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 7.6.a). Sonrasında metal kabin 35°C sıcaklığa ve %75 bağıl nem koşullarına ayarlanan davlumbaz içerisine konulmuştur (Şekil 7.6.b). Davlumbaz içerisindeki

brülörler metal kabin içerisine yerleştirilen test numunesinin doğrudan açık ucunun orta kısmına gelecek şekilde ayarlanmıştır. Brülördeki hava emiş delikleri kapatılarak 38 mm uzunluğunda alev üretmek için gaz akışı sağlanmıştır. Test numuneleri 15 s süre ile aleve maruz bırakıldıktan sonra brülör alevi söndürülmüştür. Yanma alevinin test numuneleri ile ilk temas ettiği andan başlayarak malzeme alt ve üst yüzeyi üzerinde hızlı yanma ve alev olup olmadığı gözlemlenmiştir.



Şekil 7. 6 Yanmazlık deneyinin uygulanma metodu a) Test numunesinin metal kabine yerleştirilmesi b) Metal kabinin davlumbaz içerisine yerleştirilmesi

İlk alev U şablonlu çerçevenin açık ucundan 38 mm mesafede taranan kısmına ulaştığı anda zamanlama başlamış ve alev söndüğü anda durdurulmuştur.

$$B = 60 \times \frac{D}{T} \quad (7.6)$$

B : Yanma oranı (mm/dakika)

D : İlk çizilen çizgiden başlayan alev uzunluğu (mm)

T : İlk çizgiden başlayarak ilerleyen alev süresi (s)

ISO 3795 standardına uygun olarak gerçekleştirilen yanmazlık deneyi sonuçları değerlendirilirken yanma oranı kriter olarak baz alınmıştır. Test numunesinin yanmazlık deneyi kriterlerini başarı ile sağlaması için maksimum yanma oranının 100 mm/dakika olması gerekmektedir.

7.3.3 Temizlenebilirlik Deneyi

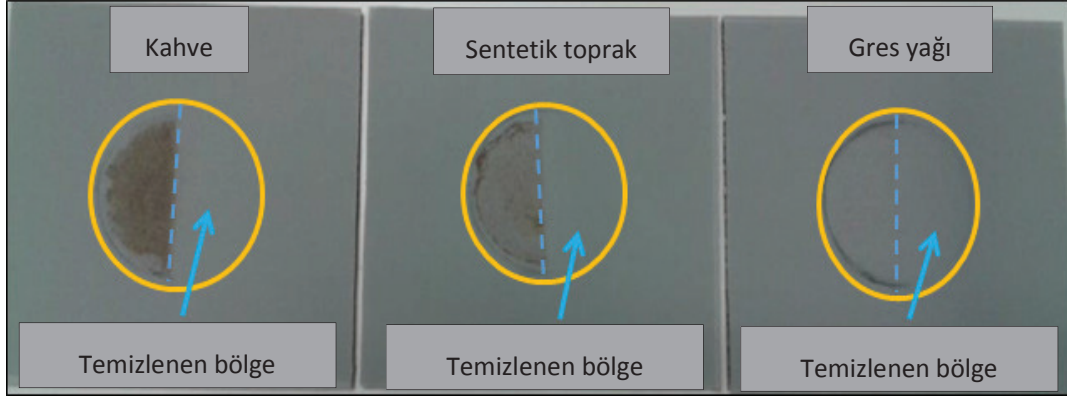
Otomotiv iç trim malzemelerinin temizlenebilirlik durumlarını belirlemek için deneysel çalışma yürütülmüştür. Oda sıcaklığında ve 50% bağıl nem koşullarında gerçekleştirilen

deneysel çalışmada, 127x127 mm boyutlarında hazırlanan 3 adet test numunesinin üzerlerine 57 mm çapında daireler çizilmiş ve bu kısımlara sırası ile kahve, yağ ve sentetik toprak tatbik edilmiştir (Şekil 7.7).



Şekil 7. 7 Temizlenebilirlik deneyi için test numunelerinin yüzeyine tatbik edilmiş kirleticiler

Her bir test numunesine ayrı bir kirletici uygulanmış ve temizleme prosedürüne geçilmeden belirli bir süre ile test numunelerinin kirlenmesine izin verilmiştir. İlk olarak 2 mL sıvı kahve örneği beyaz kağıt havlunun üzerine konulmuş ve kahve solüsyonu ilk test numunesinin daire çizilen bölgesine uygulanmıştır. Sonrasında 0.2 g gres yağı metal bir aplikatör yardımı ile ikinci test numunesine düzgün bir şekilde yaydırılmıştır. Son test numunesi üzerine ise 2 g ağırlığındaki sentetik toprak tatbik edilmiştir. Kirletici tatbik edilmiş bölgelere 30 s süre ile 5 kg ağırlığında bir disk yerleştirilerek kirleticilerin test numunelerinin yüzeyleri üzerinde kalması sağlanmıştır. Kirli bölgedeki aşırı gres yağı ve sentetik toprak bir sıyrıcı yardımı ile malzemeye zarar vermeyecek şekilde temizlendikten sonra kirli bölgenin yarısı metal plaka ile kaplanmıştır. Kirleticilerin 24 saat süre ile test numunelerinin üzerinde kalmasına izin verilmiştir. Bu süre sonunda kirlenmiş bölgelere nemli ve beyaz pamuklu bir bezle düzgün bir kuvvet uygulanarak temizleyici maddelerin 3 dakika süre ile test numuneleri üzerinde kalması sağlanmıştır. Sonrasında kuru ve temiz bir bez yardımı ile silme işlemi gerçekleştirilmiş olup test numunelerinin 24 saat süre hava ile kurummasına izin verilmiştir. Bu süre sonunda aydınlatma koşulları altında kirli bölge ile temiz bölge arasında karşılaştırma yapılarak temizliğin kabul edilebilirliği belirlenmiştir. Temizleme öncesi ve sonrası koşullarını gözlemlemek için dairesel bölgenin sadece yarısı temizlenmiştir (Şekil 7.8).



Şekil 7. 8 Temizlenebilirlik deneyi sonrası %5 Masterbatch takviyeli petek yapılı PP sandviç panel test numunelerinin yüzey durumunun değerlendirilmesi

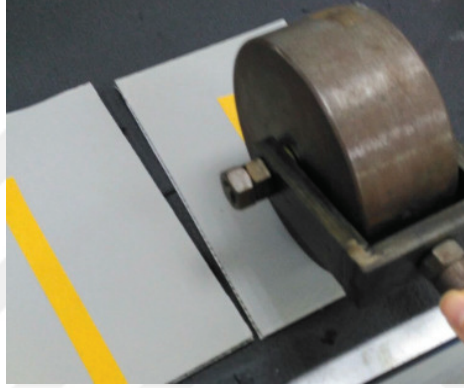
ISO 105 A02/AATCC standartlarına göre gerçekleştirilen temizlenebilirlik deneyi değerlendirme analizinde “en büyük değer en iyi” esas alınmıştır. Şekil 7.9’daki değerlendirme skalası kullanılarak temizlenen bölgelerin ışık altındaki durumları değerlendirilmiştir. Bu standarda göre test numunelerinin deney çalışmasını başarılı şekilde tamamlayabilmesi için değerlendiriciler tarafından verilen değerlendirme puanının minimum “3” olması gerekmektedir.



Şekil 7. 9 Temizlenebilirlik deneyi değerlendirme skalası

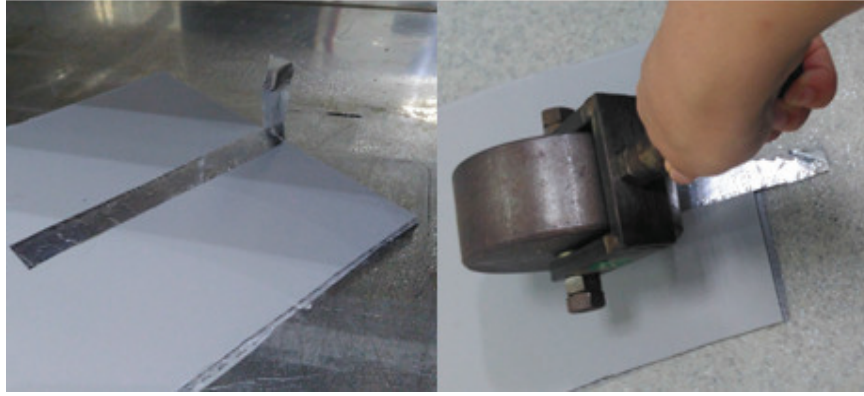
7.3.4 Yapışma Mukavemeti Deneyi

Yapışma mukavemeti deneyi, test numunelerinin yapışkanlık özelliklerini belirlemek amacı ile uygulanmıştır. İlk olarak 200x200 mm boyutlarında hazırlanan 4 adet test numunesinin yüzeyleri izopropil-su çözeltisi kullanılarak temizlenmiş ve sonrasında test numunelerinin yüzeyleri kuru bir bez yardımı ile silinmiştir. Ardından 150 mm uzunluğunda ve 13 mm genişliğinde çift taraflı yapışkana sahip bant hazırlanarak test edilecek numuneye, 2 kg'lık bir merdane yardımı ile yüzeyinde herhangi bir hava kabarcığı kalmayacak şekilde basınç uygulanarak yapıştırılmıştır (Şekil 7.10).



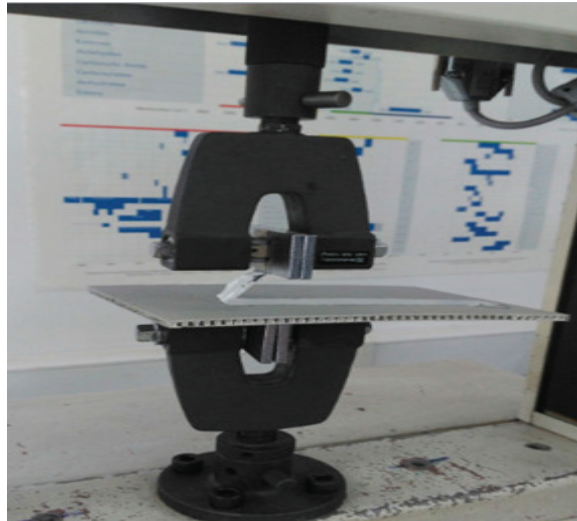
Şekil 7. 10 Yapışma mukavemeti deneyini gerçekleştirmek üzere çift taraflı yapışkana sahip bantın test numunesi yüzeyine yapıştırılması ve 2 kg'lık merdane yardımı ile bant üzerine kuvvet uygulanması

Bantın üst koruyucusu çıkartılarak basınca duyarlı ve 19x200x0.125 mm boyutlarındaki anodize edilmiş alüminyum bant bu bölge üzerine konumlandırılmıştır. 2 kg ağırlığındaki merdane ile saniyede 50 mm ilerleme olacak şekilde anodize edilmiş alüminyum bant üzerine basınç uygulanmış ve alüminyum bant yüzeyde herhangi bir hava kabarcığı kalmayacak şekilde konumlandırılmıştır (Şekil 7.11).



Şekil 7. 11 Yapışma mukavemeti deneyini gerçekleştirmek üzere anodize edilmiş alüminyum bantın test numunesi yüzeyine yapıştırılması ve 2 kg'lık merdane yardımı ile bant üzerine kuvvet uygulanması

Bu işlemin ardından test numunesi çekme test cihazının sabit çenesi üzerinde fikstür yardımı ile kelepçelenmiştir. Test cihazı test süresi boyunca 90 derecelik soyma açısı sağlayacak şekilde ayarlanmıştır. Test numunesi tutma fikstürü içerisine yerleştirilmiş ve çapraz kafa çenesine alüminyum bandın uzatılmış bir ucu konumlandırılmıştır. Dakikada 300 mm'lik oranlar ile çene ayırma işlemi başlatılarak bandın tamamı test numunesi yüzeyinden soyulana kadar teste devam edilmiştir (Şekil 7.12). Soyulma işleminin gerçekleştiği ilk ve son 25 mm'lik kısım göz ardı edilerek diğer kısımlardaki ortalama soyulma kuvveti Newton cinsinden kaydedilmiştir.

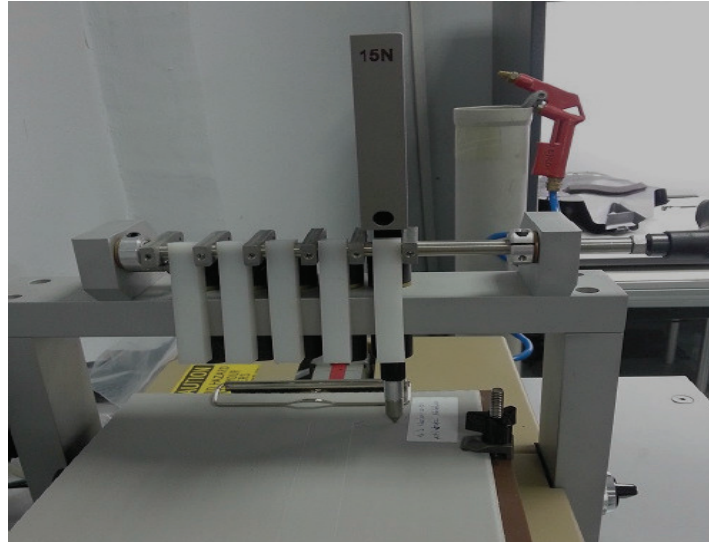


Şekil 7. 12 Yapışma mukavemeti deneyinde kullanılan test numunesinin çekme test cihazına bağlanması

Test çalışmasının gerçekleştirildiği otomotiv şirketinin laboratuvar ortamında, FLTM BU 112-02 yapışma mukavemeti standardına göre gerçekleştirilen deneysel çalışma sonucunda, test numunelerinin deney kriterlerini başarı ile yerine getirmesi için minimum soyulma kuvvetinin 300 N/m olması gerekmektedir.

7.3.5 Çizilme Deneyi

Çizilme deneyi, test numunelerinin standart koşullar altında çizilmeye, beyazlamaya ve bozunmaya karşı direncini belirlemek amacı ile uygulanmıştır. Deneyin uygulanma aşamasında 250 mm uzunluğunda, 5 metal parmağa ve hareket ettirilen bir kızağa sahip, bir ucu sabitlenmiş diğerine ise 1 mm çapında değiştirilebilir çizilme pimleri yerleştirilen mekanik sürmeli çizim aparatı kullanılmıştır. Deney esnasında pimler 2N, 3N, 7N, 10N ve 15N olmak üzere farklı ağırlıklarla yüklenmiş ve bu ağırlıklarla test numunesinin yüzeyine kuvvet uygulanmıştır. Oda sıcaklığı ve %50 bağıl nem koşulları altında uygulanan çizilme deneyinde, 200x150 mm boyutlarında test numunesi kullanılmıştır. Sırası ile farklı kuvvetlerdeki çizilme pimleri ve 1 mm çapındaki cilalanmış çelik toplar çizilme aparatına bağlanmıştır (Şekil 7.13). Test numunesinin kısa tarafı beş parmaklı çizilme aparatının alt kısmına gelecek şekilde yerleştirilerek, yaklaşık olarak sağdan sola saniyede 100 mm itilmiş ve kronometre yardımı ile çizilme hızları kontrol edilmiştir.



Şekil 7. 13 Çizilme deneyini gerçekleştirmek üzere çizilme pimlerinin ve çelik topların mekanik sürmeli çizilme aparatına bağlanması

FLTM BO 162-01 standardına göre gerçekleştirilen çizilme deneyinde, en yüksek ağırlığın neden olduğu çizgi üst konumda olacak şekilde yerleştirilerek ışık altında gözlemlenmiştir. Çizgi boyunun ilk ve son %10'luk bölümü göz ardı edilmiş ve değerlendirme skalasına bağlı olarak çizgi boyunun geri kalan %80'lik kısmı değerlendirilmiştir. Test numuneleri yaklaşık olarak 300 mm mesafede her açı değerinde döndürülerek yüzeylerinin çizilme, beyazlama ve bozunmaya karşı dirençleri gözlemlenmiştir ve her bir durum için ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Çizelge 7. 9 Yüzey çizilme değerlendirme skalası

Değerlendirme puanı	Çizilme derecesi
1	Herhangi bir açıda deformasyon yok
2	Bazı açılarda deformasyon var
3	Bütün açılarda deformasyon var

Çizelge 7.9, test numune yüzeylerinin çizilme durumunu belirlemek için kullanılan değerlendirme skalasını göstermektedir. Benim de içerisinde yer aldığım değerlendirme ekibi tarafından değerlendirilen çizilme deneyinde “en küçük değer en iyi” esas alınmıştır. Test numunelerinin deney kriterlerini başarı ile sağlaması için çizilme değerlendirme puanının maksimum “2” olması gerekmektedir.

Çizelge 7. 10 Yüzey beyazlama/renk değişimi değerlendirme skalası

Değerlendirme puanı	Beyazlama derecesi
1	Herhangi bir açıda beyazlama/renk değişimi yok
2	Bütün açılarda beyazlama/renk değişimi var

Çizelge 7.10, test numune yüzeylerinin yüzey beyazlama/renk değişimi durumunu belirlemek için kullanılan değerlendirme skalasını göstermektedir. Değerlendirme ekibi tarafından değerlendirilen beyazlama/renk değişimi deneyinde “en küçük değer en iyi” esas alınmıştır. Test numunelerinin deney kriterlerini başarı ile sağlaması için

beyazlama/rengi değişimi değerlendirme puanının maksimum “1” olması gerekmektedir.

Çizelge 7. 11 Yüzey bozunma değerlendirme skalası

Değerlendirme puanı	Bozunma derecesi
1	Herhangi bir açıda bozunma yok
2	Bazı açılarda bozunma var
3	Bütün açılarda bozunma var

Çizelge 7.11, test numune yüzeylerinin bozunma durumunu belirlemek için kullanılan değerlendirme skalasını göstermektedir. Değerlendirme ekibi tarafından değerlendirilen yüzey bozunma deneyinde “en küçük değer en iyi” esas alınmıştır. Test numunelerinin deney kriterlerini başarı ile sağlaması için yüzey bozunma değerlendirme puanının maksimum “2” olması gerekmektedir.

7.3.6 Yüzey Parlaklık Deneyi

Test numunelerine ait yüzey parlaklık değerlerini test etmek amacı ile yüzey parlaklık deneyi uygulanmıştır. 21°C’de ve %50 bağıl nem koşullarında uygulanan deneysel çalışmada, test numuneleri malzeme dokusunda yer alan homojen olmayan bölgelerden dolayı görsel olarak kontrol edilmiş ve test numunelerinin yüzeyinde herhangi bir toz, leke, kirlenici olmamasına dikkat edilmiştir. Test numunelerinden 1 cm yukarıda, değerlendirilecek alanın üzerinde homojen olarak dağılmış, en düzgün ve el değmemiş bölgelerden ölçümler alınmıştır. Standart ölçüm açısı olan 60° kullanılarak glossmetre test cihazı (Şekil 7.14) yardımı ile bütün test numuneleri ölçülmüştür. Geniş yüzeylerdeki parlaklık değişimini saniyeler içerisinde görüntülenerek kayıt alınmıştır. Deney sonucunda alınan ölçümler değerlendirilerek test numunelerinin yüzey parlaklık sonuçları ortaya konulmuştur.



Şekil 7. 14 Yüzey parlaklık test cihazı (Glossmetre)

FLTM BI 110-01 standardına göre gerçekleştirilen yüzey parlaklık deneyinde “Gloss N” seviyesi referans alınmıştır. Buna göre test numunelerinin deney kriterlerini başarı ile sağlaması için ölçüm sonuçlarının 1.8 ile 2.4 GU arasında olması gerekmektedir.

7.3.7 Küllenme Deneyi

Küllenme deneyi, test numunelerinin kullanım esnasında diğer yüzeyler üzerinde toplanma ve yoğunlaşma eğilimini belirlemek amacı ile uygulanmıştır. Deneysel çalışmada, fotometrik yöntem kullanılarak test numunelerinin cam yüzeyi üzerine ışık saçan film bırakma ihtimalleri değerlendirilmiştir. Deney çalışması öncesinde test numuneleri 24 saat süre ile oda sıcaklığı koşullarında bekletilmiştir. Sonrasında test numuneleri iç yüzeyi cam olan soğutmalı ve kapalı bir beherglas içerisine yerleştirilmiştir. Beherglasın taban yüzeyi 3 saat süre ile 100°C sıcaklıktaki yağ banyosu içerisine konulmuştur. Bu süre sonunda beherglas içerisindeki test numuneleri 3 saat süre ile 21°C sıcaklıkta soğumaya bırakılmıştır. Deney öncesi ve sonrasında beherglasın parlaklık değerleri okunarak değerlendirme ve karşılaştırma yapılmıştır. Deney sonucunda numunelerin yüzeyi üzerinde damlacık ve kristaller oluşmamasına dikkat edilmiştir.

SAE J1756 standardına göre gerçekleştirilen deneysel çalışmada, test numunelerinin deney öncesi ve deney sonrasındaki ağırlık değerleri ölçülmüştür. Test numunelerinin deney kriterlerini başarı ile sağlaması için, deney öncesi ortalama ağırlık değerlerinin deney sonrası ortalama ağırlık değerlerine oranının %70 değerinin altında olmaması gerekmektedir.

$$\text{Ağırlık değişimi (\%)} = \frac{\text{Deney öncesi ortalama ağırlık}}{\text{Deney sonrası ortalama ağırlık}} \times 100 \quad (7.7)$$

7.4 Termal Testler

7.4.1 Termal Yaşlandırma Deneyi

Termal yaşlandırma deneyi, test numunelerinin farklı sıcaklıklar ve koşullar altındaki termal özelliklerini belirlemek amacı ile uygulanmıştır. Test numunelerine kısa ve uzun süreli termal testler uygulanarak deney öncesi ve deney sonrası yüzey durumları değerlendirilmiştir.

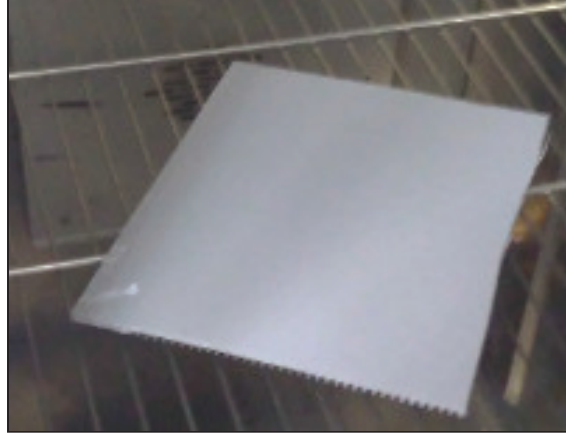
Test numuneleri ilk olarak Çizelge 7.12’de belirtilen koşullar altında kısa süreli termal yaşlandırma testine tabi tutulmuştur.

Çizelge 7. 12 Kısa süreli termal yaşlandırma deneyi koşulları

Süre (Saat)	Sıcaklık (°C)	Bağıl nem (%)
5	-30	-
0.5	25	50
5	90	-
0.5	25	50
2	50	95
0.5	25	50
5	-30	-
0.5	25	50
5	90	-

24 saat süren kısa süreli termal yaşlandırma deneyinin ardından test numuneleri incelenmiş ve yüzeylerinde herhangi bir kırılma, delaminasyon, distorsiyon veya bozunma olup olmadığı gözlemlenmiştir.

Kısa süreli termal yaşlandırma deneyinin ardından test numuneleri, uzun süreli termal yaşlandırma deneyini gerçekleştirmek üzere 7 gün süre ile 90°C’ye ısıtılmış fırın içerisine konulmuştur (Şekil 7.15). Bu süre sonunda test numunesinin yüzeylerinde herhangi bir kırılma, delaminasyon, distorsiyon veya yüzeyde bozulma olup olmadığı gözlemlenmiştir. Buna ek olarak test numunelerinde boyutsal açıdan kontrol edilmiş olup, deney öncesi ve sonrası durum arasında bir farklılık olup olmadığı kontrol edilmiştir.

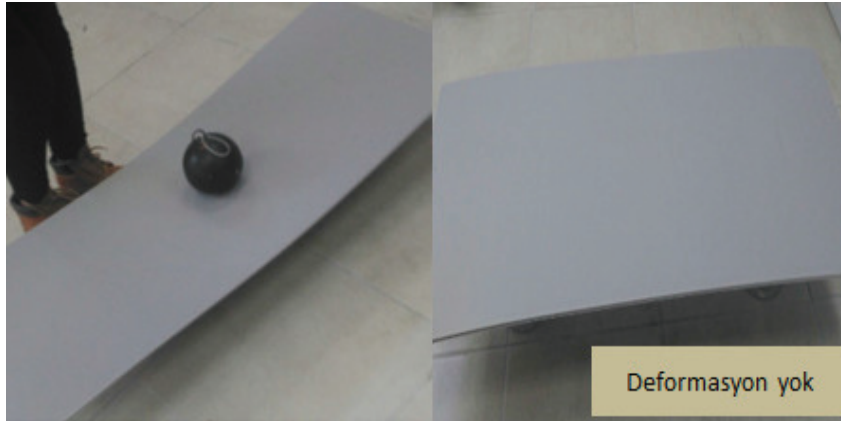


Şekil 7. 15 Uzun süreli termal yaşlandırma deneyi için fırın içerisine yerleştirilen test numunesi

DENEY SONUÇLARI

8.1 Darbe Dayanım Deneyi Sonuçları

Deneyisel çalışma sonucunda 4.5 kg ağırlığındaki kauçuk topun 460 mm yükseklikten test numunesi üzerine düşürülmesi sonucu 20.25 Joule değerinde kinetik enerji ortaya çıkmıştır. Ortaya çıkan kinetik enerjinin tamamı test numunesi tarafından sönmülmüş olup test numunesinin yüzeyi üzerinde herhangi bir deformasyon, girinti veya çıkıntı gözlemlenmemiştir. %5 MB takviyeli petek yapılı polipropilen sandviç panelde bu enerji değerinde herhangi bir düşey deplasmana rastlanmamıştır (Şekil 8.1). Ortaya çıkan enerjinin petekli hücrelerin kalınlığı doğrultusunda yayıldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 8. 1 Darbe dayanım deneyi sonrası %5 Masterbatch takviyeli petek yapılı PP sandviç panel test numunesine ait yüzey durumu

Yapılan deneysel çalışmada %5 MB takviyeli petek yapılı polipropilen sandviç panelin yanı sıra, farklı özellikte sandviç paneller de test edilerek sonuçları karşılaştırılmış ve

test numunelerinin ortaya çıkan kinetik enerji karşısında darbe sönümleme davranışları incelenmiştir.

Çizelge 8. 1 Darbe dayanım deneyinde kullanılan numune boyutları ve oluşan deformasyon miktarları

Malzeme	Çekirdek kalınlığı	Yüzey kalınlığı	İlk yükseklik (kalınlık)	Son yükseklik	Çökme miktarı
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
%5 MB / PP	4	0.5	5	5	0
%5 MB / PP	4	0.5	5	5	0
%5 MB / PP	4	0.5	5	5	0
%3 MB / PP	4	0.5	5	5	0
Alüminyum	6	0.75	7.5	7.43	0.7
Alüminyum	6	0.75	7.5	7.425	0.75
Cam elyaf/PP	6	0.75	7.5	7.5	0
Cam elyaf/PP	6	0.75	7.5	7.5	0

Çizelge 8.1, darbe dayanım deneyinde kullanılan test numunelerinin boyutlarını ve deney sonrası test numunelerinin yüzeylerinde gerçekleşen deformasyon miktarlarını göstermektedir. Deneysel çalışma sonucunda, farklı katkı maddeleri içeren %3 MB takviyeli petek yapılı PP sandviç panellerde düşey yönde herhangi bir çökme gözlemlenmemiştir. Polipropilen petek yapısına sahip cam elyaf takviyeli PP sandviç panellerde de ortaya çıkan yükün yüzey tabakası boyunca yayıldığı gözlemlenmiştir. Aynı hücre boyutuna ve polipropilen petek yapısına sahip alüminyum sandviç panellerde düşük miktarlarda düşey yönde deformasyonlar gözlemlenmiştir.

Polipropilen petek yapılı alüminyum sandviç panellerde sırası ile 0.7 ve 0.75 mm'lik düşey çökmeler elde edilmiştir.

Yapılan deneysel çalışma neticesinde, petek yapılı sandviç panellerin enerji sönümleme konusunda üstün özellikler sergilediği sonucuna varılmıştır. Ortaya çıkan darbe enerjisinin hemen hemen tamamı yüzey levhaları ve petekli yapıdaki çekirdek malzemesi tarafından absorbe edilmiştir.

8.2 Kırılma Dayanım Deneyi Sonuçları

300x30 mm boyutlarına sahip 3 adet test numunesi universal test cihazına yerleştirilmiş ve aynı oranlarda artan gerinim değerleri ile kuvvet uygulanarak kopma işleminin gerçekleşmesi beklenmiştir (Şekil 8.2).



Şekil 8. 2 %5 Masterbatch takviyeli petek yapılı PP sandviç panel test numunesinde deney sonucunda meydana gelen kırılma

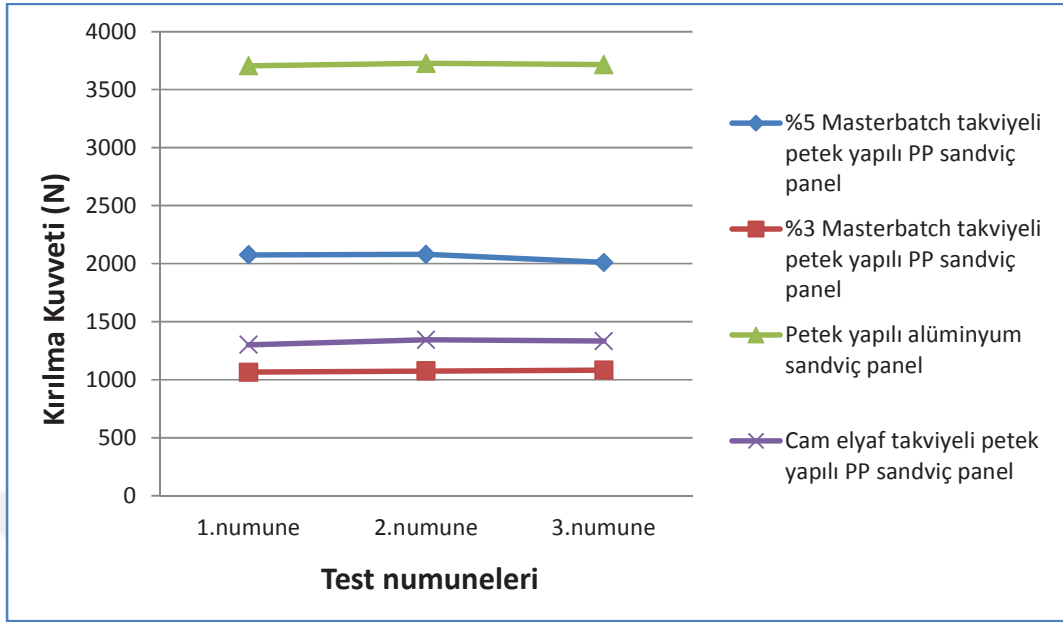
Kırılmanın gerçekleştiği anda aynı zamanda ekstansometre cihazı yardımı ile her bir test numunesinde meydana gelen uzama miktarları ölçülmüştür. %5 MB takviyeli petek yapılı sandviç panellerinde meydana gelen kırılma kuvvetleri ve test numunelerinde gerçekleşen uzama değerleri Çizelge 8.2'de verilmiştir.

Çizelge 8. 2 %5 Masterbatch takviyeli petek yapılı PP sandviç panel test numunelerinde ölçülen kırılma kuvvetleri ve meydana gelen uzama miktarları

Test numuneleri	Kırılma kuvveti (N)	Uzama miktarı (mm)
1. Test numunesi	2076	13.15
2. Test numunesi	2080	11.51
3. Test numunesi	2011	11.68

ASTM D 1000 standardına göre gerçekleştirilen kırılma dayanım deneyi çalışmasında test numunelerinin 1200 N/m değerinin altında kırılma göstermemesi beklenmektedir. Deney çalışmasında test numuneleri sırası ile 2076, 2080 ve 2011 Newton altında kırılma göstermişlerdir. Kırılmanın gerçekleştiği anda test numunelerinde gözlemlenen uzama miktarları sırası ile 13.15, 11.51 ve 11.68 mm'dir. Deney çalışması sonrasında test numunelerinin tasarım kriterlerine uygun olduğu belirlenmiştir.

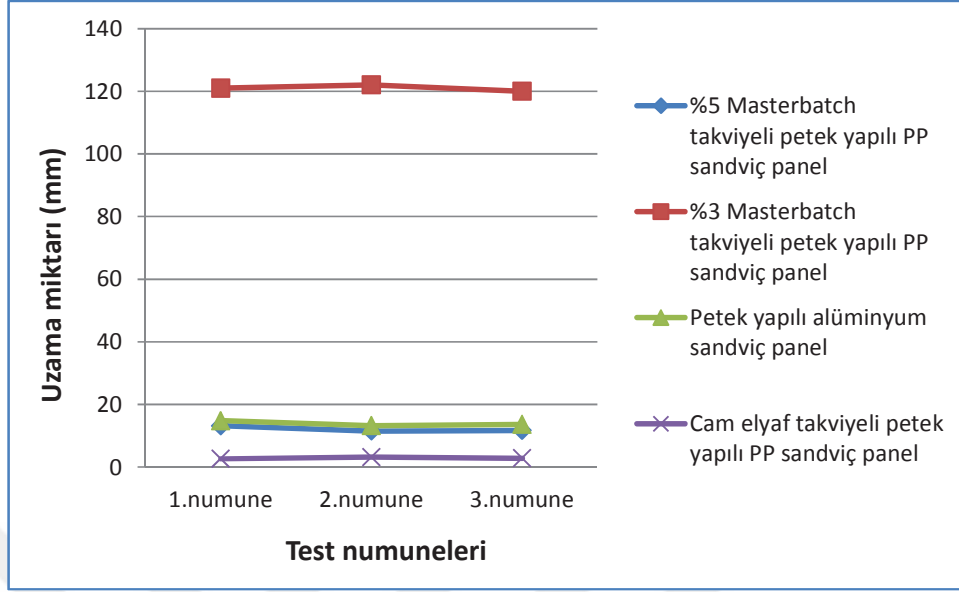
Yapılan deneysel çalışmada %5 MB takviyeli petek yapılı polipropilen sandviç panelin yanı sıra, farklı özelliklere sahip sandviç panellerin test edilmesi ve sonuçların karşılaştırılması neticesinde Şekil 8.3'de görülen grafiksel veri elde edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmada çekirdek malzemeleri aynı olan, alt-üst yüzey malzemeleri ve numuneler içerisine katılan masterbatch içerikleri farklı olan sandviç panellerin kırılma dayanım davranışları incelenmiştir.



Şekil 8. 3 Farklı petek yapılı sandviç panellerin kırılma dayanımı değerlendirme grafiği

Deneyisel çalışmalar sonucunda petek yapılı alüminyum sandviç paneller en iyi kırılma dayanımı gösteren malzeme grubu olmuştur. Petek yapılı alüminyum sandviç panel test numunelerinde sırası ile 3705, 3726 ve 3716 Newton altında kırılma meydana gelmiştir. Petek yapılı cam elyaf takviyeli PP sandviç panellerde sırası ile 1302, 1345 ve 1334 Newton altında kırılma işlemi gerçekleşmiştir. %3 MB takviyeli petek yapılı PP sandviç panellerde ise sırası ile 1064, 1076 ve 1084 Newton değerleri altında kırılma işlemi gerçekleşmiştir.

Kırılma dayanım deneyinde kırılma kuvvetlerinin yanı sıra test numunelerinde gerçekleşen uzama miktarları da ölçülmüştür. Kırılma işleminin gerçekleştiği anda test numunelerinde gerçekleşen uzama miktarları Şekil 8.4'deki grafiksel veri ile ortaya konulmuştur.



Şekil 8. 4 Kırılma anında petek yapılı sandviç panel test numunelerinde meydana gelen uzama miktarları

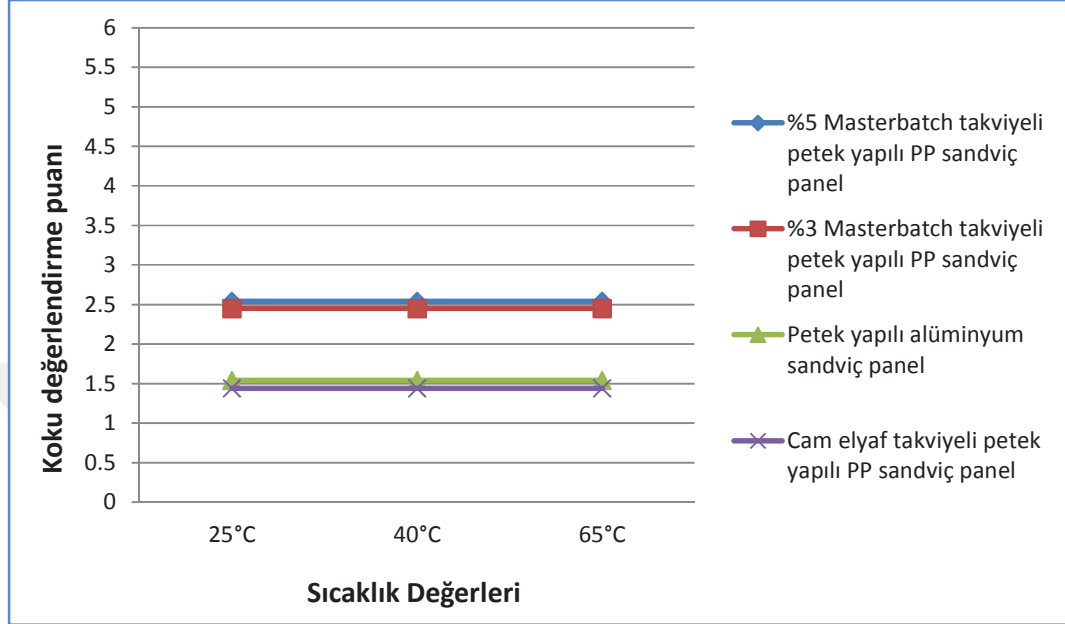
Cam elyaf takviyeli PP sandviç panel test numuneleri en az uzama gösteren malzeme grubu olmuştur. Kırılma işleminin gerçekleştiği anda test numunelerindeki uzama miktarları sırası ile 2.65, 3.2 ve 2.87 mm'dir. Petek yapılı alüminyum sandviç panellerde gözlemlenen uzama miktarları sırası ile 13.65, 13.2 ve 13.6 mm'dir. %3 MB takviyeli petek yapılı PP sandviç paneller oldukça sünek davranış sergileyip, test numunelerinde meydana gelen uzama miktarları sırası ve ile 120.2, 121.4 ve 120.1 mm olarak ölçülmüştür.

8.3 Koku Deneyi Sonuçları

Deneyisel çalışma sonucunda, %5 MB takviyeli petek yapılı polipropilen sandviç panel test numunelerinin koku derecesi, koku değerlendirme ekibi tarafından 3 farklı sıcaklık koşulu için 2.5 (açıkça algılanabilir, rahatsız edici değil) olarak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme puanı, test numunesinin deney kriterlerini başarı ile yerine getirmesi için gerekli maksimum "3" değerlendirme puanından düşük olduğu için test numuneleri koku deneyi kriterlerini başarı ile sağlamıştır.

%5 MB takviyeli petek yapılı polipropilen sandviç panelin yanı sıra, farklı özelliklere sahip sandviç panellerin test edilmesi ve sonuçların karşılaştırılması neticesinde Şekil 8.5'de görülen grafiksel veri elde edilmiştir. Yapılan deneyisel çalışmada çekirdek

malzemeleri aynı olan, alt-üst yüzey malzemeleri ve numuneler içerisine katılan masterbatch içerikleri farklı olan sandviç panellerin koku davranışları incelenmiştir.



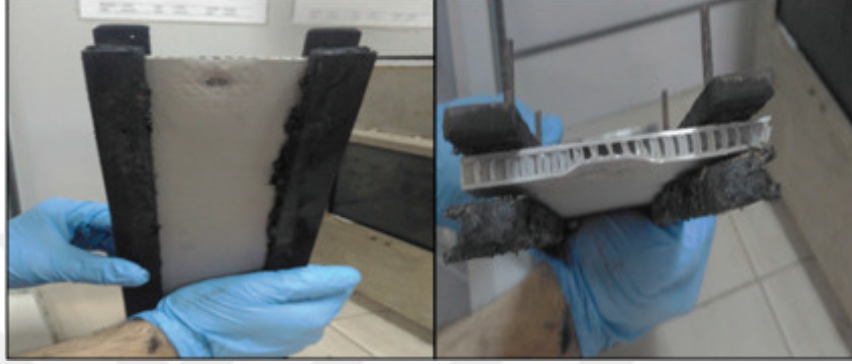
Şekil 8. 5 Farklı petek yapılarındaki sandviç panellerin koku davranışları değerlendirme grafiği

Şekil 8.5’deki grafikte 4 farklı sandviç panelin 3 farklı sıcaklık değeri altındaki koku deneyi değerlendirme sonuçları karşılaştırılmıştır. FLTM BO 131-03 koku deneyi test standartlarına uygun olarak gerçekleştirilen koku değerlendirme analizinde “en küçük değer en iyi” esas alınmıştır. Deneysel çalışma sonucunda, petek yapı alüminyum sandviç paneller ve cam elyaf takviyeli sandviç panellerin koku derecesi, koku değerlendirme ekibi tarafından her bir sıcaklık koşulu için 1.5 (hafif algılanabilir) olarak değerlendirilmiştir.

%5 MB takviyeli (bağlayıcı, ultraviyole, renk pigmentleri ve kaymayı kolaylaştırıcı ilave pigmentler içeren) ve %3 MB takviyeli petek yapı polipropilen sandviç panellerin koku değerlendirme analizi sonucundaki koku derecesi, her bir sıcaklık koşulu için 2.5 (açıkça algılanabilir, rahatsız edici değil) olarak değerlendirilmiştir. Burada test numuneleri içerisine ilave edilen düşük miktarlardaki farklı katkı maddelerinin koku derecesi üzerinde herhangi bir etkilerinin olmadığı gözlemlenmiştir.

8.4 Yanmazlık Deneyi Sonuçları

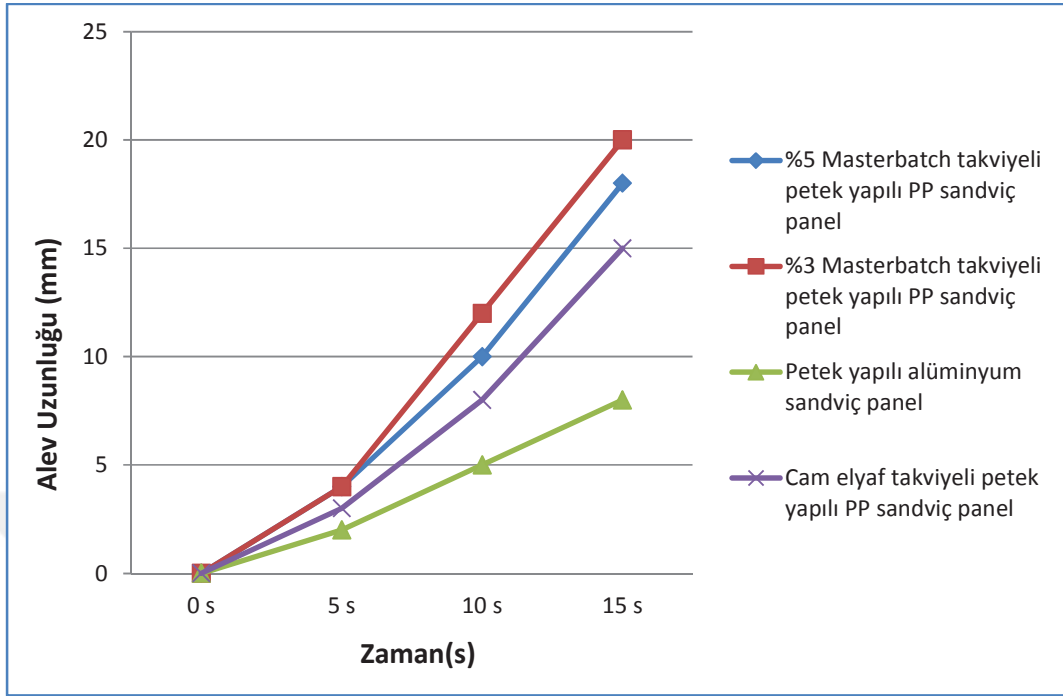
%5 MB takviyeli petek yapılı PP sandviç panel test numuneleri 15 s süre ile alev maruz bırakılmış olup bu süre sonunda test numuneleri yüzeyinde ilerleyen alev uzunluğu gözlemlenmemiştir (Şekil 8.6).



Şekil 8. 6 %5 Masterbatch takviyeli petek yapılı PP sandviç panel test numunelerinin yanmazlık deneyi sonrası yüzey durumu

ISO 3795 test standardına göre gerçekleştirilen yanmazlık deneyinde yanma oranı kriter olarak alınmış olup test numuneleri yüzeyinde ilerleyen herhangi bir alev uzunluğu gözlemlenemediğinden numunelerin yanma oranı 0 mm/dakika olarak ölçülmüştür.

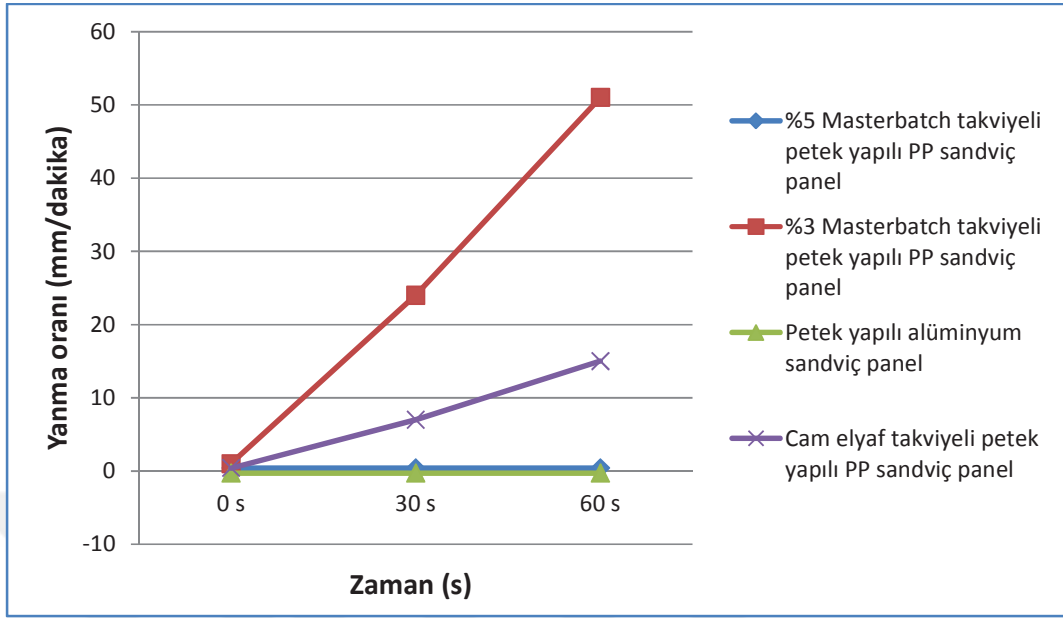
Deneyisel çalışmada, %5 MB takviyeli PP sandviç panellere ek olarak, petek yapılı alüminyum sandviç paneller, petek yapılı cam elyaf takviyeli PP sandviç paneller ve %3 MB takviyeli petek yapılı PP sandviç paneller de yanmazlık deneyine tabi tutulmuş ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu sonuçların karşılaştırılması neticesinde Şekil 8.7’de görülen grafiksel veri elde edilmiştir.



Şekil 8. 7 Farklı petek yapılı sandviç panellerde gerçekleşen alev uzunluğu ilerlemesi

Şekil 8.7'deki grafikte görüldüğü üzere test numunelerine 15 s süre ile alev tutulması sonucunda en az alev uzunluğu ilerlemesi petek yapılı alüminyum sandviç panellerde gözlemlenmiştir. 15 s süre sonunda petek yapılı alüminyum sandviç panellerde gözlemlenen alev uzunluğu ilerlemesi 8 mm olarak ölçülmüştür. Cam elyaf takviyeli PP sandviç panellerde bu süre sonunda alev uzunluğu ilerlemesi 15 mm ölçülürken, %5 MB oranına sahip petek yapılı PP sandviç panellerde 18 mm, %3 MB takviyeli petek yapılı PP sandviç panellerde 20 mm alev uzunluğu ilerlemesi ölçülmüştür.

15 s alev süresinin sonunda test numunelerinin yüzeyinde alevin devam edip etmediği gözlemlenmiş olup, her bir test numunesi için yanma oranı Şekil 8.8'de görüldüğü gibi grafiksel veri ile elde edilmiştir.



Şekil 8. 8 Farklı petek yapılı sandviç panellerde gözlemlenen yanma oranı

Şekil 8.8'deki grafikte görüldüğü üzere %5 MB takviyeli petek yapılı polipropilen sandviç paneller ile petek yapılı alüminyum sandviç panellerde yanma oranı 0 mm/dakika olarak ölçülmüştür. Masterbatch içerisine ilave edilen yanmayı geciktirici katkı maddeleri test numunelerinin yüzeyinde yanma gerçekleşmemesinde önemli rol oynamıştır. Cam elyaf takviyeli PP sandviç panellerde yanma oranı 15 mm/dakika, %3 MB takviyeli petek yapılı PP sandviç panellerde yanma oranı 51 mm/dakika olarak ölçülmüştür.

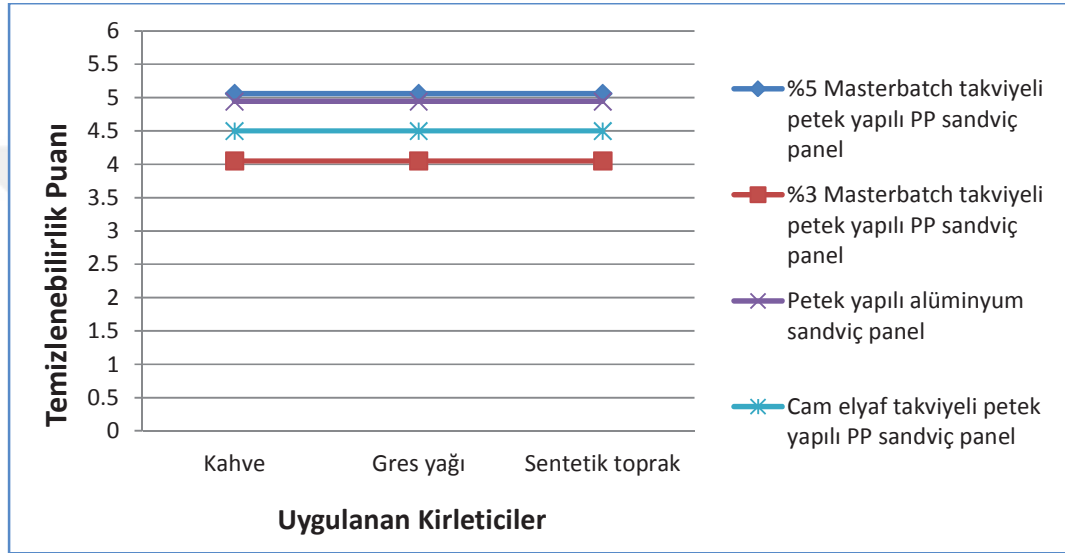
ISO 3795 test standartlarına göre gerçekleştirilen yanmazlık deneyi sonucunda bütün test numuneleri için yanma oranı, spek değeri olan 100 mm/dakika değerinin altında ölçüldüğü için her bir test numunesi yanmazlık deneyi kriterlerini başarı ile sağlamıştır.

8.5 Temizlenebilirlik Deneyi Sonuçları

Deneyisel çalışma sonucunda, %5 MB takviyeli petek yapılı polipropilen sandviç panellerin yüzeylerine tatbik edilen kahve, sentetik toprak ve gres yağı gibi kirleticiler karşısında yüzeylerinin temizlenebilirlik durumu değerlendiriciler tarafından "5" olarak değerlendirilmiştir.

Deneyisel çalışmada, %5 MB takviyeli petek yapılı PP sandviç panelin yanı sıra, farklı yüzey malzemelerine ve içeriklere sahip petek yapılı sandviç panellerin yüzeylerine

tatbik edilen kahve, sentetik toprak ve gres yağı gibi farklı kirleticiler sonrasında temizlenebilme durumları test edilmiştir. Bu sandviç panellerin test edilmesi ve sonuçların karşılaştırılması neticesinde Şekil 8.9’da görülen grafiksel veri elde edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmada, çekirdek malzemeleri aynı olan, alt-üst yüzey malzemeleri ve numuneler içerisine katılan masterbatch içerikleri farklı olan sandviç panellerin yüzeylerinin kirlenme karşısında temizlenebilirlik davranışları incelenmiştir.



Şekil 8. 9 Farklı petek yapılı sandviç panellerin temizlenebilirlik deneyi değerlendirme grafiği

Şekil 8.9’daki grafikte 4 farklı petek yapılı sandviç panelin, 3 farklı kirleticiye maruz bırakıldıktan sonra temizlenebilirlik sonuçları karşılaştırılmıştır. “En büyük değer en iyi” esas alınarak gerçekleştirilen deneysel çalışma sonucunda, petek yapılı alüminyum sandviç paneller ve %5 MB (bağlayıcı, renk pigmentleri ve kaymayı kolaylaştırıcı pigmentler içeren) takviyeli petek yapılı PP sandviç paneller en iyi temizlenebilirlik davranışı sergileyen malzeme grubu olmuştur. Cam elyaf takviyeli PP sandviç panellerin yüzeylerinin temizlenebilirlik durumu değerlendirme ekibi tarafından “4.5” olarak değerlendirilirken, %3 MB takviyeli petek yapılı PP sandviç panellerin yüzeylerinin temizlenebilirlik durumu “4” olarak değerlendirilmiştir. Bütün test numunelerinin değerlendirme puanı minimum değerlendirme puanı olan “3” ün üzerinde olduğu için numuneler temizlenebilirlik deneyi kriterlerini başarı ile sağlamıştır.

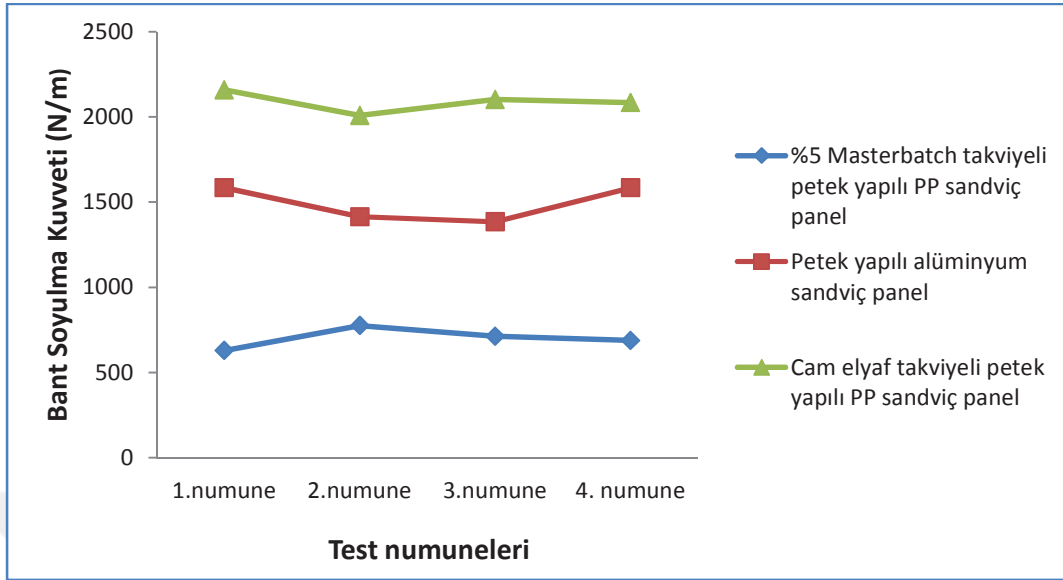
8.6 Yapışma Mukavemeti Deneyi Sonuçları

Deneyisel çalışmada, petek yapılı sandviç panel test numuneleri test cihazına bağlanarak anodize edilmiş alüminyum bandın test numunelerinin yüzeyinden soyulma kuvveti değerleri ölçülmüştür. Soyulmanın gerçekleştiği ilk ve son 25 mm'lik kısım göz ardı edilerek ortalama soyulma kuvvetleri hesaplanmıştır.

Çizelge 8. 3 %5 Masterbatch takviyeli petek yapılı PP sandviç panel test numunelerinde gözlemlenen bant soyulma kuvveti değerleri

%5 MB takviyeli PP sandviç panel	Soyulma Kuvveti Değeri (N/m)
1. Test numunesi	629.37 N/m
2. Test numunesi	775.89 N/m
3. Test numunesi	713.92 N/m
4. Test numunesi	688 N/m
Ortalama Değer	701.96 N/m

Deneyisel çalışmada, %5 MB takviyeli PP sandviç panellere ek olarak, petek yapılı alüminyum sandviç paneller ve petek yapılı cam elyaf takviyeli pp sandviç paneller de yapışma deneyine tabi tutulmuş ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu sonuçların karşılaştırılması neticesinde Şekil 8.10'de görülen grafiksel veri elde edilmiştir.



Şekil 8. 10 Farklı petek yapılı sandviç panellerde gözlemlenen bant soyulma kuvveti değerleri

FLTM BU 112-02 standardına göre oda koşullarında gerçekleştirilen yapışma mukavemeti deneyi sonucunda cam elyaf takviyeli PP sandviç panellerin yüzeyinde bandın ortalama soyulma kuvveti 2087 N/m olarak ölçülmüştür. Alüminyum sandviç panellerin yüzeyinde gözlemlenen ortalama soyulma kuvveti değeri ise 1491 N/m olarak ölçülmüştür. Petek yapılı alüminyum sandviç panellerde daha düşük kuvvetler altında soyulma işlemi gözlemlenmesine karşın cam elyaf takviyeli PP sandviç panellerle kıyaslandıklarında daha düzgün soyulma işlemi gerçekleşmiştir.

8.7 Çizilme Deneyi Sonuçları

Deneyisel çalışmada, %5 MB takviyeli petek yapılı PP sandviç paneller çizilme test cihazına yerleştirilmiş ve boyanmış haldeki test numunelerinin farklı yükler altında yüzeylerinde meydana gelen çizilme, beyazlama ve bozunma durumları gözlemlenmiştir (Şekil 8.11).



Şekil 8. 11 %5 Masterbatch takviyeli petek yapı PP sandviç panel test numunesinin çizilme deneyi sonrası yüzey durumu

FLTM BO 162-01 test standartlarına göre gerçekleştirilen deney çalışmasında, 2 Newton altında test numunelerinin yüzeylerinde gerçekleşen çizilme ve bozunma davranışları incelenirken, 7 ve 10 Newton altında test numunelerinin yüzeylerinde gerçekleşen beyazlama/rengi değişimi incelenmiştir.

Çizelge 8. 4 %5 Masterbatch takviyeli petek yapı PP sandviç panel test numunelerinin çizilme, beyazlama ve bozunma deneyi sonuçları

%5 MB takviyeli PP sandviç panel	Değerlendirme puanı
Çizilme (2 Newton)	1.0
Bozunma (2 Newton)	1.5
Beyazlama (7 Newton)	1.0
Beyazlama (10 Newton)	1.0

Çizelge 8.4’de görüldüğü gibi yüzey çizilme ve bozunma deneyi test cihazı ucuna yerleştirilen 2N’luk yük altında değerlendirilmiş olup test numunelerinin yüzeyinde herhangi bir deformasyon gözlemlenmemiştir. 2N altında test numune yüzeylerinin çizilme durumu değerlendiriciler tarafından “1” olarak değerlendirilirken, aynı kuvvet değeri altındaki yüzey bozunma değeri değerlendiriciler tarafından “1.5” olarak

değerlendirilmiştir. Her iki durum için de değerlendirme puanı “2”nin altında olduğu için test numuneleri deney kriterlerini başarı ile sağlamıştır.

Yüzey beyazlama/rengi değişikliği deneyi test cihazının ucuna yerleştirilen 7N ve 10N’luk yükler altında gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışma sonucunda test numunelerinin yüzeyinde herhangi bir beyazlama veya renk değişimi gözlemlenmemiştir. Her iki yük altında da değerlendiriciler tarafından değerlendirme puanı “1” olarak verilmiş olup test numuneleri deney kriterlerini başarı ile sağlamıştır.

%5 MB takviyeli petek yapılı PP sandviç panel test numunesinin yanı sıra, %3 MB takviyeli petek yapılı PP sandviç panelde aynı yük koşulları altında çizilme, bozunma ve beyazlama testine tabi tutulmuştur. Deney çalışması sonrası bu test numunesine ait sonuçlar Çizelge 8.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 8. 5 %3 Masterbatch takviyeli petek yapılı PP sandviç panel test numunelerinin çizilme, beyazlama ve bozunma deneyi sonuçları

%3 MB takviyeli PP sandviç panel	Değerlendirme puanı
Çizilme (2 Newton)	3.0
Bozunma (2 Newton)	1.0
Beyazlama (7 Newton)	2.0
Beyazlama (10 Newton)	2.0

2 Newton’luk yük altında test numunelerinin yüzeyinde çizilme gözlemlenmiş olup değerlendiriciler tarafından değerlendirme puanı “3” olarak raporlanmıştır. 7N ve 10N yükleri altında test numunelerinin yüzeylerinde gerçekleşen beyazlama/rengi değişimi durumu için değerlendirme puanı “2” olarak raporlanmıştır. Test numuneleri beyazlama ve çizilme deneyi kriterlerini yerine getirememiş olup, test numunelerinin tasarım kriterlerine uygun olmadıkları gözlemlenmiştir.

%3 MB takviyeli PP sandviç panel test numunelerinde gözlemlenen çizilme ve beyazlama problemleri; masterbatch oranının arttırılması ve içerisine ultraviyole ve renk pigmentlerinin katılması sonucu iyileştirilmiştir. Bununla birlikte %5 MB takviyeli

petek yapılı PP sandviç panel test numunelerinin yüzey renginde de değişim gözlemlenmiştir.

8.8 Yüzey Parlaklık Deneyi Sonuçları

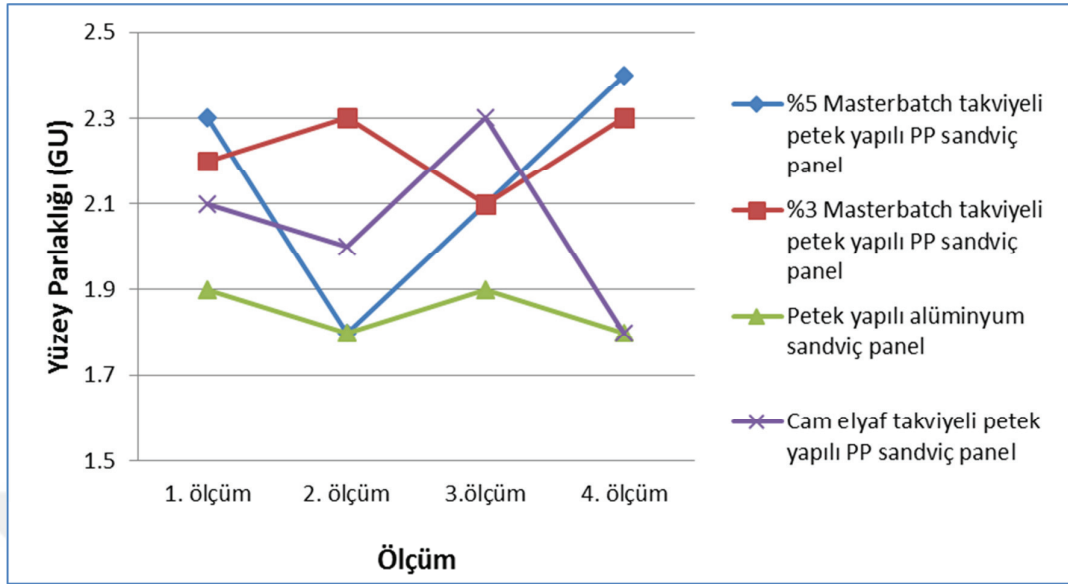
Deneyisel çalışmada glossmetre cihazı ile standart ölçüm açısı olan 60° kullanılarak 4 test numunesi üzerinde yüzey parlaklık ölçümleri alınmış ve sonuçlar Çizelge 8.6'da verilmiştir.

Çizelge 8. 6 %5 Masterbatch takviyeli petek yapılı PP sandviç panel test numunelerinin yüzey parlaklık ölçüm sonuçları

%5 MB takviyeli PP sandviç panel	Yüzey parlaklık değeri (GU)
1. Test numunesi	2.4
2. Test numunesi	1.8
3. Test numunesi	2.3
4. Test numunesi	2.1

Çizelge 8.6, FLTM BI 110-01 test standartlarına göre gerçekleştirilen deneyisel çalışmada %5 MB takviyeli petek yapılı polipropilen sandviç panellere ait yüzey parlaklık ölçüm sonuçlarını göstermektedir. Test standartlarına göre numunelerinin deney kriterlerini başarı ile sağlayabilmesi için ölçüm sonuçlarının 1.8 ile 2.4 GU değerleri arasında olması gerekmektedir. Ölçümü gerçekleştirilen 4 test numunesinde de ölçüm sonuçları spek değerleri içerisinde olduğundan test numuneleri yüzey parlaklık deneyi kriterlerini başarı ile sağlamıştır.

Deneyisel çalışmada, %5 MB takviyeli petek yapılı PP sandviç panelin yanı sıra, farklı yüzey malzemelerine ve içeriklere sahip petek yapılı sandviç panellerin yüzey parlaklıklarının test edilmesi ve sonuçların karşılaştırılması neticesinde Şekil 8.12'de görülen grafiksel veri elde edilmiştir.



Şekil 8. 12 Farklı petek yapılı sandviç panellerin yüzey parlaklık ölçüm sonuçları

Yapılan deneysel çalışmada, petek yapılı alüminyum sandviç panel, cam elyaf takviyeli PP sandviç panel ve %3 MB takviyeli petek yapılı PP sandviç panel test numunelerinin her birinden 4 adet test numunesi yüzey parlaklık ölçüm testine tabi tutulmuştur. Yüzey parlaklık ölçümleri sonucunda bütün test numunelerinin ölçüm sonuçları 1.8 ile 2.4 GU arasında çıkmıştır. Ölçüm sonuçları spek değerleri içerisinde olduğu için bütün test numunelerinin tasarım kriterlerine uygun olduğu gözlemlenmiştir.

8.9 Küllenme Deneyi Sonuçları

%5 MB takviyeli petek yapılı PP sandviç panellerin diğer yüzeyler üzerinde toplanma ve yoğunlaşma eğilimini ölçmek için gerçekleştirilen deneysel çalışmada, 4 adet test numunesinin deney öncesi ve deney sonrası ağırlıkları ölçülmüş ve Çizelge 8.7’de yer alan sonuçlar elde edilmiştir.

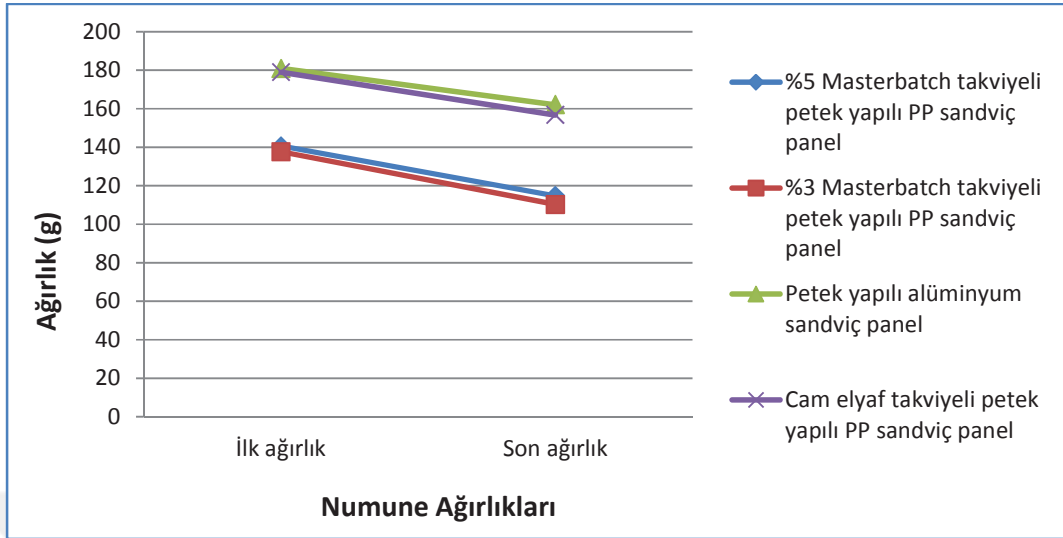
Çizelge 8. 7 Küllenme deneyi öncesi ve sonrasında %5 Masterbatch takviyeli petek yapılı PP sandviç panel test numunelerinin ağırlık ölçüm sonuçları

%5 MB takviyeli PP sandviç panel	İlk ağırlık (g)	Son ağırlık (g)
1. Test numunesi	140.8	113.6
2. Test numunesi	140.5	115.7
3. Test numunesi	140.3	116
4. Test numunesi	140.5	113.4
Ortalama Değer	140.5	114.7

Çizelge 8.7’de, 4 adet test numunesinin deney öncesi ve deney sonrası ağırlık ölçüm sonuçları yer almaktadır. Deney esnasında, test numuneleri kapalı bir beherglas içerisine konularak 3 saat süre ile 100°C sıcaklıktaki yağ banyosu içerisine daldırılmıştır. Bu süre sonunda test numuneleri 3 saat süre ile 21°C sıcaklıkta soğumaya bırakılmıştır. Soğuma işleminin sonucunda test numunelerinin ağırlıkları tekrar ölçülmüş ve ağırlık sonuçları karşılaştırılmıştır.

SAE J 1756 test standartlarına göre gerçekleştirilen küllenme deneyi sonucunda, test numunelerinin deney öncesi ortalama ağırlıklarının deney sonrası ortalama ağırlıklarına oranı %81 olarak saptanmıştır. Ortaya çıkan bu değer kritik değer olan %70’in üzerinde olduğu için test numuneleri küllenme deneyi kriterlerini başarı ile sağlamıştır.

Deneyisel çalışmada, %5 MB takviyeli petek yapılı PP sandviç panelin yanı sıra, farklı yüzey malzemelerine ve içeriklere sahip petek yapılı sandviç panellerin küllenme davranışlarının test edilmesi ve sonuçların karşılaştırılması neticesinde Şekil 8.13’de görülen grafiksel veri elde edilmiştir. Yapılan deneyisel çalışmada çekirdek malzemeleri aynı olan, alt-üst yüzey malzemeleri ve numuneler içerisine katılan masterbatch içerikleri farklı olan sandviç panellerin farklı yüzeyler üzerinde toplanma ve yoğunlaşma davranışları incelenmiştir.



Şekil 8. 13 Farklı petek yapılı sandviç panellerin küllenme deneyi öncesi ve sonrası ağırlık ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması

Şekil 8.13’de, küllenme deneyi öncesi ve sonrası test numunelerinin ağırlık oranlarındaki değişim yer almaktadır. Deney çalışması sonucunda, petek yapılı alüminyum sandviç paneller diğer yüzeyler üzerinde en az yoğunlaşma ve toplanma eğilimi gösteren malzeme grubu olurken, %3 MB takviyeli petek yapılı PP sandviç paneller diğer yüzeyler üzerinde en çok toplanma eğilimi gösteren malzeme grubu olmuştur.

Çizelge 8. 8 Farklı petek yapılı sandviç panellerin küllenme deneyi öncesi ve sonrası yüzde (%) ağırlık değişimleri

Malzeme	İlk ağırlık (g)	Son ağırlık (g)	Ağırlık değişimi (%)
%5 MB / PP sandviç panel	140.5	114.7	%19
%3 MB / PP sandviç panel	137.6	110.2	%20
Alüminyum sandviç panel	180.8	162	%11
Cam elyaf/PP sandviç panel	178.9	156.7	%13

Her bir sandviç panele ait 4 adet test numunesi küllenme deneyine tabi tutulmuştur. Çizelge 8.8’de, farklı sandviç panellerin deney öncesi ve deney sonrası ortalama ağırlık ölçüm sonuçları ile toplam ağırlıklarındaki yüzde değişim oranları yer almaktadır.

8.10 Termal Yaşlandırma Deneyi Sonuçları

Kısa süreli termal yaşlandırma deneyi sonucunda %5 MB oranına sahip petek yapılı PP sandviç panellerin yüzeyinde herhangi bir renk değişimi, delaminasyon, distorsiyon, dalgalanma veya başka bir görsel problem saptanmamıştır. Test numuneleri boyutsal açıdan da kontrol edilmiş olup, numunelerin yüzeylerinde aşırı genişleme veya daralma gözlemlenmemiştir.

Kısa süreli termal yaşlandırma deneyinin ardından 7 gün süre ile uzun süreli termal yaşlandırma deneyine tabi tutulan test numunelerinin yüzeyinde de bozunma, renk değişikliği, delaminasyon, distorsiyon, dalgalanma gibi görsel problemlere saptanmamıştır. Test çalışmasının gerçekleştirildiği otomotiv şirketinin laboratuvar test metodlarına uygun olarak gerçekleştirilen termal yaşlandırma deneyi sonrası test numuneleri fonksiyonel ve boyutsal açıdan da olumlu bulunmuş olup, mühendislik test kriterlerini karşılayamayan herhangi bir olumsuzluğa rastlanmamıştır.

Deneyisel çalışmada %5 MB takviyeli petek yapılı polipropilen sandviç panelin yanı sıra, petek yapılı alüminyum sandviç paneller, cam elyaf takviyeli PP sandviç paneller ve %3 MB takviyeli petek yapılı PP sandviç panellerin kısa ve uzun süreli termal yaşlandırma deneyi karşısındaki davranışları test edilmiştir. Deney sonrasında her bir test numunesi kontrol edilerek yüzeylerinde delaminasyon, distorsiyon, dalgalanma veya görsel bir problem olup olmadığı incelenmiştir. Her bir test numunesi görsel, fonksiyonel ve boyutsal açıdan olumlu bulunmuş olup, mühendislik kriterini başarı ile sağlamıştır.

Gerçekleştirilen mühendislik ve malzeme testlerinin yanı sıra maliyet ve hafiflik gibi özellikler ön planda tutularak hafif ticari araçlarda arka iç gövde yan panel malzemesi olarak kullanılan kontrplak panellerin yerine, %5 MB takviyeli petek yapılı polipropilen sandviç paneller tercih edilmiştir (Şekil 8.14).



Şekil 8. 14 Kontrplak panele sahip hafif ticari araç gövde yan paneli

Petek yapılı polipropilen sandviç panellerin hafif ticari araçlarda kullanımı ile kontrplak panellerde karşılaşılan dezavantajların birçoğu ortadan kaldırılmıştır (Şekil 8.15).



Şekil 8. 15 Petek yapılı polipropilen sandviç panele sahip hafif ticari araç gövde yan paneli

SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmada, hafif ticari araçların arka iç gövde yan panel malzemesi olarak kullanılan kontrplak panellerin nem ve korozyon dayanımı, ses, darbe ve titreşim sönümleme gibi konularda bazı problemlerinin olmasından dolayı onların yerine kullanılabilecek optimum panel malzemesinin seçilmesi amaçlanmıştır. Bu bağlamda, petek yapılı sandviç paneller düşük ağırlıkları, yüksek ses, darbe ve titreşim sönümleme özellikleri nedeni ile tercih edilmiştir. Farklı yüzey malzemelerine sahip petek yapılı sandviç panellere mekanik, termal ve fiziksel testler uygulanarak optimum panel malzemesinin seçimi sağlanmıştır.

- Test numunelerine ait darbe dayanım davranışları incelendiğinde, petek yapılı PP sandviç paneller ve cam elyaf takviyeli PP sandviç paneller en iyi davranışı gösteren malzeme grubu olmuştur. Petek yapılı PP sandviç panellerde ve cam elyaf takviyeli PP sandviç panellerde kauçuk topun test numune yüzeylerine çarptığı anda meydana gelen kinetik enerjinin, yüzey tabakaları boyunca yayıldığı gözlemlenmiştir. Darbe dayanım deneyi sonucunda petek yapılı alüminyum sandviç panel test numunelerinin yüzeyinde deformasyonlar gözlemlenmiştir. Buna karşın bu numuneler en iyi kırılma dayanımı gösteren malzeme grubu olmuştur. Test numunelerine uygulanan kırılma kuvvetleri altında petek yapılı alüminyum sandviç panellerde en yüksek kuvvet değerleri altında kırılma işlemi gerçekleşmiştir. Petek yapılı PP sandviç panellerin yüzey malzemeleri ve çekirdek malzemeleri içerisinde yer alan masterbatch ve talk gibi katkı maddelerinin bu panellerin mekanik dayanımını arttırdığı gözlemlenmiştir. Böylece %5 MB

takviyeli petek yapılı PP sandviç paneller, %3 MB takviyeli petek yapılı PP sandviç panellere oranla daha iyi kırılma dayanımı özellikleri sergilemiştir.

- Yanmazlık deneyi sonucunda petek yapılı alüminyum sandviç paneller ve %5 MB takviyeli petek yapılı PP sandviç paneller en iyi sonucu veren malzeme grubu olmuştur. Deney sonucunda bu test numunelerinin yüzeyinde yanma oranı 0 mm/dakika olarak ölçülmüştür. Temizlenebilirlik deneyi sonucunda da petek yapılı alüminyum sandviç paneller ve %5 MB takviyeli petek yapılı PP sandviç paneller en iyi sonucu veren malzeme grubu olmuştur. Gerçekleştirilen koku deneyi ve yapışma mukavemeti deneyinde, petek yapılı alüminyum sandviç paneller ve cam elyaf takviyeli PP sandviç paneller en iyi sonucu veren malzeme grubu olmuştur. Cam elyaf takviyeli PP sandviç panellerde daha yüksek soyulma kuvvetleri ölçülmesine karşın, en düzgün bant soyulma işlemi petek yapılı alüminyum sandviç panellerde gözlemlenmiştir. Küllenme deneyi sonuçları incelendiğinde, petek yapılı alüminyum sandviç paneller deney öncesi ve deney sonrası durum karşılaştırıldığında en az ağırlık değişimi gözlemlenen malzeme grubu olmuştur. Petek yapılı PP sandviç panellerde en fazla ağırlık değişiminin olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum petek yapılı PP sandviç panellerin diğer yüzeyler üzerinde daha çok toplanma eğilimi sergilediğini göstermektedir. Çizilme deneyinde, %3 MB takviyeli PP sandviç panel test numunelerinin yüzeyinde gözlemlenen çizilme, beyazlama ve bozunma problemleri; masterbatch oranının arttırılarak, yüzey malzemelerinin içerisine ultraviyole ve renk pigmentlerinin katılması sonucu iyileştirilmiştir. Bununla birlikte %5 MB takviyeli petek yapılı PP sandviç panellerin yüzeylerinin renginde de değişim gözlemlenmiş olup çizilme, bozunma ve beyazlama problemlerine çözüm bulunmuştur.
- Kısa ve uzun süreli olarak farklı sıcaklık ve bağıl nem koşulları altında gerçekleştirilen termal yaşlandırma deneyi sonrası test numunelerinin yüzeylerinde herhangi bir renk değişimi, delaminasyon ve distorsiyon gözlemlenmemiştir. Test numuneleri boyutsal açıdan da kontrol edildiğinde numune yüzeylerinde herhangi bir daralma veya genişlemeye rastlanılmamıştır.

Petek yapılı polipropilen sandviç panellerin hafif ticari araçlarda kullanılması ile sağladığı avantajlar şunlardır;

- Petek yapılı polipropilen sandviç panellerin kullanılması ile birlikte hafif ticari araçlarda yaklaşık 20 kg ağırlık kazancı meydana gelmiştir. Bu ağırlık kazancı aynı zamanda yakıt tasarrufunu arttırarak emisyon salınımını azaltmıştır. Petek yapılı PP sandviç panellerin kullanımı ile birlikte yakıt tüketiminde 0.2 litrelik iyileşme gözlemlenmiştir.
- Kontrplak paneller petek yapılı PP sandviç panellere oranla daha pahalıdır. Petek yapılı PP sandviç panellerin kullanılmaya başlanması ile birlikte parça maliyetlerinde azalma meydana gelmiş ve araç başı ortalama maliyet kazancı 11\$ olmuştur.
- Kontrplak paneller ses, titreşim ve darbe sönümleme konusunda oldukça yetersizdir. Petek yapılı PP sandviç panellerin sahip oldukları üstün ses, darbe ve titreşim sönümleme özellikleri ile birlikte hafif ticari araçların hem gelişmiş nem karakteristiklerinde iyileşme gözlemlenmiş hem de müşteri memnuniyetinde artış sağlanmıştır.
- Kontrplak paneller nem ve su gibi korozyon etkilere karşı yeterli dayanıma sahip değildirler. Bu durum aynı zamanda kontrplak panellerin su ile temas etmesi durumunda aracın arka iç kabininde koku ve küf problemine neden olmaktadır. Petek yapılı PP sandviç panellerin mükemmel derecede su ve korozyon sıvı dayanımlarına sahip olması hem panel malzemelerinin uzun ömürlü olmasını sağlamış hem de meydana gelebilecek koku ve küf problemlerinin önüne geçmiştir.
- Petek hücreleri içerisindeki sıkışmış hava nedeni ile petek yapılı PP sandviç panellerin termal izolasyon performansı kontrplak panellere nazaran çok yüksektir. Termal izolasyon performanslarının yanı sıra yüksek sıcaklık direncine sahip olmaları panel malzemelerinin daha uzun ömürlü olmasını sağlamıştır.
- Petek yapılı PP sandviç paneller yüksek basma ve kayma mukavemetine sahip olmalarından dolayı darbe karşısında yüksek performans sergilemektedir. Bu

durum petek yapılı PP sandviç panellerin hafif ticari araçların başka bölgelerinde de kullanılmasını sağlamıştır.

Gelecek çalışmalara öneri olarak, farklı yüzey malzemelerine sahip petek yapılı sandviç paneller istenen ve talep edilen özelliklere bağlı olarak hafif ticari araçlarda zemin döşemeleri gibi farklı uygulamalarda kullanılabilir. Bu deneysel çalışmanın aksine literatürdeki deneysel çalışmalarda çekirdek malzemesi olarak polipropilen yerine kevların daha çok kullanıldığı gözlemlenmiştir. Ancak, uçak ve benzeri hava araçlarında sıkça kullanılan kevların oldukça pahalı olması kullanım alanını daraltmaktadır. Polipropilen petek yapıları ise daha düşük yük taşıma kapasitelerine karşın daha hafif ve daha düşük maliyetli olmalarından dolayı tercih edilirler. Tez çalışmasında olduğu gibi petek yapılı sandviç paneller içerisine katılan farklı miktar ve içerikteki katkı maddeleri ile sandviç panellerin mekanik, termal ve fiziksel özellikleri arttırılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Li, Y., Abbes, F., Hoang, F.B., Abbes, B. ve Guo, Y., (2016). "Analytical Homogeneization for in-plane Shear, Torsion and Transverse Shear of Honeycomb Core with Skin and Thickness Effects", *Composite Structures*, 140:453-462.
- [2] Yang, Y., Li, B., Chen, Z., Sui, N., Chen, Z., Saeed, M.U., Li, Y., Fu, R., Wu, C. ve Jing, Y., (2016). "Acoustic Properties of Glass Fiber Assembly-Filled Honeycomb Sandwich Panels", *Composites Part (B)*, 96:281-286.
- [3] Ning, H., Janowski, G.M., Vaidya, U.K. ve Husman, G., (2007). "Thermoplastic Sandwich Structure Design and Manufacturing for The Body Panel of Mass Transit Vehicle", *Composite Structures*, 80:82-91.
- [4] Wang, J., Shi, C., Yang, N., Sun, H., Liu, Y. ve Song, B., (2018). "Strength, Stiffness and Panel Peeling Strength of Carbon Fiber-Reinforced Composite Sandwich Structures With Aluminum Honeycomb Cores for Vehicle Body", *Composite Structures*, 184:1189-1196.
- [5] Riccio, A., Raimondo, A., Sellitto, A., Acanfora, V. ve Zarrelli, M., (2016). "Multifunctional Polypropylene Core for Aerospace Sandwich Composite Panels", *Procedia Engineering*, 167:64-70.
- [6] Arslan, N. ve Kaman, M.O., (2002). "Alüminyum, Kağıt ve Cam Elyaf Petek Yapılı Kompozitlerin Üretim Teknikleri ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması", *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 4(3):113-123.
- [7] Zhang, D., Fei, Q. ve Zhang P., (2017). "Drop-Weight Impact Behavior of Honeycomb Sandwich Panels Under A Spherical Impactor", *Composite Structures*, 168:633-645.
- [8] Gibson, R.F., (2016). *Principles of Composite Material Mechanics*, Fourth Edition, CRC Press Taylor&Francis Group, Florida.
- [9] Akdoğan Eker, A., (2014). *Kompozit Malzemeler*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [10] Harris, B., (1999). *Engineering Composite Materials*, The Institute of Materials, London.

- [11] Berthelot, J.M., (1998). Composite Materials: Mechanical Behavior and Structural Analysis, Mechanical Engineering Series, Springer, New York.
- [12] Mallick, P.K., (2007). Fiber-Reinforced Composites: Materials, Manufacturing and Design, Third Edition, CRC Press Taylor&Francis Group, New York.
- [13] Hull, D. ve Clyne, T.W., (1996). An Introduction to Composite Materials, Second Edition, Cambridge University Press, Cambridge.
- [14] Callister, W.D., (2013). Materials Science and Engineering, Seventh Edition, John Wiley & Sons Inc., United States of America.
- [15] Akdoğan Eker, A., (2008). Plastik Matrisli Kompozitler, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [16] Njuguna, J., (2016). Lightweight Composite Structures in Transport, Woodhead Publishing Series in Composites: Science and Engineering: Number 67, Cambridge.
- [17] Chawla, K.K., (1998). Composite Materials: Science and Engineering, Second Edition, Springer Science& Business Media LLC, New York.
- [18] Jones, R.M., (1999). Mechanics of Composite Materials, Second Edition, Taylor&Francis Inc., Philadelphia.
- [19] Askeland, D.R., Fulay, P.P. ve Wright, W.J., (2010). The Science and Engineering of Materials, Sixth Edition, Cengage Learning Inc., Stamford.
- [20] Arıcasoy, O., (2006). "Kompozit Sektör Raporu", İstanbul Ticaret Odası
- [21] Campbell, F.C., (2010). Structural Composite Materials, ASM International The Materials Information Society, Ohio.
- [22] Rayjade, G.R. ve Rao, S., (2015). "Study of Composite Sandwich Structure and Bending Characteristics-A Review", International Journal of Current Engineering and Technology, 5(2):797-802.
- [23] Balcı, O., Çoban, O., Bora, M.Ö., Akagündüz, E. Ve Yalçın, E.B., (2017). "Experimental Investigation of Single and Repeated Impacts for Repaired Honeycomb Sandwich Structures", Materials Science & Engineering A, 682:23-30.
- [24] Güler, C. ve Ulay, G., (2009). "Petekli Kompozit Levhalar", Mobilya Dekorasyon Dergisi, 90:78-92.
- [25] Göldoğan, A.İ. ve Şakar, G., (2015). "Delaminasyonlu Sandviç Kompozitlerin Dinamik Davranışlarının İncelenmesi", Uluslararası Katılımlı 17. Makina Teorisi Sempozyumu, 14-17 Haziran 2015, İzmir.
- [26] Tan, C.Y. ve Akil, H.Z., (2012). "Impact Response of Fiber Laminate Sandwich Composite Structure with Polypropylene Honeycomb Core", Composites Part (B), 43:1433-1438.

- [27] Mahfuz, H., Zainuddin, S., Uddin, M.F., Rangari, V.K. ve Jeelani, S., (2005). "Sandwich Structures 7: Advancing with Sandwich Structures and Materials", Proceedings of the 7th International Conference on Sandwich Structures, 29-31 August 2015, Aalborg.
- [28] Rocca, S.V. ve Nanni, A., (2005). "Mechanical Characterization of Sandwich Structure Comprised of Glass Fiber Reinforced Core", Composites in Construction 2005 – Third International Conference, 11-13 July 2005, Lyon.
- [29] Rao, K.K., Rao, K.J., Sarwade, A.G. ve Chandra M.S., (2012). "Strength Analysis on Honeycomb Sandwich Panels of Different Materials", International Journal of Engineering Research and Applications, 2(3): 365-374.
- [30] SAE International, (2013). Composite Materials Handbook Volume:6 Structural Sandwich Composites, United States of America.
- [31] Nunes, J.P. ve Silva, J.F., (2016). Advanced Composite Materials for Aerospace Engineering Part 5: Sandwiched Composites in Aerospace Engineering, Woodhead Publishing Series.
- [32] Mazumdar, S.K., (2002). Composites Manufacturing: Materials, Product and Process Engineering, CRC Press LLC, Florida.
- [33] Sanderson, J., (1997). A Technician Airframe Textbook, Jeppesen Sanderson Inc., United States of America.
- [34] Carlsson, L.A. ve Kardomateas, G.A., (2011). Structural and Failure Mechanics of Sandwich Composites, Springer Science& Business Media LLC, New York.
- [35] Solmaz, M.Y., Kaman, M.O., Turan, K. ve Turgut, A., (2010). "Petek Yapılı Kompozit Levhaların Eğilme Davranışının İncelenmesi", Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 22(1): 1-11.
- [36] Bitzer, T., (1997). Honeycomb Technology: Materials, Design, Manufacturing, Applications and Testing, Springer Science&Business Media, B.V.
- [37] Banhart J., (2001). "Manufacture, Characterization and Application of Cellular Metals and Metal Foams", Progress in Materials Science, 46:559-632.
- [38] NDI, Sandwich Composites, <http://www.ndi.net>, 23 Nisan 2011.
- [39] Solmaz, M.Y. ve Topkaya, T., (2012). "Elipsoit Petek Yapılı Sandviç Yapıların Burkulma Dirençlerinin Sayısal ve Deneysel Olarak Araştırılması", 3. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi, 29-30 Kasım 2012, Balıkesir.
- [40] Aktay, L., Johnson, A.F. ve Kröplin, B.H., (2008). "Numerical Modelling of Honeycomb Core Crush Behaviour", Engineering Fracture Mechanics, 75: 2616-2630.
- [41] Hexcel Composites, (1999). Hexweb™ Honeycomb Attributes and Properties.
- [42] Kindinger, J., (2001). Lightweight Structural Cores, ASM Handbook of Metals, Vol. 21 - Composites.
- [43] Bitzer, T., (1994). "Honeycomb Marine Applications", Journal of Reinforced Plastics and Composites, 13(4): 355-360.

- [44] Petrone, G., Rao, S., De Rosa, S., Mace, B.R., Franco, F. ve D, Bhattacharyya., (2003). "Initial experimental investigations on Natural Fibre Reinforced Honeycomb Core Panels", *Composites Part B: Engineering*, 55: 400-406.
- [45] Hexcel Composites, (2000). Hexweb™ Honeycomb Sandwich Design Technology, Duxford.
- [46] Buytoz, S. ve Eren, H., (2007). "Al Metal Matris Kompozitlerin Abrasiv Aşınma Performansına Takviye Elemanlarının Etkisi", *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(2): 209-216.
- [47] Pflug, J., Vangrimde, B., Verpoest, I., Vandepitte, D., Britzke, M. ve Wagenführ, A., (2004). "Continuously Produced Paper Honeycomb Sandwich Panels for Furniture Applications", *5th Global Wood and Natural Fibre Composites Symposium*, 27-28 April 2004, Kassel.
- [48] Yasutaka, T., Kiyoshi, T. ve Yoshiteru, N., (1996). "Analysis of Mechanical Properties of Aramid Honeycomb Core", *Transaction of the Japan Society of Mechanical Engineers, Part A*, 61(587): 1608-1614.
- [49] Ersoy, H.Y., (2001). *Kompozit Malzeme, Literatür Yayıncılık Dağıtım Pazarlama, San. Tic. Ltd. Şti., İstanbul.*
- [50] Şenel M., (2009). "Öngerilmeli Kompozit Plakların Düşük Hızlı Darbe Yüğü Etkisi Altında Davranışlarının incelenmesi", *Dumlupınar Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Proje Çalışması, Kütahya*, 168.
- [51] Strong, A.B., (2008). *Fundamentals of Composite Manufacturing: Materials Methods and Applications, Second Edition, Society of Manufacturing Engineers, Dearborn.*
- [52] Stocchi, A., Colabella, L., Cisilino, A. ve Alvarez, A., (2014). "Manufacturing and Testing of A Sandwich Panel Honeycomb Core Reinforced With Natural-Fiber Fabrics", *Materials&Design*, 55: 394-403.
- [53] Crupi, V., Epasto, G., Guglielmino, E., Mozafari, H. ve Najafian, S., (2014). "Computed Tomography-based Reconstruction and Finite Element Modelling of Honeycomb Sandwiches Under Low Velocity Impacts", *Journal of Sandwich Structures&Materials*, 16(4): 377-397.
- [54] Burlayenko, V.N. ve Sadowski, T., (2010). "Effective Elastic Properties of Foam-Filled Honeycomb Cores of Sandwich Panels", *Composite Structures*, 92: 2890-2900.
- [55] Patel, J.M. ve Modi, B.A., (2013). "Stiffness and Thermal Analysis of Doubly Curve Sandwich Panel for an Automobile Application", *Chemical, Civil and Mechanical Engineering Tracks of 3rd Nirma University International Conference*, 51: 655-664.
- [56] Hara, D. ve Özgen, G.O., (2016). "Investigation of Weight Reduction of Automotive Body Structures With The Use of Sandwich Materials", *6th Transport Research Arena*, 18-21 April 2016, Warsaw.

- [57] Composites Europe, (2016). 11th European Trade Fair&Forum for Composites, Technology and Applications, 29 November - 1 December 2016, Düsseldorf.
- [58] Cabrera, N.O., Alcock, B. ve Peijs, T., (2008). "Design and Manufacture of All PP Sandwich Panels Based On Co-Extruded Polypropylene Tapes", Composites Part B:Engineering, 39(7): 1183-1195.
- [59] Belouettar, S., Abbadi, A., Azari, Z., Belouettar, R. ve Freres, P., (2015). "Experimental Investigation of Static and Fatigue Behavior of Composites Honeycomb Materials Using Four Point Bending Tests", Composite Structures, 87(3): 265-273.
- [60] Thevenin, R., (2007). "Airbus Composite Structures", Airbus S.A.S., May 2017, Toulouse.
- [61] Ercan, H., (2007). Uçak Sanayiinde Kullanılan Bal Peteği Kompozitlerinin Mekanik Davranışlarının İncelenmesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [62] Mrazova, M., (2013). "Advanced Composite Materials of The Future in Aerospace Industry", Incas Bulletin, 5(3): 139-150.
- [63] Sönmez, B., (2010). Uçak Yapılarında Kompozit Malzeme Kullanımı, <http://sonbaris.blogcu.com/uçakyapılarındakompozitkullanımı>, 8 Mart 2010.
- [64] Colucci, F., (1989). "Graphite Wonder Aerospace Composite Materials", 25: 7-49.
- [65] The Flight Group, (2005). Airbus 380 Changing the Game, June 2005, pp.12-18.
- [66] Schwartz, Mel, M., (1997). Composite Materials Processing, Fabrication and Applications, Prentice Hall Inc., A.Simon and Shuster Company, New Jersey, USA.
- [67] Özer Group, Hexapan Honeycomb Panel Systems, <http://www.hexapan.com>, 4 Nisan 2017.
- [68] Aly, M.F., Hamza, K.T. ve Farag, M.M., (2014). "A Materials Selection Procedure for Sandwiched Beams via Parametric Optimization with Applications on Automotive Industry", Materials and Design 56: 219-226.
- [69] Fındık, F., (2009). "Malzeme Seçimine Genel Bakış", Mühendis ve Makina, 50(591): 25-31.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Armağan TETİK
Doğum Tarihi ve Yeri :15.11.1990, Kocaeli
Yabancı Dili :İngilizce
E-posta :tetikarmagan@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2013
Lise	Fen Bilimleri	Atılım Anadolu Lisesi	2008

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2015-Halen	Ford Otosan A.Ş.	Makine Mühendisi

YAYINLARI

Bildiri

1. Tetik, A. ve Akdoğan Eker, A. (2017). “Improvement on Rear Interior Panel Material for Ford Commercial Vehicles”, Third International Conference on Advances In Mechanical Engineering : ICAME 2017, 19-21 December 2017, Istanbul, 470-482.

