



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



[DOKTORA TEZİ]

**[YENİ NESİLYAPISAL AHŞAP SANDVIÇ PANELLERİN
MEKANİK, TERMAL VE AKUSTİK ÖZELLİKLERİ |**

[Murat GÜNDÜZ]

**[DANIŞMAN
Prof. Dr. Türker DÜNDAR]**

[Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı |

[Orman Endüstri Mühendisliği Programı |

[İSTANBUL-2022]

Bu çalışma, 23.05.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Orman Endüstri Mühendisliğı Anabilim Dalı, Orman Endüstri Mühendisliğı Programında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Prof. Dr. Türker DÜNDAR (Danışman)
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Orman Fakültesi

Prof. Dr. Nadir AYRILMIş
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Orman Fakültesi

Prof. Dr. Ümit BÜYÜKSARI
Düzce Üniversitesi
Orman Fakültesi

Prof. Dr. İbrahim BEKTAř
Kahramanmarař Sütçü İmam Üniversitesi
Orman Fakültesi

Doç. Dr. Alperen KAYMAKÇI
Kastamonu Üniversitesi
Orman Fakültesi



[20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa’nın abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Bu tez, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin numaralı projesi ile desteklenmiştir.

Bu tez, ... numaralı projesi ile desteklenmiştir.]

ÖNSÖZ

Doktora çalışmamda desteğini esirgemeyen, her aşamada fikir ve tecrübelerinden yararlandığım danışmanım sayın hocam Prof. Dr. Türker DÜNDAR'a teşekkürlerimi sunarım. Değerli katkılarından dolayı sayın Prof. Dr. Nadir AYRILMIŞ ve Prof. Dr. Ümit BÜYÜKSARI hocalarıma teşekkürlerimi sunarım. Çalışmamda yardımlarını esirgemeyen Türk Standardları Enstitüsü Gebze ve Tuzla Yapı Malzemeleri Laboratuvarlarında görev yapan değerli arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Akademik çalışmalarım boyunca sürekli teşvik eden destekleyen ve yardımlarını esirgemeyen sürekli destek olan sevgili aileme teşekkür ederim.

Bu süreç içerisinde kendileri ile gerektiği kadar ilgilenemediğim canım çocuklarımdan ve eşimden özür dilerim ve gösterdikleri sabırdan dolayı da teşekkür ederim. |

Mayıs 2022

|Murat GÜNDÜZ|

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ.....	xi
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	xiii
ÖZET	xiv
SUMMARY	xvi
1. GİRİŞ	1
1.1. HİPOTEZ	2
1.2. AMAÇ	3
1.3. ÇALIŞMA YÖNTEMİ	3
1.4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	5
2. GENEL KISIMLAR.....	22
2.1. KOMPOZİT MALZEMELER.....	22
2.2. AHŞAP KOMPOZİT MALZEMELER.....	24
2.3. BAL PETEKLİ SANDVIÇ YAPILI LEVHALAR	25
2.3.1. Bal Peteği Yapı Elemanları	27
2.3.1.1. Yüzey Malzemeleri	30
2.3.1.2. Çekirdek Malzemeleri	31
2.3.1.3. Yapıştırıcı Malzemeler	33
2.4. SANDVIÇ LEVHALARIN KULLANIM ALANLARI	36
2.5. KENEVİR	43
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	47
3.1. SANDVIÇ LEVHALARIN ÜRETİMİ.....	47
3.1.2. Levha Üretimi İçin Gerekli Hammaddeler.....	48
3.1.2.1. Kontrplak.....	48
3.1.2.2. Ahşap Kaplama	48
3.1.2.3. Tutkal.....	49
3.1.2.4. Alüminyum Bal Peteği.....	49
3.1.2.5. Polipropilen Bal Peteği.....	50

3.1.2.6. Kenevir	51
3.1.3. Levhaların Üretimi	52
3.2. TEST YÖNTEMLERİ	55
3.2.1. Fiziksel Testler	56
3.2.1.1. Rutubet Tayini.....	56
3.2.1.2. Yoğunluk Tayini	57
3.2.2. Mekanik Testler.....	58
3.2.2.1. Levha Yüzeyine Dik Çekme Mukavemeti	58
3.2.2.2. Eğilmede Maksimum Kuvvet.....	60
3.2.2.3. Çekirdek Makaslama Mukavemeti.....	61
3.2.2.4. Yüzey Gerilme Mukavemeti	62
3.2.2.5. Çarpma Mukavemeti.....	63
3.2.2.6. Basma Mukavemeti	66
3.2.3. Isı İletkenlik Katsayısının Belirlenmesi	67
3.2.4. Ses Yalıtımının Belirlenmesi.....	68
3.2.5. İkinci Deneme Levhaların Üretimi.....	71
4. BULGULAR.....	75
4.1.RUTUBET	75
4.2.YOĞUNLUK	77
4.3. LEVHA YÜZEYE DİK ÇEKME DİRENCİ.....	80
4.4. EĞİLME MUKAVEMETİ	83
4.5. ÇEKİRDEK MAKASLAMA MUKAVEMETİ	88
4.6. YÜZEY GERİLME MUKAVEMETİ	92
4.7. ÇARPMA MUKAVEMETİ.....	97
4.8. BASMA MUKAVEMETİ	101
4.9 ISI İLETKENLİK KATSAYISI	104
4.10 SES YALITIMI.....	106
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	109
5.1.RUTUBET DENEYİ	109
5.2. YOĞUNLUK DENEYİ	110
5.3. LEVHA YÜZEYİNE DİK ÇEKME DENEYİ.....	112
5.4. EĞİLMEDE MAKSİMUM KUVVET	115
5.5. ÇEKİRDEK MAKASLAMA MUKAVEMETİ DENEYİ	120
5.6. YÜZEY GERİLME MUKAVEMETİ DENEYİ	122

5.7. ÇARPMA MUKAVEMETİ DENEYİ.....	124
5.8. BASMA MUKAVEMETİ DENEYİ	126
5.9. ISI İLETKENLİK DENEYİ	129
5.10. AKUSTİK DENEYLER	131
5.11. İKİNCİ DENEME LEVHALARI DENEY SONUÇLARI	136
5.12. SON DEĞERLENDİRME	139
KAYNAKLAR.....	142
EKLER	153
ÖZGEÇMİŞ	154

|



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1 Çekirdek boyutu 25 mm olan Al bal petekli kompozit levhanın eğilme yükü altında hasar görüntüsü (Solmaz ve diğ., 2010)	6
Şekil 1.2 Çekirdek boyutu 15 mm olan kağıt bal petekli kompozit levhanın eğilme yükü altında hasar görüntüsü (Solmaz ve diğ., 2010)	6
Şekil 1.3 Çekirdek boyutu 5 mm olan kağıt bal petekli sandviç levhanın eğilme yükü altında hasar görüntüsü (Solmaz ve diğ., 2010)	6
Şekil 1.4 Farklı hücre konfigürasyonları olan Al bal petekleri ve basma deney görüntüsü (Zhang ve diğ., 2013)	14
Şekil 1.5 Al köpük (solda) ve Al bal peteği numunesi (sağda) ve basma deneyi görseli (Bang ve Cho, 2015).....	16
Şekil 1.6 Farklı çarpma enerjisi altında meydana gelen hasar görselleri (Tan ve diğ., 2012).....	17
Şekil 1.7 Farklı çekirdek boyutlarındaki sandviç levhaların ses iletim kaybı grafik görseli (Wang ve diğ., 2020)	18
Şekil 1.8 Farklı yüzey kalınlığındaki sandviç levhaların ses iletim kaybı grafik görseli (Wang ve diğ., 2020)	19
Şekil 1.9 Farklı çekirdek yüksekliğindeki sandviç levhaların ses iletim kaybı grafik görseli (Wang ve diğ., 2020)	19
Şekil 2.1 Bal peteği çekirdekli sandviç levha ve çekirdek boyutları (Solmaz ve ark. 2010).....	28
Şekil 2.2 Kenevir bitkisinin görseli (Gizlenci ve diğ. 2019)	44
Şekil 2.3 Kenevir sapı ve lifi görseli (Gizlenci ve diğ., 2019)	45
Şekil 2.4 Farklı takviye liflerinin özellikleri (Sabır, 2015)	46
Şekil 3.1 Kullanılan epoksi tutkalı	49
Şekil 3.2 Sıkıştırılmış alüminyum bal peteği görseli.....	50
Şekil 3.3 Açılmış Alüminyum bal peteği görseli	50
Şekil 3.4 Gofrajlı poliporopilen bal peteği görseli	51

Şekil 3.5 Demet halinde (solda) ve liflere ayrılmış kenevir (sağda)	51
Şekil 3.6 Dokuma tezgahında örülen kenevir lifleri.....	52
Şekil 3.7 Sandviç levha üretim aşamaları.....	54
Şekil 3.8 Üretilen sandviç levhalar	55
Şekil 3.9 Numunelerin tartılması, kurutulması ve desikatörde soğutulması	57
Şekil 3.10 Yoğunluk deneyi aşamaları	58
Şekil 3.11 Dik çekme deneyi aşamaları.....	59
Şekil 3.12 Eğilme deneyi aşamaları	61
Şekil 3.13 Eğilme deneyi numunesi bileşen elemanlarını görünümü	62
Şekil 3.14 Büyük bilye serbest düşme deney cihazı ve numune görüntüsü	64
Şekil 3.15 Çarpma mukavemeti testinde kullanılan çelik bilyeler	65
Şekil 3.16 Basma mukavemeti deney görselleri.....	66
Şekil 3.17 Isı iletkenlik deney cihazı ve numunesi	68
Şekil 3.18 Empedans tüpleri.....	69
Şekil 3.19 Numunelerin empedans tüplerine yerleştirilmesi.....	71
Şekil 3.20 İkinci deneme levhalarında kullanılan kenevir kumaş	72
Şekil 3.21 İkinci kez üretilen sandviç levhaların bileşenleri	73
Şekil 3.22 Sandviç levha	73
Şekil 4.1 Yüzeyi kontrplak ve çekirdeği Al bal peteği olan sandviç levhaların ses yalıtım değerleri.....	106
Şekil 4.2 Yüzeyi kontrplakve çekirdeği PP bal peteği olan sandviç levhaların ses yalıtım değerleri.....	107
Şekil 4.3 Yüzeyi ahşap kaplama ve çekirdeği Al bal peteği olan sandviç levhaların ses yalıtım değerleri.....	107
Şekil 4.4 Yüzeyi ahşap kaplama ve çekirdeği PP bal peteği olan sandviç levhaların ses yalıtım değerleri.....	108
Şekil 5.1 Sandviç levhaların ısı iletkenlik değerleri	130
Şekil 5.2 Yüzeyi kontrplak olan 10 mm yükseklikteki Al vePP bal petekli sandviç levhaların ses geçiş kaybı değerleri	132

Şekil 5.3 Yüzeyi kontrplak olan 18 mm ve 20 mm yükseklikteki Al ve PP bal petekli sandviç levhaların ses geçiş kaybı değerleri.....	133
Şekil 5.4 Yüzeyi ahşap kaplama olan 10 mm yükseklikteki Al ve PP bal petekli sandviç levhaların ses geçiş kaybı değerleri.....	134
Şekil 5.5 Yüzeyi ahşap kaplama olan 18 mm ve 20 mm yükseklikteki Al ve PP bal petekli sandviç levhaların ses geçiş kaybı değerleri.....	135



TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 2.1 Farklı yükseklikteki sandviç levhanın mekanik özellikleri (Bitzer, 1997)	29
Tablo 2.2 Sandviç levhanın bileşenlerine ve kalınlığına göre ağırlık dağılımı (Bitzer 1997).....	34
Tablo 3.1 Numune kodları.....	47
Tablo 3.2 Kontrplak'ın teknik özellikleri.....	48
Tablo 3.3 Ahşap kaplama teknik özellikleri (Bozkurt ve Erdin 2011).....	48
Tablo 3.4 Çalışmada uygulanan standard deney metodları ve numune adetleri	56
Tablo 3.5 Deneme levhaları deneme numune adetleri	74
Tablo 4.1 Sandviç levhaların rutubet değerlerine ait tanımlayıcı istatistiksel değerler	76
Tablo 4.2 Sandviç levhaların yoğunluk değerlerine ait tanımlayıcı istatistiksel değerler.....	77
Tablo 4.3 Sandviç levhaların yoğunluk değerlerine ait varyans analizi.....	78
Tablo 4.4 Sandviç levhaların yoğunluk değerlerine ait Duncan testi sonuçları	79
Tablo 4.5 Sandviç levha gruplarının yüzeye dik çekme mukavemeti değerlerine ait tanımlayıcı istatistiksel değerler	80
Tablo 4.6 Sandviç levhaların yüzeye dik çekme mukavemeti değerlerine ait varyans analizi	81
Tablo 4.7 Sandviç levhaların yüzeye dik çekme mukavemeti değerine ait Duncan testi sonuçları	82
Tablo 4.8 Sandviç levhaların eğilme kuvveti değerine ait tanımlayıcı istatistiksel değerler.....	83
Tablo 4.9 Sandviç levhaların eğilme kuvveti değerlerine ait varyans analizi	85
Tablo 4.10 Sandviç levhaların eğilme kuvvet değerine ait Duncan testi sonuçları.....	86
Tablo 4.11 Sandviç levhaların çekirdek makaslama mukavemeti değerlerine ait tanımlayıcı istatistiksel değerler	88
Tablo 4.12 Sandviç levhaların çekirdek makaslama mukavemeti değerlerine ait varyans analizi	90

Tablo 4.13 Sandviç levhaların çekirdek makaslama mukavemeti değerlerine ait Duncan testi sonuçları.....	91
Tablo 4.14 Sandviç levhaların yüzey gerilme mukavemeti değerlerine ait tanımlayıcı istatistiksel değerler.....	93
Tablo 4.15 Sandviç levhaların yüzey gerilme mukavemeti değerlerine ait varyans analizi	94
Tablo 4.16 Sandviç levhaların yüzey gerilme mukavemeti değerlerine ait Duncan testi sonuçları	95
Tablo 4.17 Çarpma mukavemeti değerlendirme kriterleri ve deney sonrası meydana gelen hasar örnekleri.....	97
Tablo 4.18 Sandviç levhaların çarpma mukavemeti deney sonuçları	99
Tablo 4.19 Sandviç levhaların basma mukavemeti değerlerine ait tanımlayıcı istatistikî değerler.....	101
Tablo 4.20 Sandviç levhaların basma mukavemeti değerine ait varyans analizi	102
Tablo 4.21 Sandviç levhaların basma mukavemeti değerine ait Duncan testi sonuçları	103
Tablo 4.22 Sandviç levhaların ısı iletkenlik değerleri.....	104
Tablo 4.23 Yapı malzeme elemanları ısı iletkenlik katsayı değerleri (TS 825).....	105
Tablo 5.1 Sandviç levhaların yoğunluk değerlerinin karşılaştırılması.....	111
Tablo 5.2 Sandviç levhaların dik çekme mukavemet değerleri karşılaştırması	114
Tablo 5.3 Sandviç levhaların eğilme kuvveti değerleri karşılaştırması.....	116
Tablo 5.4 Sandviç levhaların çekirdek makaslama mukavemeti değerleri karşılaştırması	121
Tablo 5.5 Sandviç levhaların yüzey gerilme mukavemeti değerleri karşılaştırması.....	123
Tablo 5.6 Sandviç levhaların basma mukavemeti değerleri karşılaştırması	127
Tablo 5.7 TS EN 13986 standardına göre ahşap esaslı levhaların ısı iletkenlik değerleri ...	131
Tablo 5.8 Yüzeyi kontrplak çekirdeği Al ve PP olan kenevir takviyeli deneme levhalarının deney sonuçları.....	137

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
E	:Potansiyel enerji
F	:Basma mukavemeti
f	: Dik çekme mukavemeti
f_s	:Çekirdek makaslama mukavemeti
H	: Rutubet miktarı
p	: Yoğunluk
σ	:Yüzey gerilme mukavemeti
λ	:Isı iletkenlik katsayısı

Kısaltmalar	Açıklama
Al	:Alüminyum
CTP	:Cam elyaf takviyeli polyester
G	:Gram
Hz	:Hertz
J	:Joule
Kg	:Kilogram
LVL	:Laminated veneer lumber
MDF	:Medium Density Fiberboard
N	:Newton
OSB	:Oriented strand board
PET	:Polietilen terafitalat
PP	:Polipropilen
PSL	:Parallel strand lumber
THC	:Tetrahidrokannabinol
TSE	:Türk Standrdları Enstitüsü

ÖZET

[DOKTORA TEZİ]

[YENİ NESİL YAPISAL AHŞAP SANDVIÇ PANELLERİN MEKANİK, TERMAL VE AKUSTİK ÖZELLİKLERİ]

[Murat GÜNDÜZ]

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

[Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı]

[Danışman: Prof. Dr. Türker DÜNDAR]

Bal peteği yapılı çekirdek, hücresel yapılarından dolayı düşük yoğunluklu, yüksek mukavemet / ağırlık oranına ve etkin enerji emme özelliklerine sahip malzemedir.

Yapısal amaçlı bal peteği sandviç levhalar hafifliğin istendiği, ağırlığın kritik problem olduğu, yüksek mukavemet ve rijitlik istenen ve aynı zamanda ses ve ısı yalıtımının da önemli olduğu mimari yapılarda kullanım alanı bulmaktadır. Ayrıca enerji verimliliğinin yüksek olması, estetik uygulama alanlarında kullanma imkânı, inovatif ve sürdürülebilir bir malzeme olduğundan dolayı da yapı sektöründe kolayca uygulanabilmektedir.

Ahşap esaslı bal peteği çekirdekli sandviç levhaların en önemli ve dikkat çekici özellikleri; sürdürülebilir, geri dönüştürülebilir malzeme olmalarıdır.

Bu tez çalışmasının temel amacı; farklı petek dolgu malzemeleri ve ahşap esaslı malzeme kullanarak üretilen ahşap-sandviç kompozit levhaların mekanik, termal ve akustik özelliklerini belirlemek, bu levhaların kenevir lifleri ile güçlendirilme imkânlarını araştırmaktır. Böylece bu

yeni tip sandviç levhaların yapısal amaçlı mevcut ürünlere alternatif bir ürün olarak kullanılma imkânlarını ortaya koymaktır.

Bu çalışma kapsamında 16 ayrı tip sandviç levha üretilmiştir. Üst yüzey olarak huş kontrplak ve huş ahşap kaplama (papel) olmak üzere iki farklı malzeme kullanılmıştır. Orta tabakada ise 10mm ve 18mm yüksekliğinde Alüminyum (Al) ve 10mm ve 20mm yüksekliğinde PP (polipropilen) bal peteği çekirdek olmak üzere dört farklı dolgu malzemesi kullanılmıştır. Her bir ürün kenevir lifi takviyeli ve kenevir lifi takviyesiz olmak üzere çift komponentli epoksi tutkalı ile üst üste yapıştırılarak sandviç levhalar elde edilmiştir.

Üretilen levhalar üzerinde fiziksel, mekanik, termal ve akustik özellikleri belirlemek için ulusal ve uluslararası standartlara göre deneyler yapılmıştır. Elde edilen bulgular istatistiksel analizleri yapılarak değerlendirilmiştir. Elde edilen deney sonuçları, ulusal ve uluslararası standartlar ve daha önce yapılmış çalışmaların sonuçları ışığında irdelenmiştir.

Deneyler sonucunda sandviç levhaların fiziksel, mekanik, akustik ve termal değerlerine sandviç levhanın bütün bileşenleri bir bütün olarak yüzey malzemesi, çekirdek malzeme ve kenevir takviyesinin etkisi olduğu tespit edilmiştir. Mekanik deneylerde Al çekirdekli sandviç levhalar daha yüksek mukavemet değeri gösterdiği, termal ve akustik deneylerde PP çekirdekli sandviç levhaların daha iyi yalıtım özelliği gösterdiği tespit edilmiştir. Kontrplak yüzeyli sandviç levhaların, ahşap yüzeyli levhalara göre daha yüksek yoğunluk değeri tespit edilmiştir. Kontrplak yüzey malzemesinden üretilen sandviç levhalardan, ahşap kaplama yüzey malzemesinden üretilen sandviç levhalara göre üç katmanlı yapısı gereği daha yüksek mukavemet değerleri tespit edilmiştir. Kullanılan Al ve PP çekirdeğin yüksekliği arttıkça yoğunluk değeri azaldığı görülmüştür. Yüzey malzemesinin lif yönü eğilme kuvveti üzerinde önemli bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. Kenevir takviyesinin mekanik deneylerde olumsuz etki göstermesine rağmen termal ve akustik deneylerde iyileştirici etki gösterdiği tespit edilmiştir.

Mayıs 2022, 171. sayfa.

Anahtar kelimeler: Bal peteği çekirdek, sandviç levha, hafif malzeme, ahşap yüzey malzemesi, kenevir takviyesi

SUMMARY

[Ph.D. THESIS]

**[MECHANIC, THERMAL AND ACOUSTIC PROPERTIES OF NOVEL
STRUCTURAL WOOD SANDWICH PANELS]**

[Murat GÜNDÜZ]

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

[Department of Forest Industry Engineering]

Supervisor: [Prof. Dr.] [Türker DÜNDAR]

[The honeycomb core is a material with low density, high strength / weight ratio and effective energy absorption due to its cellular structure.

Structural purpose honeycomb sandwich panels find use in architectural structures where lightness is desired, weight is a critical problem, high strength and rigidity are required and also sound and heat insulation are important. In addition, it can be easily applied in building sector thanks to its being an innovative and sustainable material, its high energy efficiency and the possibility of using it in aesthetic application areas.

The most important and remarkable features of wood-based honeycomb core sandwich panels, are its being a sustainable, recyclable material.

The main purpose of this thesis is to ensure the integration of the new product with high added value in the forest industry by using different honeycomb filling materials and wood-based

boards, and at the same time to present a lightweight, easy-to-apply and easy-to-use product in order to use the obtained sandwich panels as an alternative product to existing structural products.

Within the scope of this study, 16 different types of sandwich panels were produced. Two different materials are used as the top surface, birch plywood and wood veneer. Four different filling materials were used, namely the middle layer, Al which is 10mm and 18mm high, and PP (polypropylene) honeycomb core of 10mm and 20mm height. Each product was bonded with two-component epoxy glue, with or without hemp fiber reinforcement, to produce sandwich panels.

Experiments have been carried out according to national and international standards in order to determine the physical, mechanical, thermal and acoustic properties on the produced panels. The obtained findings were evaluated by statistical analysis. The experimental obtained results were examined with the results of previous studies, national and international standards.

As a result of the experiments, it has been determined that all components of the sandwich panels, surface material, core material and hemp reinforcement have an effect on the physical, mechanical, acoustic and thermal values of the sandwich panels. It has been determined that sandwich panels with Al core show higher strength values in mechanical tests, and sandwich panels with PP core show better insulation properties in thermal and acoustic tests. A higher density value was determined for plywood-surfaced sandwich boards than wood-surfaced boards. Due to its three-layer structure, higher strength values were determined from sandwich sheets produced from plywood surface material compared to sandwich sheets produced from wood veneer surface material. It was observed that the density value decreased as the height of the Al and PP cores used increased. It has been found that the surface material has a significant effect on the fiber orientation bending force. It has been found that hemp reinforcement has a negative effect on mechanical tests, it has a enhancing effect in thermal and acoustic tests. |

May 2022, |171,| pages.

Keywords: |Honeycomb core, sandwich panel, lightweight material, wood surface material, hemp reinforcement|

1. GİRİŞ

İnsanlık tarihinin başlangıcından günümüze kadar en çok kullanılan doğal hammadde ahşap ve ahşap esaslı ürünlerdir (WHB, 2010). Ahşap, dünyadaki yaşamın sürdürülebilirliğine katkıda bulunan en önemli yenilenebilir kaynakların başında gelmektedir. Bundan dolayı ahşap kaynaklarının rasyonel kullanımı, çevresel etkiyi en aza indirmeye yönelik önemli bir hedeftir (ISO DIN 17300-1 2019). Arkeolojik keşifler, ahşabın eski medeniyetler tarafından yapı malzemesi olarak, dekoratif objeler olarak kullanıldığını göstermiştir. Bu keşifler binlerce yıldır ayakta kalan ahşabın eşsiz uzun ömürlü performans özelliğini göstermektedir. Günümüzde ahşap, başlıca mobilya, ambalaj malzemesi, çocuk oyuncacı, yapı malzemesi, ulaşım sektöründe olmak üzere birçok alanda kullanılmaktadır. Ahşabın yenilenebilir bir kaynak olması ve çevreye zararsız olması son yıllarda yaygın hale gelen yeşil yapı malzemesi olarak ta kullanımını artırmıştır (WHB, 2010). Bu kadar fazla kullanım alanının olmasından dolayı giderek artan ihtiyacı karşılamak için sürdürülebilir bir orman yönetim sistemi yürütülmediği takdirde önümüzdeki yıllarda odun hammadde kaynağı problemi yaşanması kaçınılmazdır.

Tabiatta sınırlı sayıda bulunan ana malzemelerin ve bu malzemelerin mekanik ve fiziksel özelliklerinin teknolojinin gelişmesiyle yetersiz kaldığı görülmektedir (Akkuş, 2016). Günümüz endüstrinin de bu hızlı gelişim süreci içerisinde farklı malzeme çeşitlerinin oluşumuna imkân sağladığı bilinmektedir. Bu süreçte, yapay malzemelerdeki gelişim ve çeşitlenme, doğal malzemelere göre daha hızlı ivme kazanmıştır ve doğal malzemelerin yerini almıştır (Kasapseçkin, 2015). Odun hammaddesini en çok kullanan orman ürünleri sektörü yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı yapay alternatif ürünler geliştirmeye yönelmiştir. Bu ürünlerin başında lif levha, yonga levha, osb, kontrplak gibi levhalar gelmektedir.

Son yıllarda teknolojinin gelişmesiyle her sektörün kendi ihtiyaçları da farklılık göstermeye başlamış olup mevcut malzemelerin ihtiyaçları karşılamakta yetersiz kaldığı bir gerçektir. Bundan dolayı ekonomik, yüksek mukavemetli ve çok hafif malzemelerin üretilmesi için yapılan çalışmalar artmıştır. Son yıllarda da bu tür malzemelerin geliştirilmesi ile ilgili birçok araştırmacı çalışma yapmıştır. Bu sayede, değişik özelliklere sahip birden fazla malzemenin özel yöntemlerle fiziksel olarak birleştirilmeleri suretiyle, elde edilen kompozit malzemeler günümüzde büyük önem kazanmıştır (Akkuş, 2016).

Kompozit malzemelerin hafif olması, kullanımı kolay olması ve kullanım yerine göre mukavemetinin iyi olmasından dolayı bu yeni nesil ürünlere rağbet artmıştır. Yeni nesil kompozit ürünlerden biri de petek yapılı sandviç panellerdir. Orta tabakası bal peteği formunda çeşitli malzemelerden (kâğıt, alüminyum, pp, vb.) üretilmiş çekirdek, üst yüzey olarak kullanım yerine göre farklılık gösteren malzemelerin (lif levha, kontrplak, pwc, doğal taş vb.) birbiriyle üst üste yapıştırılmasıyla elde edilen ürünlerdir.

Petek dolgulu kompozit ürünlerin üretiminin zor ve pahalı olmasına rağmen, yüksek enerji sönümleme kabiliyeti, hafiflik, yüksek kayma ve eğilme rijitliği gibi özellikleri nedeniyle kullanım alanları başta havacılık, uzay, otomotiv ve yapı sektörleri olmak üzere hızla artmıştır (Solmaz ve diğ. 2010).

1.1.HİPOTEZ

Bu tez çalışmasında çıkış noktası (hipotez); Bal peteği formunda dolgu malzemesinin ahşap ile kombinasyonu sonucu elde edilen sandviç levhanın, aşağıda verilen hususlar da göz önüne alınarak hafifliğinden dolayı yapı elemanı amaçlı olarak kullanılma imkânlarını ortaya koymak olmuştur.

- Petek dolgu malzemesi hafifliği ve mekanik özelliklerinden dolayı birçok alanda kullanılmaktadır. Fakat ahşap ve ahşap esaslı ürünlerle kombine edilmiş ürünler çok az kullanım yerine sahiptir. Özellikle son zamanlarda kullanımı daha da artan alüminyum ve polipropilen bal peteklerin ahşap esaslı ürünlerle bir araya getirilerek katma değeri yüksek alternatif bir ürün üretilmesi amaçlanmıştır,
- Yapı sektöründe, yat sanayinde, havacılıkta ve taşımacılıkta birim alandan maksimum şekilde yararlanmak gerekmektedir. Bunun için de kullanılan malzemeler küçük alanlarda ihtiyaçları karşılayabilecek (ses, ısı yalıtımı, mukavemet değerleri gibi) özellikte olmalıdır. Bu çalışma ile üretilen ahşap sandviç levhaların bu ihtiyaçlara cevap verme olanakları araştırılmıştır.
- Ahşap sandviç levhaların kenevir lifi takviye edilerek mukavemetini artırmak ve darbelere karşı performansını artırmak amaçlanmıştır.

1.2. AMAÇ

Bu tez çalışmasının temel amacı; farklı petek dolgu malzemeleri ile ahşap esaslı malzeme kullanarak üretilen ahşap-sandviç kompozit levhaların mekanik, termal ve akustik özelliklerini belirlemek, bu levhaların kenevir lifleri ile güçlendirilme imkanlarını araştırmaktır. Böylece bu “YENİ NESİL YAPISAL AHŞAP SANDVİÇ PANELLERİN MEKANİK, TERMAL VE AKUSTİK ÖZELLİKLERİ” çalışma ile yeni tip sandviç levhaların yapısal amaçlı mevcut ürünlere alternatif bir ürün olarak kullanılma imkanlarını ortaya koymaktır.

Yeni nesil dolgu malzemeleri farklı ülkelerde birçok alanda farklı amaçlarla kullanım alanı bulmasına rağmen alüminyum ve polipropilen petek dolgular ülkemizde yeni yeni kullanım alanı bulmaya başlamıştır. Bu alüminyum ve polipropilen petek dolguların özellikle ahşapla kombinasyonu hakkında da çok fazla bilimsel araştırma yapılmamıştır.

Bu çalışmanın bir diğer amacı ülkemizde son dönemde yeniden endüstriyel tarımı yapılmaya başlanan kenevir liflerinin söz konusu sandviç kompozitlerde güçlendirme amaçlı kullanılma imkânlarını ortaya koymaktır. Kenevir lifleri ile güçlendirilmiş hafif kompozitlerin üstün mukavemet özellikleri ile yapısal maksatlar için önemli avantajlar sağlayacağı düşünülmektedir.

1.3. ÇALIŞMA YÖNTEMİ

Yeni Nesil Yapısal Ahşap Sandviç Panellerin Mekanik, Termal ve Akustik Özelliklerinin araştırıldığı bu çalışmada, öncelikle konuya altyapı oluşturacak akademik ulusal ve uluslararası kaynakları kapsayan literatür taraması yapılmıştır. Daha sonra malzemelerin yurtiçi üretici ve yetkili satıcılardan tedariki yapılmıştır. Elde edilen malzemelerden çalışma amacına uygun olarak 16 ayrı tip numune üretilmiştir. Üst yüzey olarak 5 mm kalınlığında suya dayanıklı huş kontrplak ve 4 mm kalınlıkta ahşap kaplama (papel) olmak üzere iki farklı levha kullanılmıştır. Orta tabaka, 10 mm ve 18 mm yüksekliğinde Al ve 10 mm ve 20 mm yüksekliğinde gofrajlı PP (polipropilen) bal peteği (honeycomb) olmak üzere iki farklı dolgu malzemesi kullanılmıştır. Her bir ürün kenevir lifi takviyeli ve kenevir lifi takviyesiz olmak üzere çift komponentli epoksi tutkalı ile üst üste yapıştırılarak sandviç levhalar elde edilmiştir. Sandviç levhalardan standartların belirttiği ölçülerde deney numuneleri hazırlanmış ve deneyleri yapılmıştır. Elde edilen deney sonuçları istatistiksel olarak hesaplanmış ve yorumlanmıştır.

Bu tez çalışması beş ana bölümden oluşmaktadır;

Giriş bölümü; bu bölümde tez konusu, amacı, neden yapılmasına gerek duyulduğu ve kapsamı hakkında bilgi verilmiştir.

Genel bilgiler bölümü; bu bölümde tezin yazım tarihine kadar tez konusu ile ilişkili konularda yapılmış çalışmalar açıklanmıştır. Çalışmanın bu bölümünde, meydana getirilen sandviç levhanın katmanlarında kullanılan malzemeler hakkında bilgilendirme yapılmış, araştırmaya temel olan kompozit malzemeler genel hatlarıyla, bu grubun üyesi olan yapısal amaçlı sandviç levhalar ise çeşitli yönleriyle açıklanmıştır.

Malzeme ve yöntem bölümü; Çalışmada kullanılan deney numunelerinin hazırlanması ve deneylerin hangi standard metotlara göre yapıldığı, araştırmanın metodolojisinin yapıldığı bölümdür. Bu bölümde, sandviç levha taslağını meydana getirecek malzemelerin özellikleri, tedarik ediliş şekilleri, tabakaları birbirine bağlayacak yapıştırıcı madde ve özelliği belirtilmiş, levha taslağının üretim aşamaları hakkında bilgi verilmiştir. Elde edilen sandviç levha taslağına, Uluslararası standartlara (ISO, EN, ASTM) göre fiziksel, mekanik, termik ve akustik özelliklerini tespit etmek amacıyla standart testler uygulanmıştır.

Bulgular bölümü; Yapılan deneyler sonucu elde edilen bulguların istatistik analiz ile yorumlandığı bölümdür. Bütün deney sonuçlarının istatistik analizleri tablolar halinde verilmiştir.

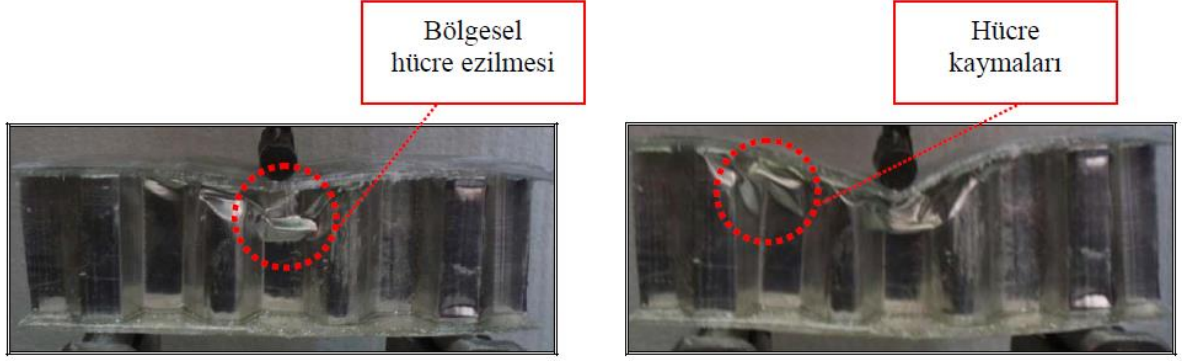
Tartışma ve sonuç bölümü; Çalışma bulgularının değerlendirilmesi ile varılan sonuçlar mevcut literatür bilgisiyle karşılaştırma yapılarak yorumlanmıştır. Elde edilen istatistiki ve karşılaştırmalı bulgular üzerinden, sandviç levha taslağının hangi amaçlara yönelik olarak kullanılabileceği üzerine değerlendirmeler ve tespitler yapılmıştır. Çalışmanın geliştirilmesi için ileride yapılması beklenen araştırmalara yönelik önerilerde bulunulmuştur.

1.4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

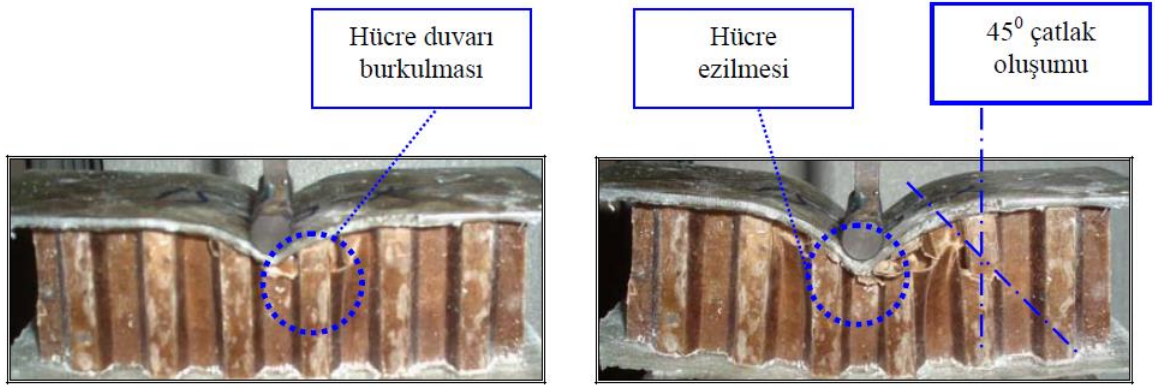
Bu bölümde, tezimize referans olması açısından ulusal ve uluslararası akademik çalışmalar incelenmiştir. İncelenen araştırmaların mümkün olduğu kadar güncel olmasına, çalışmaya katkı sağlayacak kapsamda olmasına dikkat edilmiştir.

Paik ve diğ. (1999) yaptıkları çalışmada alüminyum bal peteği çekirdekli sandviç malzemelerin 3 nokta eğilme dayanımını deneysel olarak incelemişlerdir. Bu çalışma kapsamında hücre genişliği 6,35 mm, hücre yüksekliği 12,7 mm ve hücre et kalınlığı 0,0381 mm ve 0,0635 mm olan iki farklı alüminyum bal peteği çekirdek kullanmışlardır. Yüzey malzemesi olarak 3mm kalınlığında alüminyum plaka kullanmışlardır. Yapılan 3 nokta eğme testleri sonucunda sandviç levhanın, çekirdek yüksekliği artması ve hücre genişliğinin azalmasıyla mukavemetinin arttığını belirtmişlerdir. Aynı zamanda bal peteği çekirdeğinin et kalınlığı artışıyla da plastik deformasyonun daha geç başladığını ve mukavemetin arttığını tespit etmişlerdir.

Solmaz ve diğ. (2010), yaptıkları çalışmada bal peteği yapılı kompozit levhaların eğilme davranışlarını incelemişlerdir. Bu çalışmada kompozit levhaların yüzey örtüsü polyester/cam fiberden üretilmiş ve çekirdek malzemesi olarak polyester emdirilmiş 5mm, 15mm 25mm hücre boyutlarında kâğıt ve alüminyum bal peteği kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlarda; kâğıt hücreli levhaların eğilme dayanımlarının, kayma rijitliği ve kayma modüllerinin aynı hücre boyutlarına sahip alüminyum hücrelilere göre daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Hücre boyutunun artmasına bağlı olarak hem kâğıt hem de alüminyum bal peteği çekirdekli numunelerde eğilme dayanımında azalma olduğunu gözlemişlerdir. Alüminyum bal petek çekirdekli bütün kompozit levhalarda meydana gelen hasarlar; yük temas yüzeyi etrafında petek hücre duvarı burkulması, bölgesel hücre ezilmesi ve artan yüklerde yüzey örtüsü ile çekirdeğin birleşim bölgesindeki bal peteği hücreleri arasında kayma şeklinde olduğunu tespit etmişlerdir. Solmaz ve diğ. (2010) tarafından yapılan çalışmada görülen hasar tipleri şekil 1.1, 1.2 ve 1.3’de verilmiştir. Ayrıca hücre boyutunun artmasına bağlı olarak, eğilme dayanımının hem kâğıt hem de alüminyum bal petek çekirdekli numunelerde azaldığını gözlemişlerdir.



Şekil 1.1 Çekirdek boyutu 25 mm olan Al bal petekli kompozit levhanın eğilme yükü altında hasar görüntüsü (Solmaz ve diğ., 2010)



Şekil 1.2 Çekirdek boyutu 15 mm olan kağıt bal petekli kompozit levhanın eğilme yükü altında hasar görüntüsü (Solmaz ve diğ., 2010)



Şekil 1.3 Çekirdek boyutu 5 mm olan kağıt bal petekli sandviç levhanın eğilme yükü altında hasar görüntüsü (Solmaz ve diğ., 2010)

Akkuş ve diğ. (2015), farklı hücre genişliği ve farklı yükseklikteki altıgen bal peteği çekirdekli kompozit yapıların saf epoksi ve %1 çok duvarlı karbon nano tüp takviyeli yapıştırıcı

kullanılarak üretilen alüminyum bal peteklerinin üç nokta eğilme deneyini yapmışlardır. Çalışma sonucunda, hücre boyutu sabit tutulduğunda hücre yüksekliği artırıldığında burkulma dayanımı arttığı için eğilme kuvvetinde artma olduğunu gözlemlemişlerdir. Aynı hücre yüksekliği için hücre boyutu arttıkça yapıda boşluklar meydana getirdiğinden dolayı eğilme kuvvetinde azalma olduğunu tespit etmişlerdir.

Subaşı ve diğ. (2017), alüminyum damla desenli saç ve hazır cam elyaf takviyeli polyester (CTP) levha kullanılarak üretilmiş bal peteği sandviç levhaların CTP levha kalınlığı ve çekirdek kalınlığı değişimi ile eğilme dayanımı arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Bu çalışma kapsamında, 2,5 mm kalınlığında alüminyum damla desenli saç sabit tutularak 15 ve 20 mm yüksekliğinde hücre çapı 9 mm, kalınlığı 70 mikron olan alüminyum bal peteği ve 2 mm ve 9 mm kalınlığında CTP levhalar kullanılarak üretilmiş bal peteklerinin üç nokta eğme testleri yapılmıştır. Elde edilen bu numunelerde CTP levha kalınlığı ve bal peteği kalınlığı değişimlerinin dayanıma olan etkisini incelenmişlerdir. Sonuç olarak; bal peteği kalınlığına bağlı olarak üst yüzeyi 2 mm kalınlığındaki CTP levhali kompozit panellerin eğilme kuvvetinin %30 oranında arttığını, üst yüzeyi 3 mm kalınlığındaki CTP levhali kompozit panellerin ise %9 oranında arttığını tespit etmişlerdir. Aynı çekirdek kalınlığına sahip kompozit panellerde ise 15 mm yüksekliğindeki bal peteği panellerde CTP kalınlığındaki artışa paralel olarak %12 oranında eğilme kuvvetinin arttığı, 20mm yüksekliğindeki bal peteği panellerde CTP kalınlığındaki artışa paralel olarak %10 oranında eğilme kuvvetinin arttığını tespit edilmişlerdir. Eğilme kuvvetinde meydana gelen artış üzerinde çekirdekte kullanılan bal peteği kalınlığının CTP kalınlığına göre daha fazla etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, korelasyon analizi sonucunda eğilme kuvveti ile bal peteği yüksekliği arasında pozitif yönlü güçlü bir ilişkinin olduğu, regresyon analizi sonucunda ise lineer bir ilişki olduğunu belirtmişlerdir.

Solmaz ve Kaman (2010), bal peteği sandviç yapılarda petek hücre boşluklarına köpük ilavesinin kritik burkulma yüküne etkisini tayin etmek için, 4 farklı hücre boyutunda üretilen bal peteği sandviç numunelerin petek hücre boşluklarına köpük doldurmuşlardır. Bu çalışma sonucunda, aynı hücre duvarı kalınlığı ve hücre boyutuna sahip numunelerde köpük ilavesinin kritik burkulma yükünü yaklaşık olarak 3 kat arttırdığını tespit etmişlerdir. Kritik burkulma yükünün; petek hücre duvarı kalınlığının artması ile arttığını, hücre boyutunun artması ile de düştüğünü belirlemişlerdir.

Draghicescu ve diğ. (2017) yaptıkları çalışmada, 13,8mm yükseklikte ve 5,2mm hücre genişliğindeki alüminyum bal peteği çekirdek ve yüzey kaplaması olarak dokuma cam yünü takviyeli laminat kullanarak sandviç panel üretmişlerdir. Bu ürün üzerinde üç nokta eğilme testi yapmışlardır. Bu çalışma sonucunda çok iyi sertlik ve mekanik değerler elde edildiğini belirtmişlerdir.

Toradmal ve diğ (2017) yaptıkları çalışmada, aynı kalınlıkta cam elyaf takviyeli polimer, paslanmaz çelik ve alüminyum olmak üzere üç farklı yüzey, orta tabaka olarak ta polipropilen bal peteği kullanarak ürettikleri numuneler üzerinde eğilme deneyi yapmışlardır. Bu çalışma sonucunda en düşük eğilme yükünü paslanmaz çelik ile üretilen sandviç panellerin gösterdiğini belirtmişlerdir. En yüksek değeri de alüminyum ile üretilen sandviç panelden elde etmişlerdir. Alüminyum yüzey ile üretilen sandviç panellerin eğilme kuvvetinin polipropilen ile üretilenden yaklaşık %15 oranında fazla olduğunu belirtmişlerdir. Alüminyum ve polipropilen üst yüzeyli sandviç panellerin ağırlık karşılaştırılmasında polipropilen üst yüzeyli sandviç panellerin ağırlığının %14,28 oranında azaldığını tespit etmişlerdir.

Zaoutsos (2017) yaptığı çalışmada, yapısal amaçlar için kullanılan sandviç panellerin farklı sıcaklıklarda mekanik özelliklerini karakterize etmeyi amaçlamıştır. Bu çalışmada yüzey kaplaması olarak 1mm kalınlığında 3000 serisi alüminyum levhalar çekirdek olarak da 3003 serisi alüminyum alaşım bal peteği kullanarak sandviç panel üretilmiştir. Üretilen bu paneller belli aralıklarla 23 °C, 0 °C, -40 °C ve -70 °C olmak üzere dört farklı sıcaklıkta belli sürelerle bekletilmiştir. Örneklerin maruz bırakıldığı sıcaklık şartlarının mekanik davranışlarına ve hasar tepkisi üzerine etkilerini incelemek için çekme, basınç ve eğilme yüklemeleri yoluyla mekanik testler yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda nihai çekme dayanımının sıcaklığın artmasıyla bir miktar arttığı, 23 °C'deki mukavemetin -70 °C'deki mukavemetten çok az da olsa yüksek olduğu, kopma gerilmesinin sıcaklık arttıkça arttığı tespit edilmiştir. Basınç mukavemetinin sıcaklığın artmasıyla arttığı, 23 °C'deki mukavemetin -70 °C'deki mukavemetten fazla olduğu, kopma gerilmesinin de sıcaklık arttıkça arttığı bulunmuştur. Eğilme mukavemetinin ise -70 °C'den 0 °C'ye kadar belli bir miktarda arttığı 0 °C'den sonra sıcaklık arttıkça azaldığı görülmüştür.

Aslan ve diğ. (2018) yaptıkları çalışmada otomotiv sektöründe taşıyıcı elemanlardan biri olan şasi malzemesi üretiminde sandviç panel teknolojisinin uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Böylece mukavemet değerleri yükseltirken ağırlığının düşürülmesini hedeflemişlerdir.

Araştırmada yüzey malzemesi olarak; alüminyum plaka, karbon elyaf ve cam elyaf takviyeli polyester kompozit, çekirdek malzeme olarak ise; alüminyum bal peteği, PP bal peteği ve polietilen terafitalat (PET) sert köpük olmak üzere üç farklı yüzey malzemesi ve üç farklı çekirdek malzeme kullanmışlardır. Üretilen örnekler, eğilme ve basma deneylerine tabi tutulmuşlar ve mukavemet değerleri karşılaştırılmıştır. Eğilme mukavemeti olarak en yüksek değeri PET köpük çekirdek malzemesinden üretilen sandviç panellerin sağladığını tespit etmişlerdir. Eğilme elastikiyeti ve yüzeye basma mukavemeti açısından alüminyum bal peteği çekirdekli sandviç panellerin en iyi sonucu verdiğini tespit etmişlerdir. Kenar doğrultusunda yapılan basma deneyleri sonucunda en yüksek basma mukavemetine cam elyaf yüzeyli PET köpük çekirdekli sandviç panellerin sahip olduğunu, yüzey doğrultusunda yapılan deneyler sonucunda en yüksek mukavemet değerini karbon elyaf yüzey malzemeli alüminyum bal peteği çekirdek malzemesinden oluşan sandviç panellerin gösterdiğini tespit etmişlerdir. Yapılan eğilme ve basma deneyleri sonucunda deney sonucuna çekirdek malzemelerin yüzey malzemelerine göre daha fazla etki ettiğini belirtmişlerdir. Ayrıca pp çekirdekli sandviç panellerin en yüksek sehim miktarını gösterdiğini ve yüzey doğrultusunda basma mukavemet değerine etki eden en önemli faktörün kullanılan çekirdek malzemenin mukavemeti olduğunu tespit etmişlerdir.

Arbaoui ve diğ. (2014), pp bal peteği çekirdek ve kompozit yüzey malzemeli çok katmanlı sandviç panellerde 3 noktalı eğilme testi ile çekirdek yüksekliği ve ara katmanların mekanik özellikler üzerine etkisini incelemişlerdir. Çalışma kapsamında üç farklı yükseklikte (10, 20 ve 40mm) pp bal peteği çekirdek ve yüzey tabakası olarak 1mm kalınlığında, ara katman için de 0,05mm kalınlığında cam elyaf kompozit kullanarak sandviç paneller üretilmiştir. Eğilme testi sonucunda numunelerin kalınlığı arttıkça maksimum yükün büyüklüğünün arttığı ve yük-sehim grafiğinde eğrinin eğiminin de arttığı belirlenmiştir. 40 mm kalınlıktaki sandviç panelin maksimum yük miktarı 10mm kalınlıktaki sandviç panelin max yük miktarından yaklaşık %70 daha fazla bulunmuştur. Ayrıca, mekanik özelliklerin ara katman ve çekirdek kalınlığı arttıkça iyileştiği sonucuna varılmıştır.

Li ve diğ. (2013), oda sıcaklığı (23 °C) ve sıvı nitrojen sıcaklığı (-196°C) olmak üzere iki farklı sıcaklıkta üç nokta eğilme deneyinde meydana gelen hasarları incelemişlerdir. Bu çalışma kapsamında üç farklı yükseklikte (3, 6 ve 10mm) polyester çekirdek ve üst yüzey olarak cam elyaf kompozit kullanmışlardır. Çalışma sonucunda sıvı nitrojen sıcaklığında eğilme

mukavemeti deney sonuçlarının oda sıcaklığına göre daha yüksek çıktığını, en yüksek değerin de 10mm yükseklikteki çekirdeğe sahip sandviç panelden edildiğini ve çekirdek yüksekliği arttıkça eğilme mukavemeti değerinin arttığını tespit etmişlerdir.

Arslan ve Kaman (2002), yaptıkları çalışmada alüminyum folyo, polyester reçine emdirilmiş kâğıt ve cam elyaf kullanmışlardır. Kıvrılmış plakaların birleştirilmesi sonucu elde edilen petek yapılı hücrelerle, sandviç yapıların dolgu malzemesi oluşturulmuştur. Üretilen petek yapılı kompozitlerin basma ve çarpma yükleri altında maksimum dayanım, kırılma ve deformasyon değerleri ve enerji absorpsiyon özellikleri belirlenmiştir. Sabit hücre boyutlarında alüminyum petek yapılı panellerin 0,06, 0,10, 0,12 ve 0,18 mm et kalınlığında basma deneyi altında gerilme-şekil değişimleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; et kalınlığı fazla olan panellerin maksimum dayanım değerleri de daha yüksek bulunmuştur. Et kalınlığı sabit tutulup, hücre boyutu arttırıldığında ise aynı şekil değişimine daha düşük yüklemelerde ulaşıldığı gözlenmiştir. Çarpma sonucu numunelerin deformasyon miktarları (ortalama düşey çökmeler) ölçülmüş ve aynı hücre boyutuna sahip alüminyum panellerde, et kalınlığı arttıkça daha düşük çökmeler elde edilmiştir. Bu durumun dış yüke daha kalın bir kaburganın direnç göstermesinden kaynaklandığı ifade edilmiştir.

Crupi ve diğ. (2012), orta tabakası köpük ve bal peteği olan sandviç malzemenin statik ve düşük hız çarpma tepkisini karşılaştırmışlardır. Bu çalışmada, 3 mm hücre çapında, 0,05 mm hücre duvarı kalınlığında ve 6 mm hücre çapında 0,06 mm hücre duvarı kalınlığında alüminyum bal peteği ve alüminyum köpük sandviç panel kullanmışlardır. Numunelerin göstermiş olduğu çökme direncinin; çarpma aparatının burun geometrisi, bal peteklerin hücre çapı, numunelerin yüzey kaplaması ve yüzey ile çekirdeğin yapışması gibi birçok faktörden etkilendiğini belirtmişlerdir. Bükülme yüklemesi altında enerji dağıtım kapasitesinin ise çökme mekanizması, yüzey ile çekirdeğin yapıştırılması ve bal petekli panellerin hücre çaplarından etkilendiğini belirtmişlerdir.

Akkuş ve diğ. (2016) yaptıkları çalışmada, başta savunma ve havacılık sanayi olmak üzere hafiflik ile enerji absorbe etme yeteneğinden dolayı tercih edilen alüminyum bal peteği yapıların darbe davranışlarını incelemişlerdir. Çalışmada saf epoksi ve epoksi içerisine %1 çok duvarlı karbon nanotüp takviye edilerek elde edilen yapıştırıcı ile bal peteği yapılı kompozitler farklı hücre genişliği ve farklı yükseklikte yapıştırılarak darbe deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Çalışma sonucunda bal peteği kompozit yapılarda hücre genişliği azaldıkça, hücre yüksekliği arttıkça ve karbon tüp ilavesiyle kuvvet değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir.

Gilioli ve diğ. (2014), nomex bal peteği çekirdekli orta tabaka ve alüminyum kaplı sandviç panellerin çarpma testi sonucu yapısal bütünlüklerindeki değişimi araştırmışlardır. Bu çalışmada üst yüzey için 1 mm ve 1,5 mm kalınlığında alüminyum levha ve orta tabakada 20 mm ve 19 mm yükseklikte aramid elyaf takviyeli kâğıttan imal edilmiş pal peteği dolgu malzemesi kullanılmıştır. Sandviç levhaların toplam kalınlığı 22 mm olacak şekilde üretilmiştir. Çalışma sonucunda üst yüzeyde kullanılan levhanın kalınlığının artırılmasının daha fazla bükülme direncine sahip daha sert bir yapı oluşturduğu ve daha yüksek bir basınç dayanımına neden olduğu tespit edilmiştir. Bu uygulamanın sandviç levhanın ağırlığını artırması dezavantaj olarak belirtilmiştir. Bununla birlikte, darbe enerjisi ile ilgili olarak çarpma hasarının, darbeye bağlı enerjinin bir fonksiyonu olarak arttığını ve 1,5mm üst yüzey levha kalınlığına sahip sandviç panellerin maksimum etki enerjisinin daha fazla olduğunu belirtmişlerdir.

Reddy ve diğ. (2014) yaptıkları çalışmada, ipek-pamuk ahşap kaplamalar ve alüminyum petek çekirdekten oluşan hücresel sandviç panellerin tepki ve enerji yutma kapasitesini yarı statik ve düşük hızlı darbe yüklemesi altında incelemişlerdir. Bu çalışma için iki tip ayrı levha üretmişlerdir. Birinci levha, taneleri yükleme eksenine yönüne paralel ve ikinci levha ise ahşap taneleri yükleme yönüne dik olarak yönlendirilmiş ipek-pamuklu ahşap kaplama plakalıdır. Her iki durumda alüminyum petek çekirdeğin hücre eksenine, yükleme yönüne paraleldir. Farklı darbe hızlarında yapılan dinamik kırma testleri, bal peteği çekirdekli malzemenin enerji absorpsiyon kapasitesinin, darbe hızının artmasıyla arttığını göstermiştir. Ayrıca bal peteği çekirdekli malzemelerin dinamik yükleme koşullarında enerji absorpsiyon kapasitesinin, yarı-statik yükleme koşulları ile karşılaştırıldığında arttığını tespit etmişlerdir.

Wang ve diğ. (2016) yaptıkları çalışmada, orta hız darbelerine maruz kaldıklarında farklı çekirdek malzemeli sandviç panellerin dinamik tepkisini karşılaştırmışlardır. Bu çalışma kapsamında, yüzeyi alüminyum levha kaplaması ve beş farklı çekirdekli (düşük yoğunlukta balsa, yüksek yoğunlukta balsa, mantar, pp petek ve polistiren köpük) sandviç paneller üretmişlerdir. Bütün sandviç panellerde 43J, 85J ve 120 J'lük çarpma enerjisi altında testler yapmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda sandviç panellerin darbe deformasyonunda, enerji absorpsiyonunda, hasar mekanizmasında ve nüfus direncinde çekirdek malzemesinin çok

önemli olduğunu bulmuşlardır. Enerji absorpsiyonu ve nüfuz direnci bakımında polistiren çekirdekli sandviç panelin daha iyi özellik gösterdiği, pp bal peteği çekirdekli sandviç panelin performans kriteri olarak minimum arka yüz deformasyonu gösterdiği tespit edilmiştir.

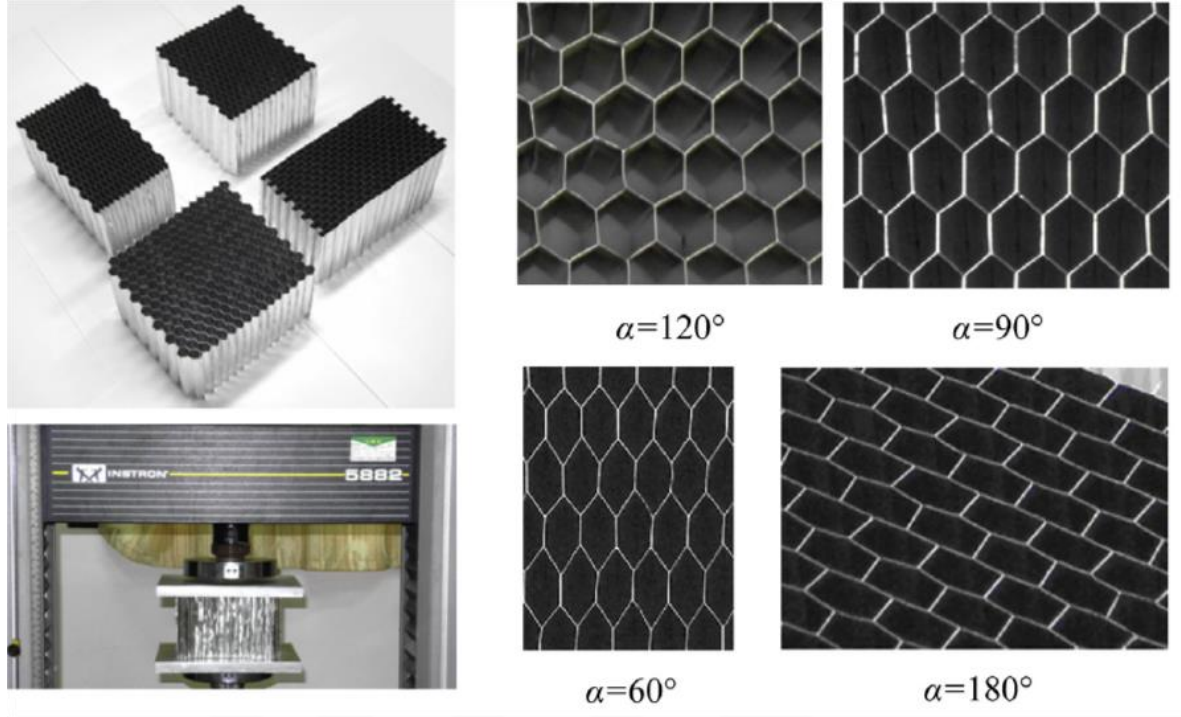
Crupi ve diğ. (2011), yaptıkları çalışmada farklı tür kompozitlerin düşük hızda darbe tepkisinin analizini yaparak oluşan çökme hasarını incelemişlerdir. Cam elyaf lamine kompozit, pvc çekirdekli sandviç, alüminyum köpük çekirdekli sandviç paneller ve alüminyum bal peteği çekirdekli sandviç paneller üzerinde 7 kg'lık darbe topu ile farklı çarpma enerjisinde (56J'den 284J'e kadar) ve farklı darbe hızlarında (4 m/s'den 9 m/s'ye kadar) deneyler gerçekleştirmişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda en yüksek darbe enerjisini yaklaşık 260 J ile PVC çekirdekli sandviç panel gösterirken, en düşük darbe enerjisini yaklaşık 115 J ile alüminyum bal petek çekirdekli sandviç panelin gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Crupi ve diğ. (2012) yaptıkları çalışmada, farklı hücre boyutuna sahip iki alüminyum petek sandviç yapı tipolojisinin statik eğilme ve düşük hızda darbe tepkisinin analizini incelemişlerdir. Çalışma kapsamında 1mm kalınlıkta alüminyum plaka yüzey kaplaması ve iki farklı alüminyum bal peteği çekirdekten üretilmiş (1- Al bal peteği çekirdek; hücre çapı 3 mm, et kalınlığı 0.05 mm ve yoğunluğu 130 kg/m³, 2- Al bal peteği çekirdek; hücre çapı 6 mm, et kalınlığı 0.06 mm ve yoğunluğu 80 kg/m³) sandviç paneller üzerinde deneyler yapılmıştır. Statik eğilme mukavemet değerlerine, bal peteği hücrelerinin boyutlarının önemli bir etkisi olduğunu, hücre çapı küçük olan alüminyum bal peteğinden elde edilmiş sandviç panellerin daha yüksek mukavemet gösterdiğini tespit etmişlerdir. Darbe dayanımı test sonuçlarına göre de sandviçlerin tamamen kırılmasını sağlamak için gereken enerji miktarı, hücre çapı 3 mm olan sandviç paneller için 128 J ve hücre çapı 6 mm olan sandviç paneller için 116 J olarak bulunmuştur.

Crupi ve diğ. (2016), alüminyum bal peteği çekirdekli ve yüzeyi cam elyaf-epoksi olan sandviç paneller üzerinde eğilme ve düşük hızda darbe deneyleri yapmışlardır. Çalışmada 1mm kalınlıkta alüminyum plaka üzerine 1.5 mm kalınlıkta cam elyaf-epoksi yüzey kaplaması ve iki farklı alüminyum bal peteği çekirdekten (1- Al bal peteği çekirdek; hücre çapı 3mm, et kalınlığı 0.05 mm ve yoğunluğu 130 kg/m³, 2- Al bal peteği çekirdek; hücre çapı 6mm, et kalınlığı 0.06 mm ve yoğunluğu 80 kg/m³) üretilmiş sandviç paneller üzerinde deneyler yapılmıştır. Statik üç noktalı eğilme deneyi içinde dört farklı mesnet mesafesinde (55,70,85 ve 125mm) yapılan deneyler sonucunda, mesnetler arası mesafenin artması ile maksimum yük miktarının

azaldığını, 3 mm hücre çapı olan alüminyum çekirdekli sandviç panelin 6 mm hücre çapı olan sandviç panele göre en düşük mesnet aralığında yaklaşık %80 oranında daha yüksek mukavemet gösterdiğini tespit etmişlerdir. Darbe dayanımı test sonuçlarına göre de sandviçlerin tamamen kırılmasını sağlamak için gereken enerji miktarı, hücre çapı 3 mm olan sandviç paneller için 285 J ve hücre çapı 6 mm olan sandviç paneller için 300 J olarak bulunmuştur. Yüzeyi cam elyaf-epoksi ile güçlendirilmiş alüminyum bal peteği sandviçlerin enerji emilim miktarının oldukça yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Zhang ve diğ. (2013) yaptıkları çalışmada farklı hücre konfigürasyonuna sahip alüminyum peteklerin ezilme direncini basma deneyi ile incelemişlerdir. Bunun için şekil 1.4'te görüldüğü üzere 0,075 mm et kalınlığında merkez hücre çapı 60, 90, 120 and 180° olan alüminyum petekleri deneye tabi tutmuşlardır. Sonuç olarak; hücre sayısının ezilme direnci üzerinde anlamlı bir etkisinin olduğunu ve hücre çapının ezilme direncine etkisinin ise %10'un altında olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca hücre et kalınlığının artmasının ezilme direncini de artırdığı sonucuna varmışlardır.



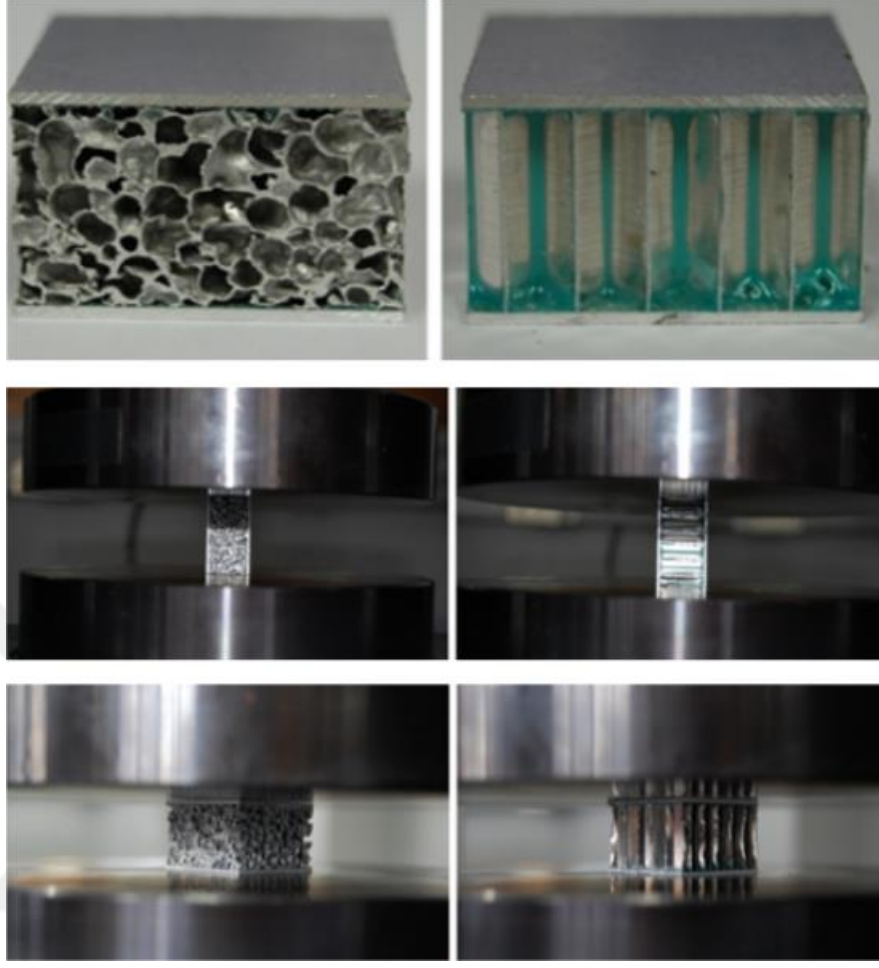
Şekil 1.4 Farklı hücre konfigürasyonları olan Al bal petekleri ve basma deney görüntüsü (Zhang ve diğ., 2013)

Khoshravan ve Pour (2014) yaptıkları çalışmada bal peteği geometrisinin basma yüküne etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada hücre boyutu 17,32 mm, çekirdek et kalınlığı 0,074 mm ve hücre yüksekliği 26 mm olan alüminyum çekirdek kullanmışlardır. Yapılan basma deneyi sonucunda bal peteğinin hücre boyutunun artması ile basma mukavemetinin azaldığını belirtmişlerdir. Ayrıca yaptıkları sayısal analize göre hücre boyutundaki %30 azalışın basma mukavemeti üzerine etkisinin %73 artış olarak yansıdığını, hücre boyutundaki %30 artışın ise basma mukavemeti üzerine %31 azalış olarak yansıdığını belirtmişlerdir. Hücre duvarındaki %35 artışın basma mukavemeti değerini %61 artırdığı, hücre duvarındaki %32 azalışın ise basma mukavemeti değerini %43 azalttığı tespit edilmiştir.

Takagi ve He (2017) tarafından yapılan çalışmada bal peteği yapıların hücre et kalınlığı, hücre boyutu, hücre yüksekliği ve numune boyutu gibi parametreleri kullanılarak basma mukavemetleri incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında yüzey malzemesi olarak 1 mm kalınlığında karbon lif takviyeli plastik laminat levha kullanılmıştır. Çekirdek malzemesi olarak ta hücre et kalınlığı 0,076 mm ve 0,025 mm olan ve hücre boyutu 3,17 mm, 4,76 mm ve 6,35 mm ve yüksekliği 20 mm ve 30 mm olan bal peteği kullanılarak 12 ayrı sandviç levha üretilmiştir. Yapılan basma deneyleri sonucunda bal peteği hücre et kalınlığı, hücre boyutu ve

hücre yüksekliğinin mukavemet değerlerini etkilediği tespit edilmiştir. Hücre et kalınlığının artması, hücre boyutunun azalması ve hücre yüksekliğinin artmasının basma yük değerini artırdığı bulunmuştur. Bal peteği yapısının sıkıştırma yüküne bağlı burkulma davranışının, daha küçük hücre boyutu ile stabilize edilebildiği belirtilmiştir. Büyük hücre boyutundaki petek çekirdekli kompozit panellerin, yerel darbe boyutları ne olursa olsun, sıkıştırma yükü altında kararsız burkulma davranışı gösterebildiği sonucuna varılmıştır.

Bang ve Cho (2015) yaptıkları çalışmada, sandviç panel üzerine basma mukavemetinin etkisini deneysel ve sonlu eleman analizi ile incelemişlerdir. Bu çalışmada bal peteği sandviç için hücre boyutu 6,35mm, duvar kalınlığı 0,05mm ve yüksekliği 18mm olan bal peteği kullanmışlardır. Sandviç panel içinde 18mm yükseklikte alüminyum köpük ve üst yüzeyler için 1mm kalınlıkta alüminyum levha kullanmışlardır. Üretilen sandviç paneller üzerinde şekil 1.5’de görseli verilen düzlem içi ve düzlem dışı basma deneyleri yapmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda; yük destek kapasitesi göz önüne alındığında bal peteği sandviçin, alüminyum köpük sandviçten az da olsa daha iyi basınç mukavemeti özelliğine sahip olduğu, düzlem dışı basma deneyinde alüminyum bal peteğinin, alüminyum köpükten iki kat daha fazla maksimum basınç yüküne sahip olduğu bulunmuştur. Ayrıca sandviç kompozitlerin sonlu eleman analizi sonuçlarında, yük-deplasman eğrilerinin deneylerle benzer olduğunu gözlemlemişlerdir.

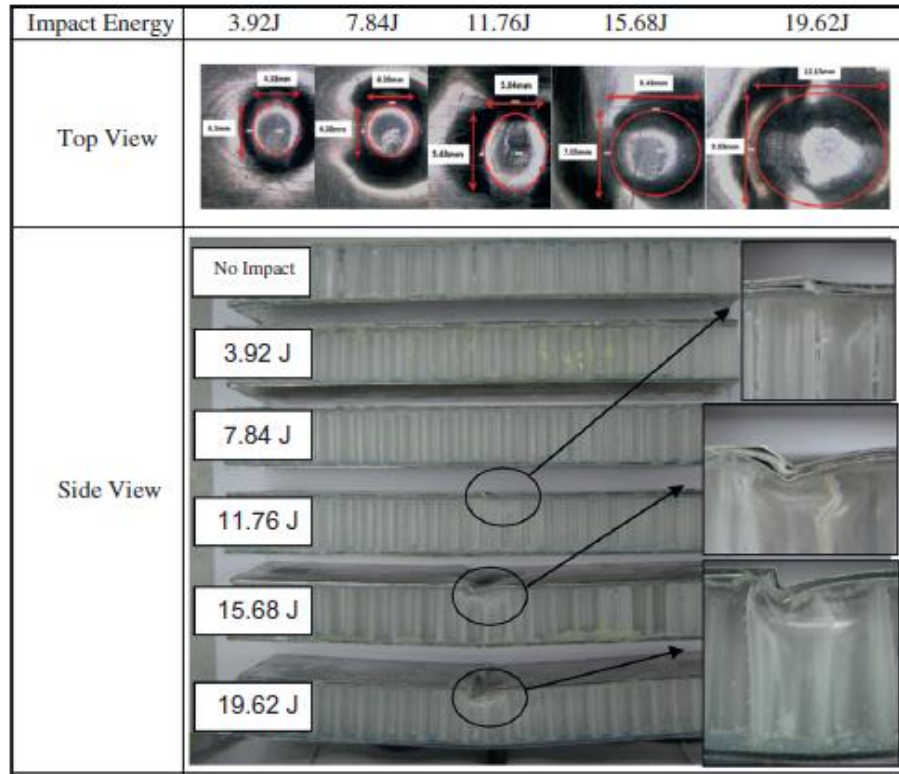


Şekil 1.5 Al köpük (solda) ve Al bal peteği numunesi (sağda) ve basma deneyi görseli (Bang ve Cho, 2015)

Liu ve diğ. (2014) yaptıkları çalışmada nomex petek çekirdeklerin enine yükleme altında göstermiş oldukları mekanik tepkiyi deneysel ve sayısal (sonlu eleman modeli) çalışma ile incelemişlerdir. Bu çalışmada iki farklı tipte nomex çekirdek kullanmışlardır. İlkinde 50mm genişlikte, 50mm uzunlukta, 20 mm yükseklikte ve 3,2 mm hücre boyutunda, ikincisinde ise 50mm genişlikte, 50mm uzunlukta, 14 mm yükseklikte ve 3,2mm hücre boyutunda çekirdek ile 0.188mm kalınlığında karbon elyaf kumaş yüzey malzemesi kullanarak sandviç levha üretmişlerdir. Bu numuneler üzerine basınç mukavemeti uyguladıklarında, farklı yükseklikte çekirdekten üretilen sandviç panellerin çökme mukavemeti ve çökme gerilmesinin aynı olduğunu tespit etmişlerdir. Basınç mukavemetini yük-sehim grafiğinde incelediklerinde deneysel sonuç ile sonlu eleman modeli sonucunun birbiri ile örtüştüğünü belirlemişlerdir.

Tan ve diğ. (2012) yaptıkları çalışmada PP bal peteği çekirdekli ve yüzeyinde alüminyum laminat kullanarak ürettikleri sandviç levhalar üzerinde çarpma etkisini incelemişlerdir. Bu

çalışma kapsamında çekirdek malzeme olarak 8mm hücre genişliğinde, 20mm hücre yüksekliğinde ve 56,1 kg/m³ yoğunluğunda pp bal peteği ve yüzey malzemesi olarak 1,5mm kalınlığında alüminyum laminat plaka kullanmışlardır. Deney düzeneği, 2,1 kg ağırlığında ve 25mm çapında bilyenin en fazla 1m yüksekliğe kadar 5 ayrı yükseklikten bırakıldığı, ayarlanabilir serbest düşme aparatından meydana gelmektedir. Yapılan test sonucunda çarpma enerjisini hesaplayarak hasar karşılaştırması yapmışlardır. Şekil 1.6'da görüldüğü gibi, çarpma enerjisinin artmasının hasar alanında da artışa neden olduğunu tespit etmişlerdir. 8 J darbe enerjisi altında meydana gelen hasar alanı daha yüksek darbe enerjilerinin yaptıkları hasarla karşılaştırıldığı zaman hasar miktarının daha az olduğu görülmüştür. Darbe hasarı eşik enerjisinin 7,84 J ila 11,76 J arasında olabileceğini, numuneler de meydana gelen yüzeysel ve yapısal hasarın bu aralıklarda meydana gelmeye başladığını belirtmişlerdir.

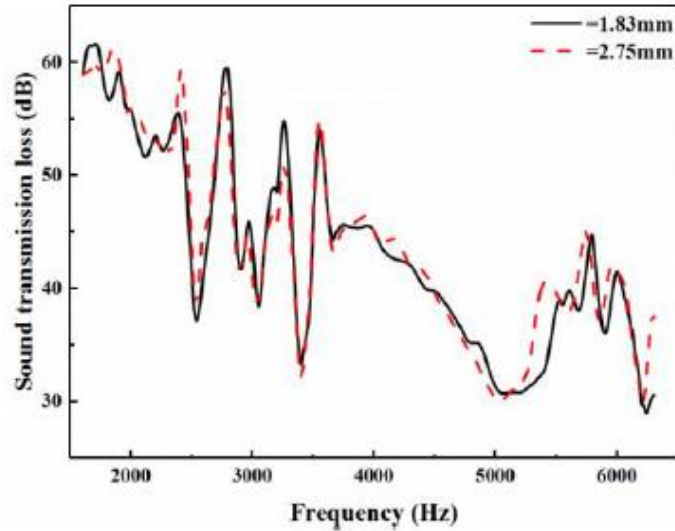


Şekil 1.6 Farklı çarpma enerjisi altında meydana gelen hasar görselleri (Tan ve diğ., 2012)

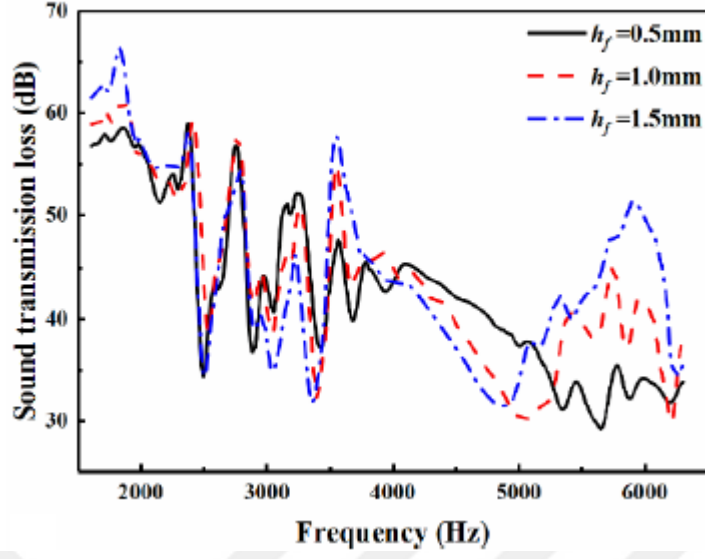
Aslan ve diğ. (2018) yaptıkları çalışmada üç farklı yüzey ve iki farklı çekirdek malzemeleri ile üretilen sandviç panellerin ısı iletkenlik değerlerini araştırmışlardır. Bu çalışma kapsamında yüzey malzemesi olarak kızılâğaç, huş ve sarıçam kaplamaları çekirdek malzemesi olarak da alüminyum ve PP bal peteği kullanmışlardır. Çalışma sonucunda, yüzeyi kızılâğaç ve sarıçam

kaplamalı sandviç panellerin ısı iletkenlik değerlerinin, yoğunluk değerlerine benzer şekilde yüzeyi huş kaplama olan sandviç panellere göre daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Alüminyum çekirdekli sandviç panellerin ısı iletkenlik değerlerinin PP çekirdekli sandviç panellere göre daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca çekirdek malzemesi olarak alüminyum ve PP bal beteği, yüzey malzemesi olarak kızılâğaç, huş ve sarıçam kaplamalı sandviç panellerin alternatif bir yalıtım malzemesi olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

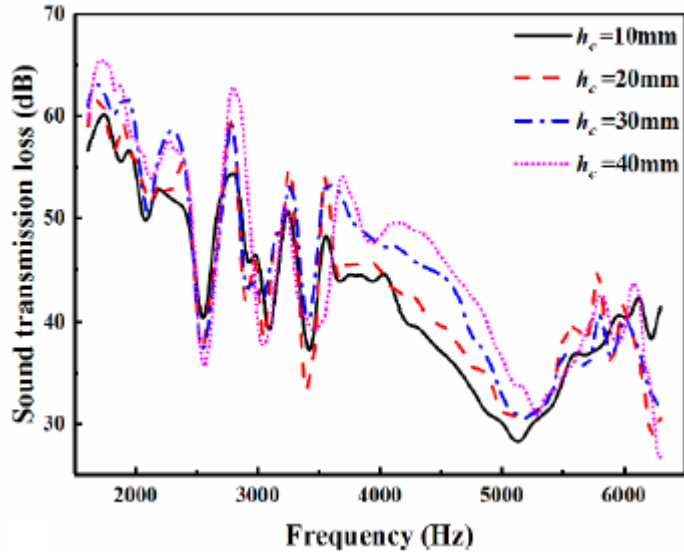
Wang ve diğ. (2020) yaptıkları çalışmada nomex bal petekli sandviç panellerin empedans tüpü ile ses iletim kaybını incelemişlerdir. Bu çalışma kapsamında iki farklı çekirdek boyutunda (1,83 mm ve 2,75 mm), dört farklı hücre yüksekliğinde (10 mm, 20 mm, 30 mm ve 40 mm), 0,07 mm hücre et kalınlığında nomex bal peteği çekirdek malzeme ve yüzey malzemesi olarak üç farklı kalınlıkta (0,5 mm, 1 mm ve 1,5 mm) alüminyum alaşımlı levha kullanmışlardır. Çalışma sonucunda, Şekil 1.7’de görüldüğü üzere iki farklı hücre boyutundaki bal peteği sandviç levhaların her frekansta benzer ses iletim kaybı eğrisi gösterdiğini tespit etmişlerdir. Bal peteği hücre boyutunun ses iletim kaybı değeri üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığı sonucuna varılmıştır. Buna karşın sandviç levhada kullanılan yüzey malzeme kalınlığının ve bal peteği çekirdek yüksekliğinin ses iletim kaybı üzerine önemli etkisinin olduğu, yüzey malzemesi kalınlığı arttıkça (Şekil 1.8) ve çekirdek yüksekliği arttıkça (Şekil 1.9) ses iletim kaybının da arttığı bulunmuştur.



Şekil 1.7 Farklı çekirdek boyutlarındaki sandviç levhaların ses iletim kaybı grafik görseli (Wang ve diğ., 2020)



Şekil 1.8 Farklı yüzey kalınlığındaki sandviç levhaların ses iletim kaybı grafik görseli (Wang ve diğ., 2020)



Şekil 1.9 Farklı çekirdek yüksekliğindeki sandviç levhaların ses iletim kaybı grafik görseli (Wand ve diğ., 2020)

Kaya ve Dalgıç (2017), petrol ve mineral kökenli malzemelerin çevreye ve insan sağlığına zarar vermesine rağmen gürültüyü önlemede bu malzemelerden elde edilen ürünlerin yaygın bir şekilde kullanıldığını, bu zararlı etkileri göz önüne alındığında, bu kimyasal malzemelere alternatif olarak sürdürülebilir yeni malzemelerin bulunması ve geliştirilmesinin zorunluluk haline geldiğini ifade etmektedirler. Odun, kenevir gibi doğal lifler ses yalıtımı açısından

değerlendirildiğinde yenilenebilir, ucuz, yerli, bol, çevre dostu olması nedeniyle büyük bir avantaj sağladıkları belirtilmiştir.

Arunkumar ve diğ. (2016) yaptıkları çalışmada sandviç panellerin akustik özellikleri üzerine çekirdek malzeme geometrisinin etkisini incelemişlerdir. Bu çalışma kapsamında üç farklı çekirdek tipi (bal peteği, köpük kafes ve Z çekirdek) ile yüzey malzemesi olarak üç farklı kalınlıkta (0,5mm, 1,5 mm ve 2 mm) alüminyum, titanyum ve karbon epoksi levha kullanmışlardır. Çekirdek malzemesi olarak kullanılan bal peteği de üç farklı yükseklikte (10 mm, 15 mm ve 20 mm), üç farklı hücre boyutunda (2 mm, 3 mm ve 4 mm) ve 0,04 mm hücre et kalınlığında seçilmiştir. Bal peteği çekirdekli sandviç paneller için, çekirdek yüksekliğinin azalması ve yüzey kalınlığının artması ile daha iyi akustik konforun elde edildiği ifade edilmiştir. Ayrıca hücre boyutunun akustik tepkiye etkisi olmadığı tespit edilmiştir.

Moheb ve diğ. (2020) yaptıkları çalışmada, sandviç yapıların birçok uygulamada daha fazla yorulma mukavemeti ve iyi akustik ve termal izolasyon özelliği gösterdiğini belirtmişlerdir. Ayrıca bal peteği çekirdeklerinin ezme kuvveti, sertliği ve neme karşı güçlü toleransları nedeniyle köpük veya ahşap kompozit sandviç yapılara göre birçok avantajı olduğunu ifade etmişlerdir.

Kinnane ve diğ. (2016) yaptıkları çalışmada beton içerisine kenevir ekleyerek 0-2000 Hz frekans aralığında ses absorpsiyonunu incelemişlerdir. Kenevir ilavesinin test edilen frekans aralığında normal gelen sinyalin ortalama %40-50'si kadar ortalama ses absorpsiyonu ile önemli akustik absorpsiyon sergilediğini tespit etmişlerdir. Ayrıca kenevir betonu kullanılarak inşa edilen binalar ve odalarda, yüksek ses emici yüzeylerin açığa çıktığını ve dolayısıyla düşük yankılanma süreleri ile ilave akustik işlemlere ihtiyacın azalmasına olanak tanıdığını belirtmişlerdir.

Dragonetti ve diğ. (2020) çevre kirliliği konusunda artan farkındalık ve petrol kaynaklarının tükenmesi nedeniyle, kompozit sistemlerin bertarafı ve geri dönüşümü gibi kullanımıyla ilgili doğal sorunlar ve bazı hammaddelerin kullanımıyla ilişkili sağlık sorunları için yeni yasal kurallar ile küresel ölçekte çevre sorunları ile mücadele edildiğini belirtmiştir. Bu hususlara dayanarak, yeni nesil kompozit sistemlerin, enerji kaynaklarının ve malzemelerin daha verimli bir şekilde kullanılmasıyla çevresel etkiyi en aza indirmesi ve mümkün olduğunca sentetik veya petrol malzemelerini doğal olanlar gibi daha sürdürülebilir bileşenlerle değiştirmesi

gerekeceğini bildirmişlerdir. Ayrıca, enerji kaynaklarının ve malzemelerinin daha verimli kullanılması, atık yönetiminin ve biyo bazlı ürünlerin ve verimli teknolojilerin kullanılması yoluyla çevreye daha az etkisi olan yeni ürünlerin kullanımını teşvik eden kuralların ve yasaların oluşmasına katkı sağlayacağını bildirmiştir. |



2. GENEL KISIMLAR

2.1.KOMPOZİT MALZEMELER

Kompozit malzemenin genel tanımı, iki veya daha fazla malzemenin birleşmesiyle daha iyi niteliklere sahip bir malzemenin meydana getirilmesidir (Sanjay, 2002). Kompozitlerin avantajı, genellikle bileşenlerin en iyi özelliklerini ve her iki bileşenin de sahip olmadığı bazı özellikleri sergilemeleridir (Robert, 1975). Tipik sandviç kompozitler; iki ince, hafif ve mukavemeti yüksek yüzey tabakası ile mukavemeti zayıf, hafif ve kalın çekirdek malzemeden oluşmaktadır (Arbaoui ve diğ. 2009). Kompozit malzemenin geliştirilebilir özellikleri; mukavemet, sertlik, korozyona karşı direnç, aşınma direnci, çekicilik, ağırlık, yıpranma, ısı ve akustik yalıtımı, termal iletkenlik olarak belirtilmektedir (Robert, 1975).

Kompozit malzemeler günümüz şartlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Yeni malzemelerin ortaya çıkması, üretim teknikleri ve yeni uygulama alanları vb. ile kompozit malzemeler farklı mühendislik disiplinlerinde en cazip araştırma alanlarından biri haline gelmiştir. Pek çok mühendislik alanında olduğu gibi, konvansiyonel malzemelerden üretilmesi güç olan jenerik uygulamalar, çözümlenebilir yöntemler ve geometrilerin ön planda olduğu alanlarda karşımıza çıkmaktadırlar. Malzemenin artan karmaşıklığına rağmen hemen hemen her durumda analitik kullanımına olanak sağlamakta, mukavemet beklentisini karşılamakta ve yeni ürün gelişimi için temel oluşturmaktadır (Aydıncak, 2007).

Günümüzde, teknolojinin hızlı gelişmesi ve bundan dolayı çeşitlenen, artan ihtiyaçları karşılamak, yeni teknolojilerle insan hayatını kolaylaştırmak amacı ile açığa çıkan malzeme ihtiyacına cevap verebilmek ve istenen özelliklerde malzeme temini daha çok önem kazanmaktadır (Danacıoğlu, 2013). Kullanılmakta olan mevcut malzemelerin ihtiyaçları karşılamakta yetersiz kalması bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Meydana gelen bu problemlerin, doğada var olan maddelerin farklı disiplinlerdeki mühendisliklerin ortak çalışmasıyla fiziksel veya kimyasal olarak birleştirilmesiyle çözüme kavuşturulması olanağı sözkonusudur. Kompozit malzemeler, bu birleşimlerin sonucu ortaya çıkan malzemelerdir (Sönmez, 2017). Uzun teknolojilerden otomotiv sektörüne, küçük ev aletlerinden inşaat uygulamalarına ve spor aletlerinden gemi yapımına kadar pek çok alanda kompozit malzemelerin kullanımı hızla artmaktadır. Son yıllarda kompozit malzemelerin üretimi çeşitlilik kazanmış ve bütün endüstriyel alanlarda kendine yer bulmuş olup ihtiyaçları

karşılama adına en optimum malzeme esasına dayanan, farklı materyaller kullanılarak farklı ihtiyaçlara hitap eden yeni kompozit malzemeler piyasada hızla yerini almaktadır (Danacıoğlu, 2013).

Yeni yapısal malzeme teknolojileri, 1990'larda ve sonrasında ABD imalat sanayisinin küresel rekabet gücünde belirleyici bir faktör olmuştur. Bugün örneğin, malzeme maliyetinin yüzde 30 ila 50'sini üretim oluşturmaktadır. Toplam üretim maliyetlerini düşürebilecek ve performansı artırabilecek yeni kompozit malzemelerin uçak, otomobil, endüstriyel makine ve spor malzemeleri dahil olmak üzere birçok üründe rekabet avantajı sağlaması mümkündür (Advanced materials, 1988). Davies (2001), bu rekabetin içerisinde farklı üretim alanlarında kompozit malzemelere giderek artan talebin başlıca önemli sebeplerini şu şekilde sıralamıştır:

- Düşük ağırlığa sahip olmasına rağmen yüksek yük taşıma kapasitesinin olması,
- Mükemmel ve dayanıklı ısı yalıtımı özelliğinin olması,
- Mutlak su ve buhar bariyeri özelliğinin olması,
- Çok iyi hava sızdırmazlığı özelliğinin olması,
- Hava koşullarına ve agresif ortamlara karşı direnç sağlayan yüzey kaplamaları olması,
- Hafifliğinden dolayı hızlı ve kolay montaj özelliğine sahip olması,
- Hasar durumunda kolay tamir ve değiştirme olanağına sahip olması,
- Yüksek kalitede seri üretim imkânı sağlaması,
- Düşük bakım maliyetlerinde uzun ömürlü kullanım imkânı sunması.

Hadi (2006)'ye göre kompozit malzemelerin en belirgin dezavantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Kompozit malzemeyi oluşturan bileşenlerin olumsuz yönlerini de ana malzemeye yansıtması,
- Kompozit malzemelerde geri dönüşüm maliyetlerinin yüksek olması.

Kompozit malzemelerin uygulama alanı çok geniştir. Ana uygulama alanlarından bazıları aşağıda listelenmiştir (Gay ve diğ. 2003, Eryıldız ve Eker 2015, Özkan ve diğ. 2016);

- Elektrik elektronik sanayi,
- İnşaat ve mimari uygulama alanları,
- Karayolu taşımacılığı,

- Raylı ulaşım,
- Yat ve deniz taşımacılığı,
- Hava ve uzay taşımacılığı,
- Genel mekanik uygulama alanları,
- Spor malzemeleri,
- Tıp ve protez uygulamaları,
- Savunma sanayi.

Taşıdıkları karakteristik özellikleri ile diğer malzemelere göre birçok avantajları bulunan kompozit malzemeler, birçok özelliklerinden dolayı tercih edilmektedir. En önemli özellikleri uzun ömürleri, hafiflikleri ve yüksek mekanik dayanımı olarak sıralanabilir (Sönmez, 2017).

2.2.AHŞAP KOMPOZİT MALZEMELER

Kompozitler, insan yapımı olabildiği gibi doğal olarak ta bulunmaktadır (Campbell, 2010). Ahşap, iyi mukavemet ve sertliğe sahip bir polimer türü olan selüloz lifleri ile başka bir polimer olan polisakkarit ligninin reçineli matrisinden oluşan doğal bir kompozit malzemedir (Harris 1999, Campbell 2010).

Geleneksel ahşap esaslı kompozitler, diğer katkı maddelerinin sadece birkaç yüzdelik ilavesi ile ağırlıklı olarak ahşaptan imal edilmiş ürünlerdir. Konvansiyonel odun bazlı kompozitleri özgül ağırlık, yoğunluk, hammadde ve işleme yöntemlerine göre sınıflandırmak kullanışlı bir yol olmuştur. Bu ticari ahşap kompozit ürünlerinin en karmaşık üretim aşamalarını araştırmak ve günümüzün ihtiyaçlarını karşılayabilecek yüksek teknolojiyle birlikte yoğunluk, mukavemet değerleri ve genel işleme hususlarının nasıl iyileştirilebileceği sorunsalı canlı bir süreç olarak devam etmektedir (WHB, 2010).

Günümüzde orman alanlarındaki azalma, hammadde kaynaklarının hızla tükenmesi ve ihtiyaçların farklılık göstermesi nedeniyle bilim adamları ve endüstri kuruluşları sürekli arayışlar içerisinde. Kullanım yerindeki performansında herhangi bir azalma olmaksızın daha az hammadde kullanmak suretiyle insan hayatını kolaylaştıran yeni ürünlerin üretilmesi önem kazanmıştır. Son yüzyılda bu bakımdan kontrplak, yonga levha, lif levha, oriented strand board (OSB), laminated veneer lumber (LVL), parallel strand lumber (PSL) vb. ahşap kompozit malzemeler geliştirilmiş ve endüstride üreilmeye başlanmıştır (Candan, 2012).

Günümüzde orman kaynaklarının, etkin bir orman yönetim sistemi geliştirilemediği için hızla azalmaya devam etmesi, akaryakıt fiyatlarının artması nedeniyle taşıma maliyetlerinin yükselmesi, bilim ve teknolojinin her geçen gün hızla gelişimi, tüketicinin farklı kullanım yerine göre farklı performans istekleri, araştırmalar sonucu üretilen yeni ürünler ile piyasadaki rekabet artmıştır. Bu nedenlerden dolayı üreticiler, tüketicinin taleplerini karşılayabilmek için yeni ürün arayışlarına yönelmişlerdir. Bu arayış, yukarıda isimleri belirtilen geleneksel ahşap kompozit malzemelere alternatif olarak yeni nesil ahşap kompozit bir malzeme olan ahşap sandviç levhaların da içinde olduğu yeni malzemelerin doğuşuna sebep olmuştur. Yeni nesil ahşap kompozit malzemelerin her geçen gün kullanım alanının genişlemesi hem performans olarak hem de sürdürülebilir bir ürün olarak önem kazanmıştır (Candan, 2012).

Ahşap esaslı kompozitler, lif levhadan lamine kirişlere kadar bir dizi ürünü kapsamaktadır. Ahşap esaslı kompozit malzemeler, iç mekan kaplama amaçlı panellerden dış mekan kullanımları için kaplama panelleri ve binalarda mobilya ve destek yapılarına kadar çeşitli ürün gruplarında bir dizi yapısal olmayan ve yapısal uygulamalar için kullanılır. (WHB, 2010).

2.3.BAL PETEKLİ SANDVİÇ YAPILI LEVHALAR

Sandviç kompozit ürünler, genel olarak hafif yapıdaki bir orta çekirdek elemanının her iki yüzeyine birer yüzey malzemesi yapıştırılması ile elde edilen kompozit bir malzeme olarak tanımlanabilir (Paik ve diğ. 1999).

Ahşap sandviç levhalar; “kâğıt – alüminyum – plastik petek ve köpük gibi malzemelerin iki yüzeyine ahşap kaplama, laminat, kontrplak, yongalevha, MDF, OSB gibi ahşap levha ürünleri veya alüminyum, metal malzemeler ve fiberglas gibi malzemelerin yapıştırılması ile elde edilen bir kompozit malzemedir” (Candan, 2012).

Bilim insanları, aynı miktarda malzeme ile çeşitli geometrik şekiller ile yaptıkları çalışmalarda, doğal bal peteği şeklinin en az malzeme ile maksimum hacmi ve en iyi sertliği sağlayabildiğini keşfetmişlerdir. Ayrıca alüminyum bal peteği ile diğer metal panellerin birleştirilmesiyle elde edilen sandviç panellerin, hafif olması ve yüksek sertliği nedeniyle akademik çevrelerin araştırma yapmak için odak noktası haline geldiği bir gerçektir. Petek ve altıgen ağ yapısının sürekli çoklu duvar düzenlemesi, dış kuvveti her yönde dağıttığı için petek yapının basma direnci diğer şekillere göre çok daha fazladır ve bundan dolayı da alüminyum petek çekirdekli alüminyum petek sandviç panel geliştirilmiştir (Cheng ve diğ. 2015).

Temel olarak, bal peteği sandviç yapı paneli, yüzey tabakaları, yapışkan bağlar ve bir çekirdekten ibaret olan üç katmandan oluşur. Cephe levhaları, fiber takviyeli plastikler veya çelik ve alüminyum bileşimi gibi yüksek Young modülüne sahip malzemelerden yapılmalıdır. Çekirdek olarak bilinen sandviç yapının orta kısmı köpük, kâğıt dolgu gibi homojen bir malzeme veya bal peteği dokulu çekirdekler olarak tasarlanabilir. Bu homojen çekirdekler esas olarak düşük maliyetli ve düşük gerilimli kısımlarda kullanılırken, diğer yandan bal peteği gibi dokusal çekirdekler kısmen kütle ile ilgili en yüksek gereksinimleri sağlayabilmektedir (Domb ve diğ. 2018).

Sandviç kompozit yapılar çok yüksek bir elastikiyet modülü- ağırlık oranı sunar. Bir sandviç kompozit panel, hafif bir bal peteği veya köpük çekirdek ve bunlara bağlanmış yüksek mukavemetli kompozit kaplamalardan oluşur. Bir sandviç panel, önemli bir ağırlık eklemekten yapının eğilme rijitliğini artırır. Ayrıca petek/köpük çekirdek kalınlığındaki bir artış, panelin minimum ağırlık ilavesi ile daha yüksek sertlik ve mukavemete kavuşmasını sağlar. Sandviç yapıların çeşitli uygulamalarda daha yüksek yorulma mukavemetine ve daha iyi akustik ve ısı yalıtımına sahip olduğu görülmüştür. Bal peteği çekirdekler, yüksek ezilme mukavemeti ve sertliği, yorulma ve nem direnci nedeniyle köpük veya ahşap esaslı sandviç yapılara göre çok sayıda avantaja sahiptir (Rayjade ve diğ. 2015).

Yüzey malzemeleri; kullanım yerine göre değişen, genellikle yoğun ve dirençli malzemelerden elde edilmektedir. Çünkü bu yüzey malzemesi, sandviç levhanın maruz kaldığı neredeyse bütün eğici kuvvetlere direnç göstermektedir. Orta tabaka malzemesi ise genellikle hafif ve düşük yoğunluklu malzemelerden elde edilmektedir. Bunlar ince yüzey malzemelerinin stabil durmasını sağlarlar. İlaveten, sandviç konstrüksiyonun kayma rijitliğini sağlamaktadır (WHB, 2010).

Bir sandviç yapı için mukavemet/ağırlık oranı yüksek bir yapısal verimlilik sağlamaktadır. Sandviç yapının sunduğu diğer avantajları ise kaynaklı yapının olmaması, üstün yalıtım niteliklerine sahip olması ve tasarımın çok yönlülüğüdür. Sandviç yapının çekiciliğini arttırmak için, sandviç panelin kullanım yerine göre levhayı oluşturan elemanların mukavemet özelliklerini bilmek önemli avantaj sağlamaktadır (Paik ve diğ. 1999).

Bal peteği sandviç yapı, düşük ağırlıkta yüksek eğilme rijitliği ve eğilme mukavemetini birlikte sunmaktadır. Sandviç konstrüksiyon endüstride artan bir rol oynamaktadır. Sandviç yapının

tasarımı sandviç yapılar için mevcut ve geçerli bir yöntem olmaktadır. Eğilme rijitliği ve eğilme mukavemeti bal petekli sandviç panellerin çok önemli mekanik özellikleridir (Meifeng ve Wenbin 2008).

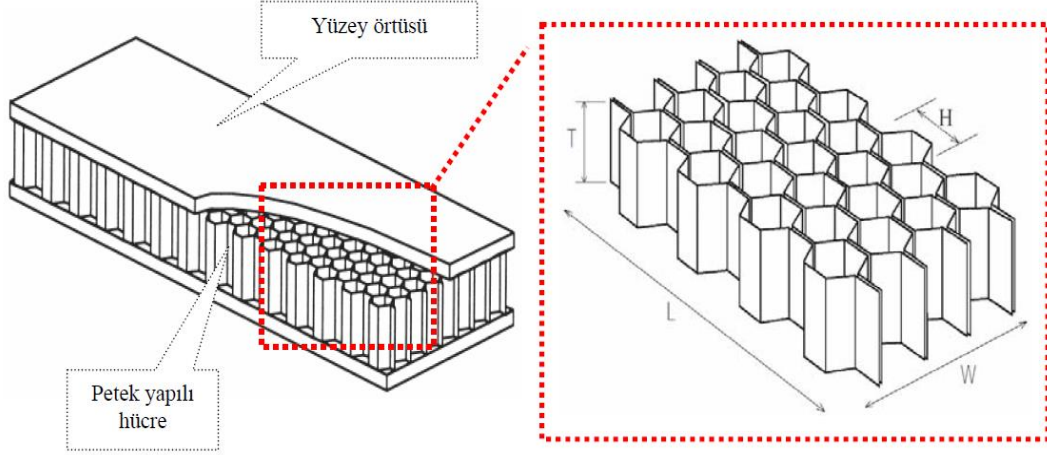
Sandviç panellerden yapılan hafif yapılara olan talep birçok endüstriyel sektörde giderek artmaktadır. Bu konuda çeşitli araştırmacılar tarafından çok sayıda çalışma yapılmıştır. Ağırlık ve maliyet azaltma bu çalışmaların odak noktalarından birini oluşturmaktadır. Sandviç panel, kompozit bir yapıdır ve mukavemetinden ödün vermeden ağırlık azaltma açısından mükemmel bir alternatif malzemedir. Bal peteği çekirdekli sandviç panellerin geometrik özellikleri ile basınç dayanımı, eğilme mukavemeti, sandviç levhanın çekirdek makaslama modülü, makaslama dayanımı ve sertlik gibi fiziksel ve mekanik özellikleri analiz edilir. Sandviç paneller, servis ihtiyacına göre çeşitli şekil ve boyutlarda üretilebilir. Ticari olarak temin edilebilen sandviç paneller, köpükler ve metalik ve metalik olmayan malzemeler gibi farklı çekirdek malzemelere sahiptir. Çekirdeğin yapısı tipik olarak kafes kiriş tipi ve bal peteği şeklinde değişir. Yüzey tabakaları ve iç kısım malzemeleri termoset reçineler kullanılarak yapıştırılmaktadır (Rajkumar ve diğ. 2016).

Birçok avantajlı yönlerine karşın sandviç panellerin dezavantaj olarak belirtilecek özellikleri de vardır; plastik köpük çekirdekli sandviç panellerin yangına karşı davranışları, güçlü güneş ışığı altında bir tarafı ısıya maruz kaldığında deformasyon meydana gelmesi, köpük çekirdekli sandviç panellerin sürekli yük altında sünme deformasyonu göstermesi gibi özellikler sandviç panellerin dezavantajları olarak belirtilmektedir (Davies, 2001). Bunların yanı sıra, aynı kompozit malzeme için çekme, basma, makaslama ve eğilme mukavemeti değerlerinin farklılıklar gösterebilmesi, malzeme kalitesinin üretim yönteminin kalitesine bağlı olması, uzman personel gerektirmesi gibi dezavantajları vardır (Danacıoğlu, 2013).

2.3.1.Bal Peteği Yapı Elemanları

Petek yapılı sandviç levhaların hücre kısmı altıgen petek ya da bal peteği denilen hafif yoğunluklu malzemeden oluşmaktadır. Şekil 2.1’de bal peteği sandviç levhanın görseli verilmiştir (Solmaz ve diğ. 2010). Sandviç levhanın yoğunluğu, çekirdek malzeme olarak kullanılan bal peteğinin petek hücre boyutlarına göre belirlenmektedir. Bal peteği hücrelerinin alt ve üst yüzeylerinin kaplama malzemesi ile kaplanması sonucunda sandviç kompozit levhalar

elde edilmektedir. Yüzey kaplaması olarak genellikle kullanım yerine göre farklılık gösteren kompozit plakalar kullanılmaktadır (Solmaz ve ark. 2010).

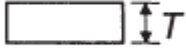
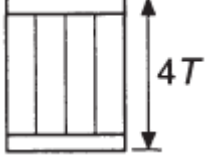


Şekil 2.1 Bal peteği çekirdekli sandviç levha ve çekirdek boyutları (Solmaz ve ark. 2010)

Hücre yoğunluğu, kalınlığı, yüksekliği gibi çekirdek malzemenin temel özelliklerinin yanında kompozit yüzey örtü malzemesi seçimi de petek yapılı kompozit levhaların kullanılacağı yere göre tasarımcılar için çeşitli seçenekler sunar. Bu durumda ideal petek yapılı kompozit levha seçiminde, belirlenen levhanın mekanik özellikleri ön plana çıkar. Özellikle yüzey örtü malzemesi, petek yapılı kompozit levhaların eğilme dayanımı üzerinde önemli role sahiptir (Solmaz ve ark. 2010).

Bal peteği kullanmanın temel nedeni hafif olmasından dolayı ağırlıktan tasarruf sağlamaktır. Tablo 2.1’de, 1.6 mm kalınlığında bir alüminyum levha kullanılarak yapılan farklı bal peteği yapılarının mukavemet ve sertlik değerleri karşılaştırılmaktadır. En sağdaki sandviç levha düz alüminyum levhadan 37 kat, ortada verilen sandviç levhadan da 7 kat daha serttir. Sehim miktarı olarak normal alüminyum levhadan 37 kat daha az sehim vermektedir. Eğilme mukavemeti yönünden 7 kat daha fazla mukavemet değerine sahiptir. Bütün bu üstün özelliklerine rağmen kalınlığı 4t olan bir sandviç panel kalınlığı t olan bir alüminyum levhadan sadece %9 daha fazla ağırdır (Bitzer, 1997).

Tablo 2.1 Farklı yükseklikteki sandviç levhanın mekanik özellikleri (Bitzer, 1997)

	Alüminyum plaka (kalınlığı T)	Sandviç levha (çekirdek kalınlığı T)	Sandviç levha (çekirdek kalınlığı $3T$)
			
Sertlik	1	7	37
Sehim miktarı	37	5	1
Eğilme mukavemeti	1	3	7
Ağırlık	1	1,07	1,09

Petek sandviç yapısının kullanımı, ağırlıklarına karşı mükemmel mukavemet ve sertlikleri nedeniyle hızla artmaktadır. Bal peteği sandviç yapısının mukavemeti; yüzeylerin, çekirdeğin ve çekirdek ile yüzeylerin birbirine yapıştırılmasının kombinasyonu ile ilgilidir. Bu üç elemandan herhangi birinin zayıf olması sandviç levhanın yapısını olumsuz yönde etkilemektedir. (Lu ve diğ. 2015). Yüzey tabakası sandviç levhaya eğilme mukavemeti sağlarken, çekirdek malzemenin rolü ise yüzeyler arasında kayma gerilmelerini iletme. Ayrıca çekirdek mukavemetinin iyi olması eğilme mukavemetine ve basınç mukavemetine de yardımcı olmaktadır. Zayıf bir çekirdek, sandviç levhanın performansını düşürmektedir (Stocchi ve diğ. 2014).

Sandviç levhaların yapısı her zaman aynı temel kalıbı takip eder. Nispeten ince ve yüksek mukavemetli olan alt ve üst tabaka, buna karşın kalın ve hafif olan orta tabaka çekirdekten meydana gelmektedir. Farklı yüz ve çekirdek malzemelerin birleştirilmesiyle çok sayıda alternatif sandviç yapı malzemesi elde edilebilmektedir. Yüzey kaplamaları çelik, alüminyum, ahşap, fiber takviyeli plastik ve hatta beton olabilir. Çekirdek; mantar, balsa, kauçuk, katı plastik malzemeler, sert köpük malzemeler, mineral yün levhalar veya alüminyum, kâğıt petek malzemelerden yapılabilir (Davies, 2001).

Nomex'ten veya alüminyum alaşımdan yapılmış altıgen petekler, sandviç yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle düzlem dışı basınç mukavemeti ve boyuna yönde makaslama mukavemetinin yüksek olması sandviç panellerde kullanılmasının en büyük nedenlerindendir.

Bununla birlikte, bu altıgen petekler, yalnızca düğüm bağlantılarından dolayı düşük düzlem içi sertlik ve mukavemet değerlerine sahiptir. Yüksek sertliğe ve mukavemete sahip olmasına rağmen düşük yoğunluğa sahip sandviç panel çekirdeklerini keşfetmek birçok araştırmacı için ilgi çekici olmuştur (Côté ve diğ. 2009).

Bal peteği yapıları sandviç panellerde çekirdeğin seçimi, mukavemet, sertlik, maliyet ve imalat becerisine bağlıdır. Yüzey levhası ve çekirdek malzemenin uyumluluğu sandviç yapıların burkulma davranışında önemli bir rol oynamaktadır (Kong ve diğ. 2014). Çekirdek malzemenin çeşidi ve kalınlığı ile yüzey levhasının çeşitliliği ile farklı özelliklere ve istenen performansa, özellikle yüksek mukavemet-ağırlık oranına sahip sandviç paneller elde etmek mümkündür (Meifeng ve Wenbin 2007). Petek yapıları kompozitler üç grup malzemeden oluşmaktadırlar. Bu malzemeler aşağıda alt başlıklar altında ele alınmıştır.

2.3.1.1. Yüzey Malzemeleri

Sandviç yapıda, yüzey tabakaları birçok farklı malzemeden yapılabilir. İzotropik malzeme, anizotropik malzeme veya bileşik bir malzeme olabilir. Alüminyum, cam elyafı, grafit ve aramid yaygın olarak kullanılan yüzey tabakalarıdır. Bununla birlikte, yapının ağırlığını en aza indirmek için genellikle kompozit malzemeler tercih edilir (Rao ve diğ. 2015).

Sandviç levhalarda yapısal olarak, yüzey tabakaları çoğunlukla malzeme ve kalınlık bakımından özdeştir. Bu yapılara simetrik sandviç yapı denir. Bununla birlikte, bazı özel durumlarda, yüzey tabakaları farklı yükleme koşulları veya çalışma ortamı nedeniyle kalınlık veya malzeme olarak değişebilir. Bu konfigürasyon asimetrik sandviç yapılar olarak adlandırılmaktadır (Rao ve diğ. 2015).

Yüzey levhası olarak kullanım yerine bağlı olarak çeşitli malzeme seçenekleri bulunmaktadır. Örnek olarak (Danacıoğlu 2013, Paik ve diğ. 1999):

- Alüminyum plakalar,
- Paslanmaz çelik plakalar,
- Karbon/Epoksi kompozit plakalar,
- Fiberglas/Epoksi kompozit plakalar,
- Aramid/Epoksi kompozit plakalar
- Kontraplak levhalar,

- Kompozit malzemeler,
- Titanyum,
- MDF, yongalevha.

2.3.1.2. Çekirdek Malzemeleri

Bal peteği, birbirine bağlanmış çok ince tabakalardan oluşan bir dizi açık hücreden oluşur. Bu hücreler genellikle altıgen yapıdadır (Bitzer, 1997).

Petek adını doğada bulunan bal peteğinden alır. Herhangi bir ince yassı malzemeden yapılabilir ve geçmişte 500'ün üzerinde farklı türde bal peteği üretilmiştir. Kâğıt bal peteği ilk olarak yaklaşık 2000 yıl önce, onu bugün olduğu gibi yapısal olarak değil, süs eşyası olarak kullanan Çinliler tarafından yapılmıştır. Kraft kâğıt petek üretimi için bir üretim yöntemini kapsayan ilk bal peteği çekirdek patenti, muhtemelen 1905 yılında Almanya'da yayınlanan Budwig Patenti'dir (Bitzer, 1997).

Petek sandviç levha teknolojisi tarihindeki önemli gelişmelerin bir özeti aşağıda verilmiştir (Bitzer, 1997);

- 1845-Bilinen ilk insan yapımı sandviç yapı, ahşap yumurta kasası çekirdeği ile üst yüzeyi sıkıştırılmış panel.
- 1919-İlk uçak sandviç paneli, deniz uçağı dubalarında kullanılan ince maun kaplı balsa ahşap çekirdek.
- II. Dünya savaşı, askeri savaş uçaklarında kullanılan kontrplak yüzeyli balsa ahşap çekirdek.
- 1945-İlk defa alüminyum sandviç panel yapıldı, alüminyum yüzeye alüminyum çekirdek yapıştırılarak yapılmıştır.

Alüminyum bal peteği özel gözenekli bir yapıya sahip olduğu için özellikle enerji sönümlemesi gerektiren metalurji, kimya, havacılık, nakliye, elektronik, otomotiv üretimi, mimari ve birçok benzeri alanlarda kullanılabilmektedir. Alüminyum petek çekirdek esas olarak makaslama dayanımının yanı sıra yüzey tabakası da esas olarak eğilme kuvvetlerine karşı koymaktadır. Bu nedenle, alüminyum petek sandviç panelin eğilme ve makaslama özelliklerini incelemek önemlidir (Cheng ve diğ. 2015).

Alüminyum petek sandviç panellerin ilgi çekmesinin başlıca nedenlerinden biri hafif olmalarıdır. Bu nedenle, alüminyum bal peteği sandviç panellerinin ağırlığını doğru bir şekilde tahmin etmek çok önemlidir. Böylelikle sandviç yapı için performans ölçümleri, örneğin, mukavemet oranı, doğru bir şekilde hesaplanabilir (Paik ve diğ. 1999).

Sandviç yapıların üretiminde çeşitli tipte çekirdek şekilleri ve çekirdek malzemeleri kullanılmaktadır. Bunlar arasında, cephelere dik altıgen hücreler şeklinde çok ince folyolardan oluşan bal peteği çekirdek en popüler olanıdır. Sandviç yapı, mükemmel yapısal verimlilik, yani yüksek mukavemet / ağırlık oranı sağlamaktadır. Sandviç yapının sunduğu diğer avantajları ise üstün yalıtım kalitesi ve tasarım çok yönlülüğüdür (Paik ve diğ. 1999).

Sandviç levhalarda petek çekirdeğinin farklı rolleri vardır. Birincisi, yüzler arasındaki mesafeyi korumak. İkincisi, sandviç yapı üzerindeki basma yüklerini ve makaslama yüklerini taşımasıdır (Wahl ve diğ. 2012).

Sandviç levhada orta tabakada kullanılan çekirdeğin amacı, levhanın eğilme mukavemetini arttırmaktır. Bal peteği çekirdeği, genel olarak sandviç yapının toplam ağırlığını mümkün olduğunca minimum seviyede tutmak için düşük yoğunluğa sahiptir (Rao ve diğ. 2015). Sandviç levhalarda orta tabaka olarak kullanılan çekirdeğin önemli görevleri vardır. Sandviç levhalara dik yöndeki yüklemelere dayanacak kadar katı olmalıdır, bundan dolayı çekirdek malzeme, alt ve üst yüzey levhaları arasındaki mesafenin sabit olmasını sağlar. Eğer kullanılan çekirdek bu durumu sağlayamaz ise, yüzey levhaları iki bağımsız levha gibi hareket eder ve sandviç yapı etkisi kaybolur. Ayrıca çekirdek, ince yüzey levhalarını dengeleyecek kadar katı olmalıdır. Aksi durumda sandviç yapının yüzey levhalarında yerel bükülmeler meydana gelir ve yapının mukavemet değerine olumsuz etki edebilmektedir (Danacıoğlu 2013). Bal peteği sandviç levhaların yorulma ömrü çekirdeğin ömrü tarafından belirlenir. Sandviç paneldeki çekirdekte meydana gelen yorgunluk hasarı, petek duvarındaki mikro çatlaklar şeklinde açıklanabilir. Mikro çatlaklar, tüm yorgunluk ömrü boyunca kademeli olarak yayılır ve çekirdeğin ömrünü belirlemektedir. Sandviç levhanın yapısında meydana gelen kusura çekirdek neden olduğunda, çekirdek makaslama gerilimi sandviç levhanın yorulma ömrünü tahmin etmek için kullanılabilir (Ma ve diğ. 2020).

Çekirdek malzemesi olarak kullanılan materyalleri üç grupta sınıflandırmak mümkündür (Danacıoğlu 2013, Rao ve diğ. 2015):

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

Bal peteği yapılı çekirdek malzemeler hücresel yapılarından dolayı düşük yoğunluklu olup yüksek sertlik / ağırlık oranına, yüksek mukavemet / ağırlık oranına ve etkin enerji emme özelliklerine sahiptirler (Li ve diğ. 2017).

Dolgu malzemesi olarak kullanılan petekler çok çeşitli malzemelerden elde edilebilmektedir. Bunlar; kâğıt, metal, seramik kompozitler, balmumu, plastik v.b olarak üretim amacına göre farklılık göstermektedir (Han ve diğ. 2016).

Çekirdeğin mukavemet sınırını etkileyen bal peteği değişkenleri aşağıda listelenmiştir (Bitzer, 1997):

- Zayıf hücre konfigürasyonu, düşük mukavemet özelliklerine neden olabilir,
- Küçük hücre boyutları ile biraz daha yüksek mukavemet değerleri elde edilir,
- Daha düşük yoğunluklu çekirdekler, daha düşük yorulma mukavemetlerine sebebiyet verir,
- Farklı uygulamalar için doğru bal peteği çekirdeğini seçmek zor bir problem olarak karşımıza çıkabilmektedir.

Ayrıca sandviç levhalarda çekirdek malzeme olarak kullanılacak bal peteğinin mekanik, fiziksel özellikleri ile birlikte yüzey malzemesi, yapıştırıcı ile uyumu ve aynı zamanda çevresel etkileşimi de dikkate alınmalıdır. Sıcaklığa maruz kalma, nem, su geçişi, bağıl nem, sıvılara karşı ıslanma direnci, hasar toleransı, darbe direnci vb. çevresel etkiler de önemli ayrıntılardır. Bunun yanında bal peteği çekirdeğinin maliyeti de önemli bir husus olup genel parça maliyetinde dikkate alınması gerekmektedir (Bitzer, 1997).

2.3.1.3. Yapıştırıcı Malzemeler

Sandviç yapılarıdaki yapıştırıcıların görevi levhalar ve çekirdeğin birlikte kalmasını sağlamaktır. Çekirdek ve levhalar arasındaki yapıştırıcı, bunlar arasındaki makaslama gerilmelerini aktarırlar. Sandviç levhaların üretiminde kullanılan yapıştırıcı makaslama ve gerilme zorlamalarını taşıyabilecek kabiliyette olmalıdır (Danacıoğlu, 2013).

Sandviç levhaların üretiminde kullanılacak tutkal seçiminde, levhanın kullanılacağı yerin ve maruz kalacağı yükün göz önüne alınması, sandviç levhanın mukavemet bütünlüğünün sağlanması açısından önemlidir. Kullanım yerine göre değişen yüzey ve çekirdek malzemenin özelliklerine en uygun tutkal seçimi yapılmalıdır. Üretim aşamasında bu parametreler değerlendirilmez ise bir sandviç levha bütününde çok iyi yapışma özelliği gösteren tutkal, başka bir sandviç levhada istenilen yapışma sonucunu vermeyebilir. Bu durum sandviç levhadan beklenen mekanik özelliklerin elde edilmesini zorlaştıracaktır (Ayrılmış ve diğ. 2015). Bunun sonucunda üretim maliyeti, zaman maliyeti ve tekrar onarım maliyetleri ortaya çıkacaktır.

Tablo 2.2’de görüldüğü üzere, ince sandviç panellerde yapıştırıcının toplam sandviç ağırlığına oranı (%16,2) çok büyük bir yüzdeye sahiptir. Ancak, daha kalın sandviç panellerde bu oran (%11,2) düşmekte ve toplam sandviç panel ağırlığına da etkisi azalmaktadır (Bitzer, 1997).

Tablo 2.2 Sandviç levhanın bileşenlerine ve kalınlığına göre ağırlık dağılımı (Bitzer 1997)

	6,35mm kalınlıkta sandviç levha	19mm kalınlıkta sandviç levha	38mm kalınlıkta sandviç levha
Yüzey malzeme ağırlığı (kg/m ²)	2,75	2,75	2,75
Bal peteği çekirdek ağırlığı (kg/m ²)	0,24	0,87	1,82
Yapıştırıcı ağırlığı (kg/m ²)	0,58	0,58	0,58
Toplam ağırlık(kg/m ²)	3,57	4,20	5,17

Yapıştırıcının viskozitesi iyi ayarlanmalıdır. Üst yüzeyi bal peteğine yapıştırmak için kullanılan yapıştırıcının hücre duvarlarından aşağı akması durumunda, üst yüzeyde iyi bir bağ elde etmek mümkün olmayacaktır. Yapıştırıcı ihtiyaç duyulan yerde kaldığı için, alt yüzeyi yapıştırmada böyle bir sorun olmamaktadır (Bitzer, 1997).

Sandviç levha üretiminde, özellikle boşluksuz çekirdek malzeme kullanıldığında normal film yapıştırıcılar tüm kaplamayı kaplar. Ancak bal peteği çekirdekli sandviç levha üretiminde, bal peteği hücresinin ortasındaki boş alanlardan dolayı, bu alanlarda yapıştırıcı herhangi bir amaca hizmet etmez, sadece sandviç levhanın ağırlığını artırmaktadır (Bitzer, 1997).

Sandviç levhalarda en çok tercih edilen tutkallar ve özellikleri aşağıda özetlenmiştir:

Epoksi yapıştırıcılar; “Epoksi yapıştırıcılar genelde 20-90 °C gibi düşük sıcaklıklarda kürlenene termoset yapıştırıcılardır. Bazı formülasyonlar yüksek sıcaklıklarda da (130-220°C) kullanılabilir. Çözücüler olmadan kullanılabilme ve kürlenme sırasında uçucu yan ürünler oluşturmama gibi avantajlara sahiptir. Çözücülerle kullanılmamaları sayesinde epoksiler neredeyse her tür orta tabaka için uygundur. Epoksiler macun, film, toz ya da katı olarak temin edilebilmektedir. Dezavantajları, ciltle temasta alerjik etkiye sahip olmalarıdır” (Ayrılmış ve diğ. 2015). Epoksi yapıştırıcılar, yüksek performanslı kompozitler için en yaygın matris malzemesidir. Mükemmel bir mukavemet, yapışma, düşük çekme ve işleme çok yönlülüğü özellikleri göstermektedirler (Campbell, 2010).

Fenolik yapıştırıcılar; “Fenolik yapıştırıcılar mükemmel dayanım, yüksek sıcaklıkta mekanik özellikler ve sağlamlığa sahiptir. Temel dezavantajları katılaşma sırasında su açığa çıkarmalarıdır. Bu yüzden de havalandırmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Genellikle yapıştırıcı film şeklinde kullanılmaktadır. Fenolik yapıştırıcıların kullanımı havalandırmanın ve yüksek sıcaklıklarda yapıştırmanın bir problem teşkil etmediği balpeteği üretimi ile kısıtlanmaktadır” (Ayrılmış ve diğ. 2015).

Poliüretan yapıştırıcılar; “Poliüretan yapıştırıcılar sandviç bileşenleri yapıştırmada en çok kullanılan yapıştırıcılardan biridir. Bunun nedeni, bu yapıştırıcıların birçok malzeme için uygun olmalarıdır. Geniş bir viskozite aralığında macun ya da sıvı olarak kullanılabilirler, kürlenme süreleri uzun ya da kısa olabilir, alev ya da suya dayanıklı formüle edilebilirler. Poliüretan yapıştırıcılarda neredeyse hiç çözücü bulunmadığından, çevre dostudurlar ve tüm yapıştırıcılar içinde en az zehirli olanlarıdır. İki farklı tipi bulunmakta olup, bunlar, tek bileşenli ve çift bileşenli sistemlerdir. Tek bileşenli sistemler ön-kürlenmiş iken, çift bileşenli sistemler rutubetle kürlenmeye devam etmektedirler. Kürlenme için gerekli olan rutubet yapıştırma öncesinde yüzeylere su püskürtülerek sağlanmaktadır. Kürlenmenin başlaması yapıştırıcının tipine bağlı olarak birkaç dakikadan saatlere kadar değişkenlik gösterebilir” (Ayrılmış ve diğ. 2015).

Üretan akrilat yapıştırıcılar; “Polyesterler ve vinil esterlerle uyumlu yapıştırıcılardır. Oldukça tokurlar ve kürlenme sırasında neredeyse hiç çekme göstermezler. Cam elyaf takviyeli plastik sandviç yapılarda yüzey tabakası ile orta tabaka yapışmasını artırmanın bir yolu orta tabakaya en yakın tabaka olan ilk takviye tabakasında üretan akrilat kullanılmasıdır” (Ayrılmış ve diğ. 2015).

Poliester ve vinilester yapıştırıcılar; “Uzay endüstrisi dışında en çok kullanılan takviyeli plastik matris malzemeleridir. Bu yapıştırıcıların bir dezavantajı kürlenme sırasındaki çekme sebebiyle ara yüzeyde meydana gelen makaslama gerilmeleridir. Bu etkinin azaltılması için bir yöntem laminatın yapıştırılması öncesinde yüzeyin primerlenmesidir. Primerlemede çok ince bir tabaka uygulanmakta ve yüzey hücreleri ancak kapanacak şekilde ve laminatın geri kalanının uygulanması öncesinde kürlenmenin bitmesi beklenmelidir” (Ayrılmış ve diğ. 2015). Poliester, ticari uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. İşlem esnekliği sağlayarak nispeten düşük maliyetli, sürekli ve süresiz kompozitler için kullanılır. Vinilester; polyesterlere benzer, ancak daha serttir ve daha iyi nem direnci göstermektedir (Campbell, 2010).

2.4. SANDVIÇ LEVHALARIN KULLANIM ALANLARI

Bal peteği çekirdek ve bal peteği sandviç levhalar hafifliğin istendiği, ağırlığın kritik problem olduğu ve aynı zamanda yüksek mukavemet ve rijitlik istenen mimari yapılarda, endüstriyel tesislerde, havacılık, denizcilik ve uzay sanayinde, stadyum, spor salonları, kongre merkezleri, hava alanları, tren, metro, gemi, yat, tekne, karavan, prefabrik konut, konteyner, mantolama, ambalaj sanayi, mobilya sanayi, duvar panelleri, iç dekorasyon, asma tavan, çatı panelleri, engelli rampaları, taşınabilir rampalar, clean room (temiz oda) ve benzeri kullanım alanlarına sahiptir (URL-3, 2019).

Sandviç yapı kavramı çok yeni olmasa da, son yıllarda öncelikle yapıların dayanıksız kısımları için benimsenmiştir. Bunun nedeni, dinamik olarak yüklenmiş yapıların tasarımına sandviç yapı uygulandığında üstesinden gelinmesi gereken çeşitli yüklere dayanım açısından sorun alanlarının olmasıdır. Sandviç yapının çekiciliğini arttırmak için, tek tek sandviç panel / giriş elemanlarının lokal mukavemet özelliklerini daha iyi anlamak çok önemlidir. Ana çerçeveler ve sertleştiricilerle takviye edilmiş tek plakalardan oluşan geleneksel tek duvarlı yapı, normalde makul miktarda kaynak (ek yeri) gerektirir ve önemli uzunlukta kaynak dikişlerine sahiptir. Ayrıca, kullanılan daha hafif ancak daha ince plakalar, bazı durumlarda düzeltmek için daha fazla imalat işi gerektirebilecek kaynak bozulmalarını artırma eğilimindedir. Daha fazla kaynak dikişi aynı zamanda daha fazla sayıda yorulma başlatma konumu anlamına gelmektedir. Bal peteği çekirdekli sandviç yapı, iki dışa bakan yüzey ile sıkıştırıldığı için bu tür zorluklarla daha iyi başa çıkabilmektedir. Sandviç paneller ayrıca yapıda ek yapısal ağırlık tasarrufu sağlar. Bu

nedenlerden ötürü, sandviç yapı büyük ağırlıkta kritik yapılar için yaygın olarak benimsenmiştir (Rao ve diğ 2012).

Demiryolu endüstrisinde yüksek hızlı tren yolcu vagonları alüminyum petek sandviç paneller kullanılarak tasarlanmış ve imal edilmiştir (Rao ve diğ 2012). Bal peteği çekirdekli sandviç levhalar hafifliği, kararlılığı, yüksek mekanik performansları ve yangına karşı dayanım özelliklerinden dolayı 1980'lerden itibaren kullanılmaktadır. Demiryolu sektöründe sandviç paneller; zemin kaplaması, koltuk, masa, dolap, tavan, bölme elemanı olarak çeşitli alanlarda uygulama imkanına sahiptir (URL-4, 2021).

Birçok alanda olduğu gibi modern demiryolu endüstrisinde son eğilimler daha yüksek hızlar elde etmek, daha az güç tüketimi sağlamak ve yük taşıma kapasitesinde artış sağlamak olup bunları sağlamak için petek yapılı sandviç kompozit levhalar kullanılmaktadır. Bu durum karayolu ve havayolu taşımacılığında da geçerlidir. Taşıma sektöründe sandviç yapılar hem yapısal amaçlar hem de yapısal olmayan amaçlar için kullanılmaktadır (Toradmal ve diğ 2017).

Son zamanlarda, yüksek hızlı tekne gövdelerinin mukavemet elemanları olarak alüminyum sandviç panellerin kullanılması girişimleri yapılmıştır (Rao ve diğ 2012). Büyük yolcu gemilerinde, yatlarda ve spor amaçlı teknelerde üstün mekanik özelliklere sahip hafif yapıların kullanılması önemlidir. Bu iki özelliğin kombinasyonu, önemli bir performans iyileştirmesine katkıda bulunmaktadır. Bal peteği çekirdekli sandviç paneller bu sektörde farklı yapı ve dekoratif anlamda; yapısal perdeler, bölmeler, ses yalıtım panelleri, mobilyalar, döşeme tahtaları ve güneş panelleri için destekler gibi çok sayıda uygulamada kullanılmaktadır. Bu hafif ve yüksek performanslı malzemeler, ergonomi ile birleştirilerek verimlilikleri artırılarak, kaliteli ve estetik yüzeyler ile kullanım olanağı sağlanmaktadır (URL-4, 2021).

Ahşap esaslı hafif kompozitler, mukavemet / yoğunluk oranının yüksek olması sebebiyle denizcilik uygulamalarının gereksinimlerini karşılamak için uygun malzemelerdir. Bu panellerin en önemli ve dikkat çekici özelliklerinden olan sürdürülebilir, geri dönüştürülebilir malzeme olması ve aynı zamanda değerli görünümüdür. Bunlar sandviç panellerin yapı sektörü ve raylı sistemlerde olduğu gibi tekne tasarımcıları tarafından tercih edilmesini sağlayan en önemli özellikleridir. Bu nedenle, günümüzde zemin kaplaması, asma tavanlar, döşeme yapıları, iç döşeme, köprü güverte konsolları, konaklama kabin üniteleri, hafif bölme yapıları

gibi tekne yapımında geniş kullanım alanları bulmaktadırlar. Bu malzemeler, tarihi teknelerin onarımı ve yenilenmesi için de kullanılmaktadır (Negro ve diğ 2011).

Sandviç yapılar, otomotiv endüstrisi, denizcilik uygulamaları veya hava sistemleri gibi birçok endüstriyel ve mühendislik uygulamasında kullanılan hafif yapılar olarak dikkat çekmektedir. Bu uygulamalarda mükemmel mekanik özelliklerle birlikte düşük ağırlığa sahip olması yanında, yapısal bütünlük sağlamak ve arıza olasılığını azaltmak için sandviç yapıların mekanik davranışına yönelik kapsamlı çalışmaların yapılması gerekliliği araştırmacılar için önemli bir araştırma alanı olarak karşımıza çıkmaktadır (Zaoutsos, 2017).

Sandviç paneller, uydular, uçaklar, füzeler, yüksek hızlı trenler gibi tasarım ve yapısal olarak hafiflik gerektiren ulaşım sistemlerinde kullanılmaktadır. Yapısal ağırlık tasarrufu en önemli husustur ve sandviç konstrüksiyon sıklıkla malzeme kalınlığını artırmak yerine kullanılmaktadır. Bu tür bir yapı, bir çekirdek malzeme ile ayrılan ince iki karşılıklı katmandan oluşur. Sandviç yüzeyler için potansiyel malzemeler, özel görev gereksinimine bağlı olarak alüminyum alaşımları, yüksek gerilimli çelikler, titanyum ve kompozitlerdir (Paik ve diğ. 1999).

Bal peteği çekirdekli sandviç levhalar, uyduların veya uçakların mukavemet elemanları olarak kullanılmakta böylece yapısal ağırlıkların verimli bir şekilde azaltılmasına imkân sağlamaktadır (Rao ve diğ 2012). Bal petekli sandviç levhalar hafiflik, basma ve makaslama dayanımı, yangına dayanıklılık, korozyona dayanıklılık ve kolay montaj ve işlenebilirlik özellikleri nedeniyle hava araçlarının farklı alanlarında önemli avantajlar sağlar. İç dekorasyon, bölmeler, dolaplar, koltuklar ve kabin gibi hava araçlarının birçok yerinde kullanılmaktadır (URL-3, 2019).

Son yıllarda, sandviç yapıların ve malzemelerin bilimi ve teknolojisi etkileyici bir ivme kazanmış olup bu tür yapı ve malzemelerin spor malzemelerinden uydulara kadar uzanan çeşitli ürünlerde kullanımı artmaktadır. Dijital üretim dâhil malzeme işleme ve fabrikasyon tekniklerindeki gelişmeler yeni uygulamalara yol açmaktadır. Uygulama yelpazesi, özellikle yüksek hızlı tekneler ve patlamaya dayanıklı yapılar gibi deniz yapıları alanında genişledikçe, sandviç yapıların çok çeşitli yükleme koşulları ve ortamlar altındaki davranışını anlama ihtiyacı artmaktadır (Rayjade ve diğ. 2015).

Alüminyum sandviç yapı, uçaklar, hızlı trenler ve hızlı gemiler gibi hafif taşıma sistemlerinin yapısal tasarımı için ileri bir kavram olarak kabul edilmektedir. Dizayn ve yapısal hafifliğin önemli olduğu bu kullanım alanlarında önemli bir kullanım alanına sahiptir (Paik ve diğ. 1999).

Sandviç paneller, havacılık, otomobil, spor ve denizcilik endüstrisinde çeşitli uygulamalara sahiptir. Havacılık endüstrisinde, uçakların kanat kısımları başta olmak üzere birçok parça bal peteği sandviç panellerden imal edilmiştir (Rayjade ve diğ. 2015).

Özellikle otomobil endüstrisinde birçok alanda, yüksek eğilme mukavemeti gerekli olduğu ağırlığa duyarlı ve sönümleme yapabilme özelliklerinden dolayı petek sandviç malzemeler yaygın olarak kullanılmaktadır (Meifeng ve Wenbin 2007).

Bal peteği çekirdekli sandviç levhalar birçok alanda olduğu gibi temiz enerji sektöründe rüzgâr türübünü kanatlarının üretiminde kendine yer bulmuştur. PP gibi yüksek performanslı bal petekleri rüzgâr trübünü kanatlarının bileşenlerinde kullanılmaktadır (URL- 4, 2021).

Bal peteği çekirdekli sandviç levhalardan üretilen ve en belirgin özelliği hafiflik ve performans olan yeni nesil mobilyaların üretimi günümüzde gün geçtikçe artmaktadır. Bu mobilyalar aynı zamanda özellikle profesyonel olarak hava, deniz ve demiryolu araçlarında kullanım için tasarlanabilmektedir (URL-3, 2019). Yeni nesil mobilya uygulamalarında, bal peteği çekirdekli sandviç malzemelerin montajı ve kullanımı kolaydır. Ayrıca sert ve hafif olmalarından dolayı da kullanımda ergonomik hatlar, pratik ve işlevsel imkanlar sunmaktadır. Özellikle otel gibi mekanların organizasyonu için iç mimaride ve tasarımda çok önemli yer tutmaktadır (URL-4, 2021).

İç mekanlarda ve duvar bölmeleri gibi tasarım objelerinde bal peteği sandviç levha uygulaması sayesinde uzun ömürlü, büyük, hafif ve estetik yüzeyli yapı elemanları üretilebilmektedir. Sandviç levhalar sertliği ve hafifliğinin yanı sıra, kolay montaj ve kullanım imkânı sağlamaktadır. Bu nedenle büyük boyutlu panellerin de uygulanma imkânı mümkündür. Hafif olmaları kurulumu kolaylaştırır ve nakliye maliyetlerinin ve CO₂ emisyonlarının azaltılmasını sağlar (URL-4, 2021). Ayrıca otellerin konferans salonlarında ve ofislerde estetik ve farklı dizayn konseptleri ile bölme duvar olarak yaygın olarak kullanılmaktadır.

Otomotiv ve yol taşıtları için alüminyum bal peteği çekirdekli sandviç levhalar, Formula 1 ve tur arabaları dahil olmak üzere, askeri araçlar, otobüsler, ticari araçlar, karavanlar ve motor

sporları dahil olmak üzere çeşitli otomotiv uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (URL-5 ,2021).

Sandviç kompozit malzemeler;

- Çoklu işlevler, su / toz bariyeri, yapısal destek ve bağlantı yüzeyi,
- Artan akustik verimlilik (daha fazla emilim daha ince kesitli veya daha düşük ağırlıklı),
- İmalat sırasında farklı malzemelerle uyum sağlama,
- Yüksek kalite ve mükemmel performanslı ürünler,
- Geri dönüşüm imkânı,
- Maliyet azaltma ile birlikte ağırlık azaltma gibi özelliklerinden dolayı birçok sektörde kullanım alalarını artırmaktadır (Pflug ve diğ. 2002).

Otomotiv sektöründe alüminyum bal peteği çekirdekli sandviç levhalar iç ve gövde panellerinde, döşemelerde, şasi bileşenlerinde, kanatlarda ve ayrıca enerji emici olarak uygulanmaktadır. PP bal peteği araçların iç kısımlarında akustik seviyeyi optimize edebilmesinden dolayı otomotivin farklı uygulamalarında kullanılmaktadır (URL-5, 2021).

Hafif olmaları ve yüksek mukavemeti, araç ağırlığını ve yakıt tüketimini azaltmakta, bu da şasinin gücünün ve sağlamlığının korunmasını sağlarken performansı artırmaktadır. Aynı zamanda hafifliğinden dolayı az yakıt tüketmekte ve bu sayede çevrenin daha az kirlenmesini sağlamaktadır (URL-5, 2021).

Bal peteği çekirdekli kompozit levhalar, hafiflik, nem ve korozyona dayanıklılık, izolasyon özelliğinin iyi olması, bakteri ve mantarlara karşı direncinin iyi olması gibi özelliklerinden dolayı frigo kamyon kasalarında, steril odalarda, rüzgâr tünellerinde ve iklimlendirme odalarında tercih edilmektedir (URL-3, 2019).

Bal peteği çekirdekle üretilen sandviç levhaların özellikle hava, demir, kara ve deniz taşıtlarında birçok özelliğinden dolayı kullanılmasının yanı sıra, hafiflik-az yakıt tüketimi ilişkisi nedeniyle daha az CO₂ emisyonuna neden olmakta ve böylece çevreyi daha az kirlüten bir yenilikçi malzeme döngüsü ortaya çıkmaktadır.

Sandviç paneller, uydular, uçaklar, füzeler, yüksek hızlı trenler gibi hafif ulaşım sistemlerinin tasarımı ve inşasında kullanılır. Yapısal ağırlık tasarrufu en önemli husustur ve sandviç

konstrüksiyon sıklıkla malzeme kalınlığını artırmak yerine kullanılır. Bu tür bir yapı, bir çekirdek malzeme ile ayrılan ince iki karşılıklı katmandan oluşur. Sandviç yüzeyler için potansiyel malzemeler, özel görev gereksinimine bağlı olarak alüminyum alaşımları, yüksek gerilimli çelikler, titanyum ve kompozitlerdir (Kantha Rao ve diğ. 2012).

Bal peteği sandviç yapısı, kompozit endüstrisi tarafından geliştirilen en değerli yapısal mühendislik yeniliklerinden biridir. Sandviç yapı genellikle mukavemet, sertlik ve ağırlık verimliliğinin gerekli olduğu yapılarda kullanılır. Özellikle uzay aracı, uydular, otomobiller, trenler, kamyonlar, tekne vb. alanlarda performans bazında çekirdek malzeme olarak düşük yoğunluklu altıgen petekler tercih edilir (Gpoichand ve diğ. 2013).

Sandviç paneller ayrıca yapıda ek yapısal ağırlık tasarrufu sağlar. Bu nedenlerden ötürü, sandviç yapı büyük ağırlıkta kritik yapılar için yaygın olarak benimsenmiştir (Kantha Rao 2012).

Petek sandviç yapılar yapı sektörüne birçok seçenek sunabilmektedir. Petek sandviçler düşük ağırlık ve yüksek mukavemet gerektiren yapılar için kullanışlı bir şekilde uygulanabilmektedir. Sandviç panellerin yapısı gereği iki dış katman ve orta tabakada bal peteğinin olması iyi bir yapısal verimlilik göstermesinin temelidir. Petek sandviç paneller yapısal malzemelerde çekme, basma ve eğilme yüklerinde başarıyla kullanılabilir. (Toradmal ve diğ 2017).

Günümüzde nüfusun hızla artışı nedeniyle şehir planında, daha fazla yüksekliklerden yararlanmak ve arazi kullanımını azaltmak için dikey gelişme yatay olanın yerini, blok daireler ve gökdelenler küçük binaların yerini almaktadır. Bu modern mimari gelişimde hafif malzemelerin kullanımı önem arz etmektedir. Bu amaçla aşağıda verilen şartları göz önünde bulundurmak gerekmektedir (URL-4, 2021);

- Sürdürülebilirliği teşvik etmek
- Emisyonları azaltmak
- Çalışma ve taşıma maliyetlerini azaltmak
- Hızlı ve kolay bir montaj sayesinde zamandan tasarruf sağlamak.

Bu amaçlar dahilinde insan hayatını kolaylaştıran ve çevreye daha az zarar veren malzemelerin kullanımı günümüzde giderek yaygınlaşan yeşil yapılaşmaya eğilimi artırmaktadır. Bal peteği çekirdekli sandviç levhaların sadece hafifliğinden dolayı yapı malzemelerinde kullanılmadığı

aynı zamanda çevre insan ilişkisinin ön plana çıktığı doğal kaynakların sürdürülebilir bir kullanım imkânı sağladığını da söylemek mümkündür.

Günümüz teknolojisiyle yapılan inşaatlarda kullanılan malzemelerin yüksek mukavemetli ve aynı zamanda hafif olmaları artık vazgeçilmez bir kriter olmuştur. Bu yeni inşaat teknolojisinde birçok geleneksel inşaat malzemeleri artık hem ekonomik olmamaları hem de ağırlıkları sebebiyle kullanılamaz hale gelmiştir. Sandviç paneller, hafifliğine oranla yüksek mukavemet göstermeleri, ısı ve ses izolasyon özellikleri, nem ve korozyona dayanıklılık gibi karakteristik özellikleri ile ön plana çıkmaktadır. Bu sebeple birçok kombinasyonla sandviç sisteme adapte edilen levhalar tercih sebebi olmaya başlamıştır (URL-3, 2019).

Sandviç paneller yoğun olarak tek katlı ve çok katlı bina inşaatlarında kullanılmaktadır. Sandviç paneller hafiftir, enerji açısından verimlidir, estetik olarak caziptir ve yapı sektöründe kolayca uygulanabilir ve kullanılabilir. En belirgin avantajı ise düşük ağırlıkta yüksek mukavemet sağlamalarıdır (Davies, 2001). Yalıtım özelliğinin iyi olmasından dolayı sandviç panel duvarlarla çevrili oda, normal duvarlara göre daha fazla enerji tasarrufu sağlayabilmektedir (Reengwaree ve diğ. 2013).

Günümüzde yapı malzemelerinden beklenen iyi mukavemet değerlerinin yanı sıra önemli diğer bir özellik konfor açısından ses ve ısı izolasyonudur. Konutlarda, iş yerlerinde, ortak paylaşılan diğer mekânlarda kullanılacak yapı malzemelerinin ses izolasyonunu sağlaması önemli bir unsurdur. Ahşap sandviç levhalar, yapısındaki ahşap malzeme ve özellikle boşluklu yapıdaki orta tabakası sayesinde yüksek bir ses izolasyonu özelliğine sahip bulunmaktadır (Candan, 2012).

Yapı sektöründe, akustik uygulamalar için kullanılan ses yutma panelleri, genellikle üretimi pahalı olan ve petrokimyasal esaslı olan taş yünü, cam yünü, poliüretan veya polyester gibi gözenekli sentetik malzemelerden oluşmaktadır. Bu malzemelerin çevresel etkileri ve sağlık sorunlarına yönelik artan farkındalık, doğal malzemelere olan ilgiyi artırmıştır. Bu malzemeler genel olarak bileşenlerinin doğal ve yenilenebilir kaynaklardan elde edilmesine, üretimleri sırasında yayılan düşük çevre kirliliğine veya düşük enerjiye göre tanımlanmaktadır (Berardi ve Lannace 2015).

Bina uygulamaları için çeşitli doğal lifler halihazırda ticarileştirilmeye başlanmıştır. Doğal lifler, düşük yoğunlukları, iyi mekanik özellikleri, kolay işlenmeleri, yüksek stabiliteleri, sağlık

yararları, kolay ve yüksek miktarda bulunabilirlikleri, düşük fiyatları ve üretimleri için azaltılmış çevresel etkileri sayesinde rekabetçi malzeme olarak yapı sektöründe yerini almaya başlamıştır. Yalıtım panelleri, kenevir liflerinin yanma davranışını iyileştirmek için soda veya bor tuzları ile işlenmesiyle üretilmektedir. İşlenmiş kenevir lifleri hiçbir toksik madde içermez ve ne işleme sırasında ne de panellerin kullanım ömrü boyunca sağlık açısından risk oluşturmamaktadır (Berardi ve Lannace 2015).

Yapı sektöründe yalıtım tekniği, iyi hava sızdırmazlığının sağlanması ve bina zarfında minimum sayıda ısı köprülerinin oluşması ile açıklanabilir. Tüm bu faktörler hem inşa sırasında hem de kullanımda düşük enerjili, düşük karbonlu, higrotermal açıdan verimli binalar üretmek için bir araya gelir ve kullanım ömrü sonunda geri dönüşüm fırsatları sunmaktadır. Kullanımdaki karbon azalması; ısı yalıtımındaki gelişmeler, aydınlatma, ısıtma ve soğutma verimliliğinin artması ve zayıf ısı köprüleri ve hava sızdırmazlığı nedeniyle termal kayıpların azalması ile ilişkilidir. Üretimde karbon azalması, üretim sürecinde enerji girdisindeki azalma ile ilişkilidir. Buna göre yalıtım amaçlı olarak kereste, saman ve kenevir gibi malzemelere olan ilgi, daha düşük çevresel etkiye sahip malzemelerin tedarik edilmesi ihtiyacına yanıt olarak son yıllarda artmaktadır (Shea ve diğ 2012).

2.5. KENEVİR

Kenevir, Cannabinaceae familyasına ait Cannabis cinsi içerisinde bulunan tek yıllık, tohumu ve lifleri için yetiştirilen bir bitki türüdür (Şekil 2.2). Cannabis sativa var. vulgaris L. türü, kültür amaçlı yetiştirilerek endüstriyel alanlarda kullanılmaktadır. Arkeolojik araştırmalar sonucunda M.Ö. 8000 yıllarına dayanan kenevirden üretilmiş kumaş kalıntılarına rastlanmıştır. M.Ö. 1500'lü yıllarda da Anadolu'da kenevir üretimi yapıldığı bilinmektedir (Gizlenci ve diğ. 2019).



Şekil 2.2 Kenevir bitkisinin görseli (Gizlenci ve diğ. 2019)

Tarih boyunca kenevir, tekstil üretiminde ülke ekonomilerini şekillendirmiş ve önemlerini 19. yy sonlarına kadar da korumuşlardır. Ne var ki 20. yy'da gelişen teknoloji, pamuk lifinin etkili bir biçimde kullanılmasına olanak tanımış ve daha ince ipliklerle beraber daha hafif kumaşların üretimi mümkün olmuştur. 1930'lara gelindiğinde ticari kaygılarla çıkartılan esrar karşıtı yasalar kenevir tarımına büyük sekte vurmuştur. Ayrıca bu dönemlerde gelişen savaş sanayisine paralel olarak önem kazanmaya başlayan sentetik lifler piyasada boy göstermeye başlamıştır. Tüm bu etkenlerin birleşimiyle kenevir lifleri tekstil üretimindeki önemlerini kaybetmeye yüz tutmuşlardır (Gedik, 2012).

Ülkemizde, 1961 yılında kenevir tarımı yapılan 20.800 hektar alanda; 10.700 ton lif ve 5.000 ton tohum amaçlı lif üretimi gerçekleştirilmiştir. Ancak yüksek iş gücü, mekanizasyon eksikliği, sentetik lif ve elyafın daha ucuz olması, pamuk bitkisi ile rekabet edememesi, kenevirin tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de güç kaybetmesine sebep olmuştur. Ayrıca doğal yapısında var olan Tetrahidrokannabinol (THC) varlığından dolayı da kontrollü ekilmesi gereken bir bitkidir. Kontrol ve takipten sakınan üreticiler, kenevir tarımını yeğlemeyerek, farklı alternatif tarıma yönelmiştir. Ülkemizde kenevir ve lif sektörü çok eskilere dayanmakla birlikte, tarımı iyice azalmış ve yok olma noktasına gelmiştir. 1988 yılında 1200 ton olan kenevir tohumu üretimimiz, 2015 yılında 1 tona düşmüştür. 2017 yılında ise 10 hektar lif, 2 hektar tohum amaçlı olmak üzere toplam sadece 12 hektar alanda üretim gerçekleşmiştir. Bu

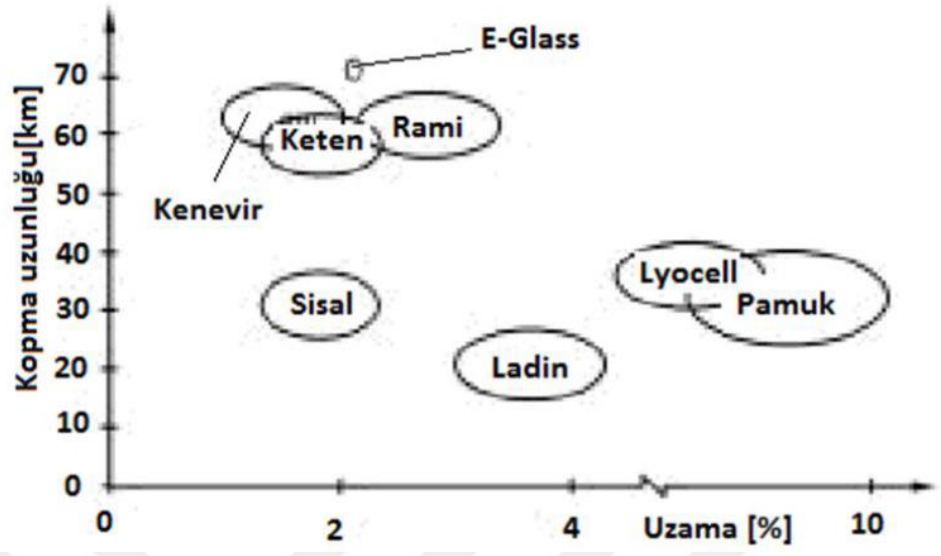
ekim alanı da Samsun ili Vezirköprü ilçesi Narlısaray beldesinde bulunmaktadır. Bu belde de üretilen kenevirler özellikle lif amaçlı olarak üretilmektedir (Gizlenci ve diğ. 2019). Son yıllarda ortaya çıkan hammadde sıkıntıları, çevresel kaygıların artması ve kenevirin birçok alanda kullanılabiliyor olmasından dolayı ülkemizde kenevir tarımına rağbet artmakta, devlet tarafından teşvik edilmekte ve desteklenmektedir. Şekil 2.3'te hasat sonrası kenevirin görseli verilmiştir.



Şekil 2.3 Kenevir sapı ve lifi görseli (Gizlenci ve diğ., 2019)

Kenevir lifleri, mükemmel mekanik özelliklere sahip olup, atık arıtma ihtiyaçlarını karşılamada biyolojik olarak parçalanabilen çevre dostu bir liftir (Merdan ve diğ. 2012). Bundan dolayı geniş bir kullanım alanına sahiptir. Tekstil sektöründe; kumaş, çanta, ayakkabı, giysi, halı, ağ, halat takımı üretiminde, endüstriyel alanda ise; bio kompozitler, otomotiv, yapı sektörü gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Gizlenci ve diğ. 2019).

Doğal liflerin mekanik özelliklerinden dolayı güçlendirme için ekleme yapılan kompozit malzemelerin nerede ve hangi amaç için kullanılacağı büyük önem taşımaktadır. Şekil 2.4'te (Sabır, 2015) doğal liflerin ve cam lifinin kopma uzunluğu verilmiştir. Kenevirin kopma uzunluğunun diğer doğal liflerden daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 2.4 Farklı takviye liflerinin özellikleri (Sabır, 2015)

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. SANDVIÇ LEVHALARIN ÜRETİMİ

Bu bölümde, araştırmaya konu olan sandviç levhaların yüzey kaplaması için kullanılan kontrplak ve ağaç kaplama (papel), orta tabaka dolgu malzemesi olarak kullanılan alüminyum ve polipropilen bal peteği, güçlendirme amaçlı takviye malzemesi olarak kullanılan kenevir örme kumaş ve levhaların birbirine bağlanmasında kullanılan yapıştırıcı madde hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca, levha taslağının üretim aşamalarını ve elde edilen sandviç panel numunelerine uygulanan standart test yöntemlerini kapsamaktadır.

Bu çalışmada araştırma amacına uygun olarak 16 ayrı kombinasyonda levha üretilmiştir. Deneysel çalışma için üretilen levhaların kodlaması Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1 Numune kodları

Levha no	Yüzey malzemesi	Çekirdek malzeme	Takviye malzemesi	Yapıştırıcı
1	Kontrplak	10 mm Al	-	Epoksi
2		10 mm Al	Kenevir lifi	
3		18 mm Al	-	
4		18 mm Al	Kenevir lifi	
5		10 mm PP	-	
6		10 mm PP	Kenevir lifi	
7		20 mm PP	-	
8		20 mm PP	Kenevir lifi	
9	Ağaç kaplama	10 mm Al	-	
10		10 mm Al	Kenevir lifi	
11		18 mm Al	-	
12		18 mm Al	Kenevir lifi	
13		10 mm PP	-	
14		10 mm PP	Kenevir lifi	
15		20 mm PP	-	
16		20 mm PP	Kenevir lifi	

3.1.2. Levha Üretimi İçin Gerekli Hammaddeler

3.1.2.1. Kontrplak

Üretilen sandviç levhaların yarısının yüzey tabakalarında 5mm kalınlıkta huş kontrplak (*Betula spp.*) kullanılmıştır. Kontrplak levhalar iç piyasadan temin edilmiştir ve yurtdışı menşelidir. Çalışmada kullanılan kontrplaklarda yapılan testler sonucu tespit edilen teknik özellikleri Tablo 3.2’ de verilmiştir.

Tablo 3.2 Kontrplak’ın teknik özellikleri

Teknik Özellik	Değer/Birim
Yoğunluk	697 kg/m ³
Lif yönüne paralel eğilme mukavemeti	31,4 N/mm ²
Lif yönüne dik eğilme mukavemeti	123,1 N/mm ²
Lif yönüne paralel E-Mod.	1380 N/mm ²
Lif Yönüne Dik E-Mod.	14960 N/mm ²

3.1.2.2. Ahşap Kaplama

Sandviç panellerin yüzey kaplaması için kullanılan diğer ürün ise 4 mm kalınlıkta huş soyma kaplamadır. Kaplamalar iç piyasadan temin edilmiştir ve yurtdışı menşelidir. Yüzey katmanında kullanılan huş kontrplak (5 mm kalınlık) ve papellerin (4 mm kalınlık) aynı kalınlıkta olması arzu edilmekle birlikte, piyasada aynı ağaç türünden aynı kalınlıkta kontrplak ve ahşap kaplama temin edilemediğinden birbirine yakın olan kalınlıklar tercih edilmiştir. Ahşap kaplamanın teknik özellikleri Tablo 3.3.’de verilmiştir.

Tablo 3.3 Ahşap kaplama teknik özellikleri (Bozkurt ve Erdin 2011)

Teknik Özellik	Değer/Birim
Tam kuru yoğunluk	610kg/m ³
Eğilme mukavemeti	147 N/mm ²
E-mod	7400 N/mm ²
Lif yönüne paralel basınç mukavemeti	137 N/mm ²

3.1.2.3. Tutkal

Bu çalışmada; Şekil 3.1’de görüldüğü gibi Teknomarin ESA 3000 markalı, laminasyon maksatları için kullanılan ve A ve B olmak üzere iki bileşenden oluşan epoksi esaslı yapıştırıcı kullanılmıştır. Bu tutkal ülkemizde üretim yapan yerli bir üreticiden temin edilmiştir.

Kullanılan tutkal solvent içermeyen ve ortam sıcaklığında kürlenme özelliğine sahip bir tutkaldır. Metallerden, camdan, ağaçtan, cam elyaf takviyeli polyesterden, jel kottan ve ayrıca diğer ürünlerden yapılmış unsurları birbirine veya bir diğerine yapıştırmak için kullanılmaktadır. Bu yapıştırıcı yüksek mukavemetteki yapıştırmaların elde edilmesinin yanı sıra suya ve solventlerin birçoğuna dirençlidir (URL-2, 2019).



Şekil 3.1 Kullanılan epoksi tutkalı

3.1.2.4. Alüminyum Bal Peteği

Alüminyum bal peteği, yapıları hafifletmek için kompozit panel imalatında kullanılan yeni nesil bir çekirdek malzemedir. Ağırlık avantajı olması, basma direnci, kayma direnci, sıcaklığa ve korozyona karşı dayanıklılığı ve geri dönüşüm imkanlarıyla ön plana çıkmaktadırlar (Gül 2018). Alüminyum bal peteğinin bu avantajları farklı kullanım amaçları için yeni nesil hafif sandviç levhaların üretiminde ön plana çıkmaktadır.

Bu çalışmada, sandviç panellerin çekirdek dolgu malzemesi olarak biri 10 mm yükseklikte ve 6,3 mm çekirdek genişliğinde, diğeri ise 18 mm yükseklikte 10,39 mm çekirdek genişliğinde olmak üzere iki farklı boyutta sıkıştırılmış alüminyum bal peteği kullanılmıştır. Alüminyum bal peteği; altıgen yapıda, 0,05 mm et kalınlığında, alüminyum alaşım 3005 H19 serisi, ve yoğunluğu 45-55 kg/m³ olan bir çekirdek malzemesidir.

Ülkemizde üretim yapan yerli bir üreticiden 10 mm Al bal peteği 1 m² fiyatı 17\$, 18 mm Al peteği 1 m² fiyatı 18\$ olarak Şekil 3.2’de görüldüğü üzere sıkıştırılmış olarak temin edilmiştir. Üretimden önce şekil 3.3’de görüldüğü gibi petekler altıgen forma gelene kadar açılmıştır.



Şekil 3.2 Sıkıştırılmış alüminyum bal peteği görseli



Şekil 3.3 Açılmış Alüminyum bal peteği görseli

3.1.2.5. Polipropilen Bal Peteği

Polipropilen (PP) bal peteği, genelde yapıları hafifletmek için kompozit panel imalatında kullanılan yeni nesil bir çekirdek malzemedir. Hafif olmaları, korozyona dayanıklı olmaları, yüksek basınç ve eğilme mukavemeti olması, ses ve ısı yalıtım özelliğinin yüksek olması, kimyasallara, neme, deniz suyuna, mantar ve bakterilere dayanımının yüksek olması, darbe

dayanımının yüksek olması gibi teknik özellikleri, bu malzemenin günümüzde kullanım alanlarını genişletmiştir (Gül 2018).

Bu çalışmada ikinci tip çekirdek dolgu malzemesi olarak polipropilen bal peteği kullanılmıştır. Kullanılan PP bal petekleri 10 ve 20 mm yükseklikte 6,4 mm hücre genişliğinde ve 80-90 kg/m³ yoğunlukta gofrajlı peteklerdir. Ülkemizde üretim yapan yerli bir üreticiden 10 mm PP bal peteği 1 m² fiyatı 9\$, 20 mm PP peteği 1 m² fiyatı 14\$ olarak temin edilmiştir. Kullanılan PP bal peteği Şekil 3.4'te görülmektedir.



Şekil 3.4 Gofrajlı poliporopilen bal peteği görseli

3.1.2.6.Kenevir

Takviye malzemesi olarak kullanılan kenevir ülkemizde üretimin en fazla olduğu Samsun ili Vezirköprü ilçesi Narlıdere köyünden demet halinde temin edilmiştir (Şekil 3.5)



Şekil 3.5 Demet halinde (solda) ve liflere ayrılmış kenevir (sağda)

Kenevirler öncelikle lif olarak ayrıştırılmıştır. Daha sonra 2cm×2cm aralıklı olarak ayarlanmış dokuma tezgâhında şekil 3.6’da gösterildiği üzere basit el yordamıyla örülmüştür.



Şekil 3.6 Dokuma tezgahında örülen kenevir lifleri

Örülen kenevir lifinin lif kalınlığı 0,11-0,25 mm arasındadır. Örülen lifler arası açıklık 15,40-18,60 mm arasındadır. Lif genişliği 2,20-5,00 mm arasındadır. Örülen el örmesi kenevir liflerinin ağırlığı 130-150 g arasındadır. Örülen kenevir kumaşların boyutları yaklaşık 100*150 cm’dir. Her bir kumaşın birim alan ağırlığı 85-100 gr/m² olarak ölçülmüştür. Bir sandviç levhada çekirdek malzemenin alt ve üst tarafı olmak üzere iki adet kullanılmıştır.

Kenevir lifi, çok iyi lif kalitesi, yüksek mukavemet ve dayanıklılık özellikleri gösteren doğal bir liftir (Chen ve diğ, 2007). Kenevir lifinin bu üstün fiziksel özellikleri yanında ekolojik bir malzeme olması ve ayrıca ülkemizde son yıllarda üretiminin teşvik edilmesi bu çalışmamızda farkındalık yaratma adına takviye malzemesi olarak kullanmamızda etkili olmuştur.

3.1.3. Levhaların Üretimi

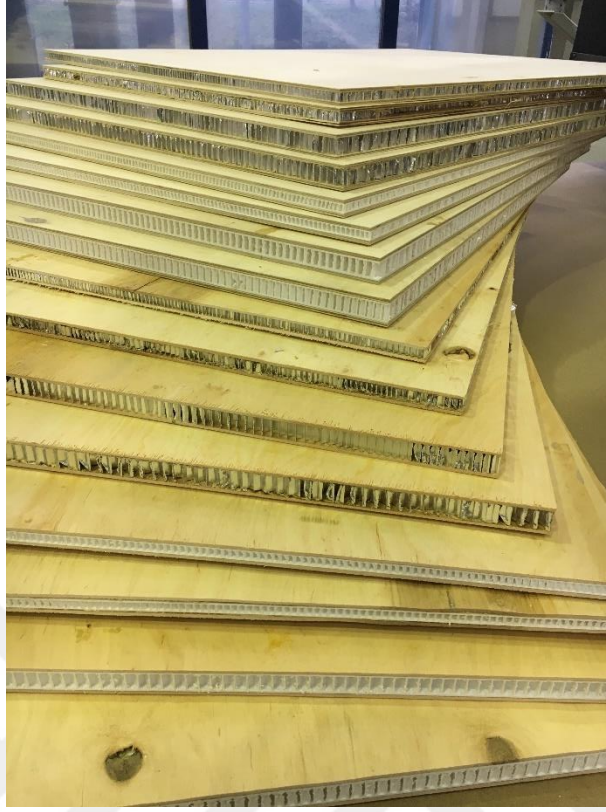
Deneme levhaların, yüzey malzemesi boyutlandırması ve kenevir kumaş dokuması TSE Yapı Malzemeleri Laboratuvarı Gebze Müdürlüğünde hazırlanmış, tutkallama ve presleme işlemleri Gebze’de kapı üretimi yapan bir firmada gerçekleştirilmiştir. Yapıştırma işlemi başlamadan önce yapıştırılacak parçaların yüzeyleri temizlenmiş, üzerlerindeki toz vb. atıklar uzaklaştırılmıştır. Tutkal 1:1 oranında sertleştirici ile karıştırılmış ve Şekil 3.7’de görüldüğü üzere levha ve çekirdek malzeme üzerine bir spatula yardımıyla uygulanmıştır. Sandviç

levhalar $1,5 \text{ m}^2$ olarak üretilmiş ve her levha için 500 g A bileşeni ve 500 g B bileşeni olmak üzere toplam 1000 g tutkal kullanılmıştır. Toplamda kullanılan tutkal miktarı her levha için eşit olup yaklaşık 667 g/m^2 'dir. Kullanılan tutkal miktarı toplamda aynı olmasına rağmen Al çekirdeğinin yüzeyinin açık olması ve PP çekirdeğin yüzeyinin gofrajlı olması nedeniyle sandviç panellerin yapışma yüzeylerine ayrı gramajda tutkal uygulanmıştır. Al bal peteklerin yüzeyleri açık olduğundan tutkal sadece yüzey malzemesine uygulanmış olup herbiri yaklaşık $1,5 \text{ m}^2$ olan bir yüzeye yaklaşık 333 g/m^2 tutkal kullanılmıştır. PP bal petekler gofrajlı olduğu için gofrajlı yüzeye 166 g/m^2 ve yüzey malzemesine 166 g/m^2 tutkal sürülmüştür. Daha sonra tutkal sürülen yüzeyler birbirleri üzerine kapatılmıştır. Oluşturulan bal peteği sandviç levha taslağında tutkalın kürlenmesi için yaklaşık 12 saat boyunca 35 bar basınç ($3,5 \text{ MPa}$) altında soğuk preste bekletilmiştir. Presten çıkarılan levhalar kenarları gönyelenerek Şekil 3.8'de görüldüğü üzere yaklaşık $900 \text{ mm} \times 1500 \text{ mm}$ boyutlarında ebatlanarak levha üretimi tamamlanmıştır.

Üretilen levhalar laboratuvar deneyleri için standartların belirttiği ölçülerde deney numuneleri hazırlanmak üzere $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık ve $\%65 \pm 5$ bağıl nem koşullarına sahip iklimlendirme odasına alınarak bekletilmiştir.



Şekil 3.7 Sandviç levha üretim aşamaları



Şekil 3.8 Üretilen sandviç levhalar

3.2. TEST YÖNTEMLERİ

Yapılan tez çalışmasının bu bölümünde, üretilen 16 ayrı sandviç levhanın fiziksel, mekanik, ısı iletkenlik ve akustik özelliklerinin tespiti için yapılan testlerin metodolojisi anlatılmıştır. İlgili ulusal ve uluslararası standartlar, deney numunelerinin hazırlanması, deneylerin yapılışı ve deneylerin yapıldığı makine ve teçhizatlar hakkında bilgiler verilmiştir.

Bilimsel araştırmalarda numune sayısı tespiti ve numune alma işleminin en önemli aşamalardan olduğu bütün araştırmacılar tarafından kabul edilen bir gerçektir. Seçilen örneklerin, alındığı toplumu mümkün olduğu kadar temsil edecek şekilde rastgele olması önemlidir. Bundan dolayı alınan numune sayısının bilimsel çalışmanın ve test sonuçlarının hassasiyetini göstermesi açısından önemli olduğu bilinmektedir. Fiziksel ve mekanik testler için daha önce yapılan araştırmalara göre örnek sayısının 15 ila 30 arasında olmasının yeterli olacağı belirtilmektedir. Bundan dolayı deneyler, üretilen sandviç panellerin boyutları da göz önüne alınarak elde edilebilecek maksimum deney numunesi elde edilmesine dikkat edilmiştir. Bundan dolayı fiziksel ve mekanik deneylerde 20 adet deney numunesi kullanılmıştır. Isı iletkenlik testi için

1'er numune, çarpma mukavemeti testi için 3'er numune ve akustik deneyler için ise 15'er adet numune kullanılmıştır.

Bu çalışmada gerçekleştirilen deney metodları numune ebatları ve numune miktarları detaylı olarak Tablo 3.2'de verilmiştir. Bu çalışma kapsamında deneyler Türk Standardları Enstitüsü Yapı Malzemeleri Laboratuvarı Gebze Müdürlüğü'nde ve Tuzla Yapı Malzemeleri Yangın Akustik Laboratuvarı Müdürlüğü'nde yapılmıştır.

Tablo 3.4 Çalışmada uygulanan standard deney metodları ve numune adetleri

Sıra no	Yapılacak deney	Deney standardı	Numune âdeti	Numune boyutu
1	Rutubet deneyi	TS EN 322	20 adet	50mm*50mm
2	Yoğunluk deneyi	TS EN 323	20 adet	50mm*50mm
3	Isı iletkenlik deneyi	TS EN 12664	1 adet	500mm*500mm
4	Dik çekme deneyi	TS EN 319	20 adet	50mm*50mm
5	Basınç deneyi	ASTM C365	20 adet	75mm*75mm
6	Büyük çaplı bilye ile darbe dayanımı deneyi	TS EN 438-2	3 adet	230mm*230mm
7	Ses iletim kaybı	TS EN ISO 10534-2	15 adet 15 adet	100mm çapında 28mm çapında
8	Eğilme kuvveti (Boyuna yönde)	ASTM C393	20 adet	50mm*200mm
9	Eğilme kuvveti (Enine yönde)	ASTM C393	20 adet	50mm*200mm
10	Çekirdek makaslama mukavemeti (Boyuna yönde)	ASTM C393	20 adet	50mm*200mm
11	Çekirdek makaslama mukavemeti (Enine yönde)	ASTM C393	20 adet	50mm*200mm
12	Yüzey gerilmesi (Boyuna yönde)	ASTM C393	20 adet	50mm*200mm
13	Yüzey gerilmesi (Enine yönde)	ASTM C393	20 adet	50mm*200mm

3.2.1. Fiziksel Testler

3.2.1.1. Rutubet Tayini

Deney numunelerinin rutubetleri, TS EN 322/Nisan 1999 “Ahşap Esaslı Levhalar-Rutubet Miktarının Tayini” standardına göre yapılmıştır. Rutubet miktarı tayininde, deney parçasından

numune alındıktan hemen sonra 0,01 g hassasiyette tartılmıştır. Tartılan deney numuneleri kurutma fırınında $(103 \pm 2) ^\circ\text{C}$ sıcaklıkta değişmez kütleye ulaşmaya kadar kurutulmuştur. Deney numuneleri kurutma fırınından çıkarılarak oda sıcaklığına ulaşması için desikatöre konulmuştur. Daha sonra tekrar tartılmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 Numunelerin tartılması, kurutulması ve desikatörde soğutulması

Her deney numunesinin rutubet miktarı (H), yüzde olarak, % 0,1 yaklaşımla ve Eş.3.1’ deki formülle hesaplanmıştır.

$$H = \left(\frac{m_H - m_O}{m_O} \right) \times 100 \quad (3.1)$$

Burada;

m_H : Deney parçasının numunenin alınması sırasındaki kütlesi (g)

m_O : Deney parçasının kurutmadan sonraki kütlesi (g).

Her bir levhadan alınan 20 adet deney numunesi için bulunan rutubet miktarlarının aritmetik ortalaması hesaplanarak levhaların rutubetleri bulunmuştur.

3.2.1.2. Yoğunluk Tayini

Yoğunluk tayini deneyi, TS EN 323/Nisan 1999 “Ahşap Esaslı Levhalar-Birim Hacim ağırlığı Tayini” standardına göre yapılmıştır. Bu standard, ahşap esaslı levhaların deney parçalarının, birim hacim ağırlığının tayin edilmesi metodunu kapsamaktadır. Birim hacim ağırlığı, her bir deney parçası kütlesinin, hacmine oranı yoluyla tayin edilir. Deney parçaları, kare biçiminde ve anma kenar uzunluğu 50mm*50 mm’dir.

Deney numuneleri, % (65 ± 5) nisbi rutubet ve $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ sıcaklık şartlarındaki iklimlendirme odasında değişmez kütleye ulaşınca kadar bekletilmiştir. Daha sonra Şekil 3.10’da gösterildiği gibi, numunelerin boyutları 0,01 mm hassasiyet ile ölçülmüş ve ağırlığı 0,01 g hassasiyet ile tartılmıştır.



Şekil 3.10 Yoğunluk deneyi aşamaları

Her deney numunesinin birim hacim ağırlığı, Eş. 3.2’deki formülle hesaplanmıştır ve kg/m^3 olarak ifade edilmiştir.

$$p = \left(\frac{m}{b_1 \times b_2 \times t} \right) \times 10^6 \quad (3.2)$$

Burada;

p : Birim hacim ağırlığı (kg/m^3)

m : Deney parçasının kütlesi (g),

b_1, b_2 : Deney parçasının boyutları (mm),

t : Deney parçasının kalınlığı (mm).

Her bir levhadan alınan 20 adet deney parçaları için bulunan birim hacim ağırlıklarının aritmetik ortalaması hesaplanarak levhanın birim hacim ağırlığı bulunmuştur.

3.2.2. Mekanik Testler

3.2.2.1. Levha Yüzeyine Dik Çekme Mukavemeti

Deney numunelerinin levha yüzeyine dik çekme dayanımı, TS EN 319/Nisan 1999 “Yonga levhalar ve lif levhalar-Levha yüzeyine dik çekme dayanımı tayini” standardına göre yapılmıştır. Bu standard; deney parçalarının yüzeyine dik yönde ve kırılma meydana gelinceye

kadar, üniform bir çekme kuvveti uygulanarak, deney parçalarının yüzeye dik yöndeki çekme dayanımı prensibine dayanmaktadır. Deney numuneleri, Şekil 3.11’de görüldüğü üzere % (65 ± 5) nisbi rutubet ve $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ sıcaklık şartlarındaki iklimlendirme odasında, değişmez kütleye ulaşuncaya kadar bekletilmiştir. 50 mm $\times$ 50 mm boyutlarındaki her bir deney numunesi, sıcak silikon kullanılarak yükleme bloklarına yapıştırılmıştır. Bloklara yapıştırılmış numuneler Şekil 3.11’de verilmiştir.



Şekil 3.11 Dik çekme deneyi aşamaları

Her bir deney numunesi şekil 3.11’de gösterildiği üzere cihaza yerleştirilmiş ve deney gerçekleştirilmiştir. Deney parçasının yüzeyine uygulanan maksimum çekme kuvvetinin, deney parçasının yüzey alanına oranı yardımı ile yüzeye dik çekme dayanımı hesap edilmiştir.

Levha yüzeyine dik yöndeki çekme mukavemeti f , Eş. 3.3’de verilen formüle göre hesaplanır ve birimi N/mm^2 ’dir.

$$f = \left(\frac{F_{max}}{a \times b} \right) \quad (3.3)$$

Burada;

$F_{\max}$: Kopma yükü (N)

a,b: Deney numunelerinin uzunluk ve genişliği (mm)

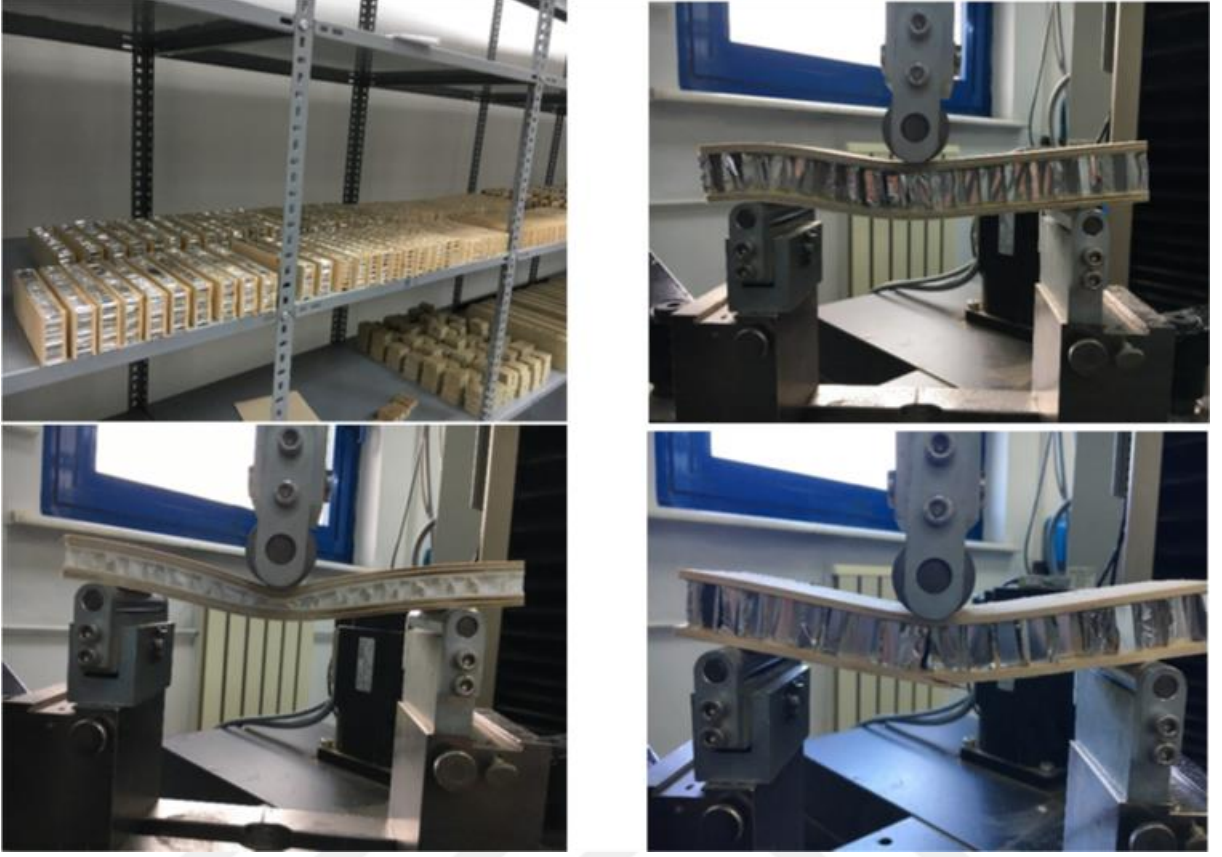
Her bir levhadan alınan 20 adet deney numuneleri için bulunan dik çekme mukavemetinin aritmetik ortalaması alınarak levhaların dik çekme mukavemeti tayin edilmiştir.

3.2.2.2. Eğilmede Maksimum Kuvvet

Eğilmede maksimum kuvvet tayini deneyi ASTM C393 “Standard test method for core shear properties of sandwich constructions by beam flexure” standardına göre yapılmıştır.

Bu standard kapsamında; kalınlığı 20mm’den ince olan numuneler için 200mm*50mm boyutlarında, kalınlığı 20mm’den fazla olanlar için ise 200mm*60mm boyutlarında 20 adet enine yönde 20 adet boyuna yönde olacak şekilde hazırlanan numuneler üzerinde 3 nokta eğilme deneyleri yapılmıştır. Numuneler, % (65 ± 5) nisbi rutubet ve $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ sıcaklık şartlarında, değişmez kütleye ulaşınca kadar kondisyonlama odasında bekletildikten sonra deneye tabi tutulmuştur. Deneyler TSE Yapı Malzemeleri Laboratuvarı Gebze Müdürlüğünde ahşap laboratuvarında Zwick Roell Z 100 markalı çekme basma cihazında gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.12’de numunelerin kondisyonlanması ve deneylerin yapılışı ile ilgili görseller verilmiştir. Deney örneklerinin kalınlık ve genişlikleri 0,01 mm hassasiyette kumpas ile ölçülmüştür.

Deneyin prensibi; iki mesnet arasına serbest olarak yerleştirilen deney numunesine, orta yerinden bir kuvvet uygulanarak kırılma anındaki maksimum kuvvetin tespit edilmesi esasına dayanmaktadır. Mesnetler arası mesafe 150 mm olarak ve deney hızı 7mm/dk olarak ayarlanmıştır. ASTM C393 deney hızı için, numunenin 3 ila 6 dk içerisinde kırılması gerektiğini belirtmektedir. Bu durumda yapılan denemeler sonucu ortalama kırılma süresi 7mm/dk’ya tekabül etmektedir.



Şekil 3.12 Eğilme deneyi aşamaları

3.2.2.3. Çekirdek Makaslama Mukavemeti

Üç nokta eğilmede çekirdek makaslama mukavemeti deneyi ASTM C393 “Standard test method for core shear properties of sandwich constructions by beam flexure” standardına göre yapılmıştır.

Bu deney, madde 3.2.2.2’de eğilme deneyinde yapılan iş ve işlemlerin aynı şartlarda uygulanması ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.12’de verilen görseller bu deney içinde geçerlidir.

Çekirdek makaslama mukavemeti, Eş. 3.4’de verilen formüle göre hesaplanmıştır;

$$f_s = \frac{F_{max}}{(d+c) \times b} \quad (3.4)$$

Burada;

f_s : Çekirdek makaslama mukavemeti N/mm²

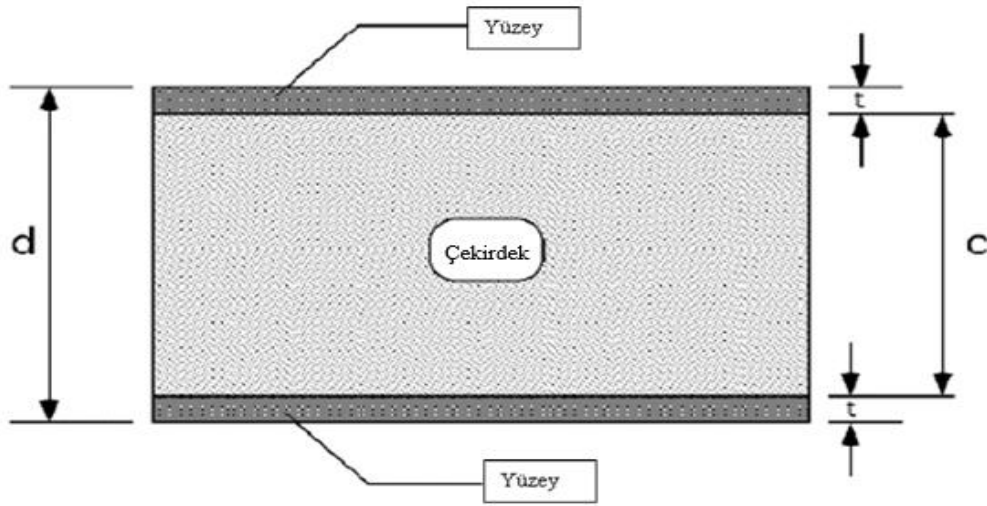
F_{max} : Maksimum kuvvet (N),

d: Sandviç panelin kalınlığı mm,

c: Çekirdek malzemenin kalınlığı mm,

b: Sandviç panelin genişliği mm,

Şekil 3.13’de çekirdek makaslama mukavemeti hesabı için gerekli bileşenler görsel olarak verilmiştir.



Şekil 3.13 Eğilme deneyi numunesi bileşen elemanlarını görünümü

3.2.2.4. Yüzey Gerilme Mukavemeti

Üç nokta eğilmede yüzey gerilme mukavemeti deneyi ASTM C393 “Standard test method for core shear properties of sandwich constructions by beam flexure” standardına göre yapılmıştır.

Bu deney, madde 3.2.2.1’de eğilme mukavemeti deneyinde yapılan iş ve işlemlerin aynı şartlarda uygulanması ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.12’de verilen görseller bu deney içinde geçerlidir.

Yüzey gerilme mukavemeti, Eş. 3.5’de verilen formüle göre hesaplanmıştır;

$$\sigma = \frac{F_{max} \times S}{2t \times (d+c) \times b} \quad (3.5)$$

Burada;

σ : Yüzey gerilme mukavemeti N/mm^2

F_{max} : Maksimum kuvvet (N),

S: Mesnetler arası mesafe mm,

t: Yüzey kalınlığı mm,

d: Sandviç panelin kalınlığı mm,

c: Çekirdek malzemenin kalınlığı mm,

b: Sandviç panelin genişliği mm,

3.2.2.5. Çarpma Mukavemeti

Çarpma mukavemeti tayini TS EN 438-2/Mart 2016 “Dekoratif lamine levhalar- (hpl)- Yüksek basınçta sıkıştırılmış- Termoset reçine esaslı bölüm 2: Özelliklerinin tayini” standardının madde 21 büyük çaplı bilye ile darbe mukavemeti tayini esasına göre yapılmıştır.

Deneyler, TSE Yapı Malzemeleri Gebze Müdürlüğünde ahşap laboratuvarında şekil 3.14’de görseli verilen EMS markalı büyük bilye serbest düşme deney cihazında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.14 Büyük bilye serbest düşme deney cihazı ve numune görüntüsü

Deney numuneleri $230 \text{ mm} \times 230 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ boyutlarında hazırlanmış ve deneylere başlamadan önce $\%50 \pm 5$ nisbi rutubet ve $23 \pm 2^\circ\text{C}$ sıcaklık şartlarındaki klimatize odada değişmez kütleye ulaşmaya kadar bekletilmişlerdir.

Deneylerde, Şekil 3.15’de görseli verilen 3 farklı büyüklükte ve çapta çelik bilye kullanılmıştır. Birinci bilyenin kütlesi 324 ± 5 g ve çapı $42.8 \pm 0,2$ mm, ikinci bilyenin kütlesi 400 ± 5 g ve çapı $46 \pm 0,2$ mm., üçüncü bilyenin ise kütlesi 1040 ± 5 g ve çapı $63 \pm 0,2$ mm.’dir.



Şekil 3.15 Çarpma mukavemeti testinde kullanılan çelik bilyeler

Çarpma mukavemeti deneyi, 2000mm yükseklikten serbest bırakılan üç farklı büyüklükteki çelik bilyenin numune üzerinde meydana getirdiği hasarın normal laboratuvar aydınlatma koşullarında çıplak gözle görülebilen hasarların görsel olarak muayene edilmesi ve kayda geçirilmesi şeklinde yapılmıştır. Oluşan herhangi bir çatlak, çökme, yarık, kırık veya tam parçalanma hasar olarak not edilmiştir. Ayrıca potansiyel hasar enerjisi ASTM D5420 “Standard Test Method for Impact Resistance of Flat, Rigid Plastic Specimen by Means of a Striker Impacted by a Falling Weight” standardında belirtilen formüle göre hesaplanarak üç farklı potansiyel enerji karşısında oluşan hasarlar da karşılaştırılmıştır.

Potansiyel enerji Eş. 3.6’da verilen formül ile hesaplanmıştır;

$$E = m \times g \times h \quad (3.6)$$

Burada;

E : Potansiyel enerji Joule,

m : Kütle kg,

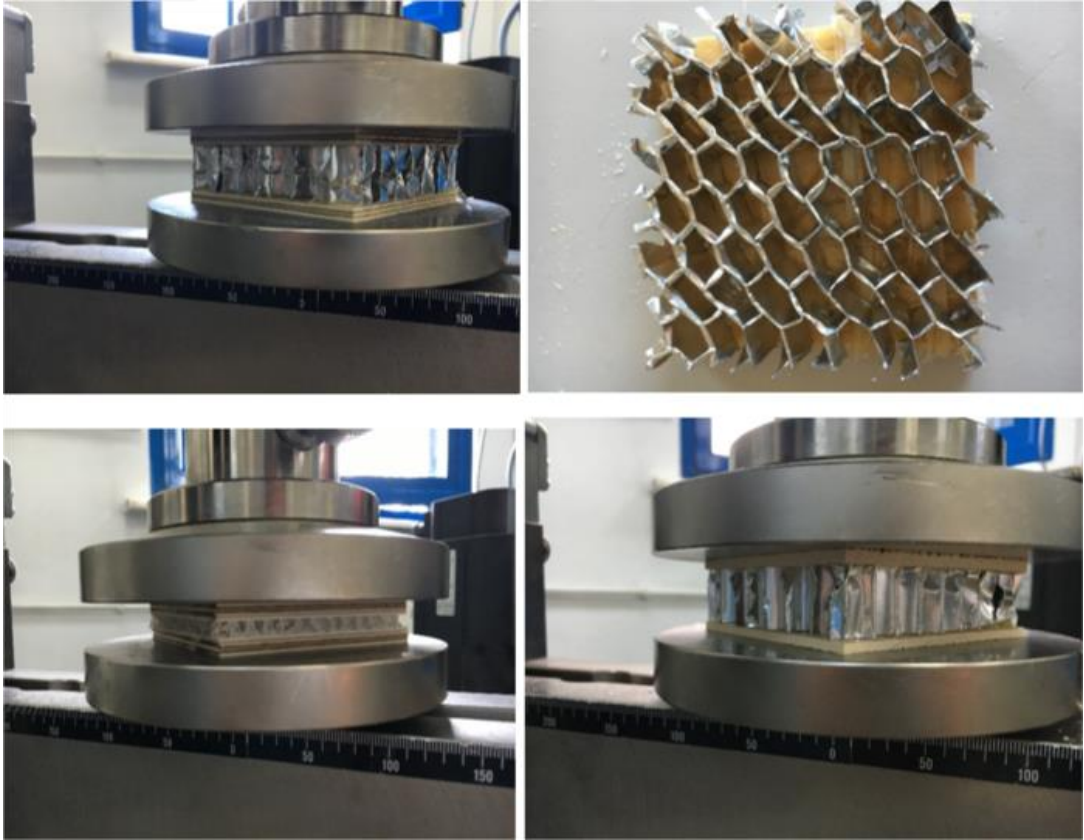
g : Yer çekim ivmesi $9.81.10^{-3}$

h : Yükseklik mm,

3.2.2.6. Basma Mukavemeti

Basma mukavemeti tayini deneyi, ASTM C365/C365M-16 “Standard Test Method for Flatwise Compressive Properties of Sandwich Cores” standardına göre yapılmıştır. Bu standard, sandviç panellerin bileşenlerinden biri olan orta tabaka çekirdeğinin basma mukavemetinin tayin edilmesini kapsamaktadır. Basma mukavemeti, her bir deney parçasının en yüksek sıkıştırma yükünün, alana oranı yoluyla tayin edilir. Deney parçaları, kare biçiminde ve anma kenar uzunluğu 75 mm×75 mm’dir. Deneyler TSE Yapı Malzemeleri Laboratuvarı Gebze Müdürlüğünde ahşap laboratuvarında Zwick Roell Z 100 markalı çekme basma cihazında gerçekleştirilmiştir. Test hızı, standartta belirtildiği gibi kırılma 3 ila 6 dakika arasında olacak şekilde ayarlanmıştır.

Deney numuneleri test öncesinde 65 ± 5 nisbi rutubet ve $20 \pm 2^\circ\text{C}$ sıcaklık şartlarındaki şartlandırma odasında, değişmez kütleye ulaşınca kadar bekletilmiştir. Şekil 3.16’da 75 mm × 75 mm boyutlarındaki numunelerde testin yapılışı, deney anında numuneler üzerinde oluşan hasar ve deney sonucunda çekirdekte meydana gelen hasar görülmektedir.



Şekil 3.16 Basma mukavemeti deney görselleri

Basma mukavemeti tayini F , Eş. 3.6 formülüne göre hesaplanmıştır.

$$F = \frac{F_{max}}{a \times b} \quad (3.6)$$

Burada;

F : Basma mukavemeti N/mm²

F_{max} :Kırılma anındaki max kuvvet (N)

a, b : Deney numunelerinin uzunluk ve genişliği (mm)

Her bir levhadan alınan 20 adet deney numuneleri için bulunan basma mukavemeti sonuçları aritmetik ortalaması alınarak levhaların basma mukavemeti tayin edilmiştir.

3.2.3. Isı İletkenlik Katsayısının Belirlenmesi

Deney numunelerinin ısı iletkenlik katsayısı tayini TS EN 12664/Şubat 2009 “Yapı malzemeleri ve mamulleri - ısıl direncin, korumalı tablalı ısıtıcı ve ısı akı ölçerin kullanıldığı metotlarla tayini - ısıl direnci orta ve düşük seviyede olan kuru ve rutubetli mamuller” standardına göre yapılmıştır.

Deneyde, her levha tipi için 1 adet 500 mm×500 mm boyutlarında numune kullanılmıştır. Deneyler TSE Tuzla Yapı Malzemeleri Yangın Akustik Laboratuvarı Müdürlüğü yalıtım laboratuvarında yapılmıştır. Numuneler, ısıl iletkenliğin belirlenebilmesi için Şekil 3.17’de görülen bilgisayar kontrollü Taurus marka TCA 500 model koruma tablalı ısıl iletkenlik ölçüm cihazına yerleştirilerek teste tabi tutulmuştur. Ölçüm işlemi sonuçlandığı zaman test programı otomatik olarak deneyi sonlandırmakta ve ısı iletkenlik katsayı değeri kaydedilmektedir.



Şekil 3.17 Isıl iletkenlik deney cihazı ve numunesi

Isıl iletkenlik katsayısı “ λ ” aşağıdaki Eş. 3.7’ye göre W/(m.K) biriminde bilgisayar kontrollü olarak hesaplanmıştır.

$$\lambda = \frac{\phi d}{A(T_1 - T_2)} \quad (3.7)$$

Burada;

Φ : Isıtma biriminin ölçme bölümüne sağlanan ortalama güç (W),

T1: Deney parçasının / deney parçalarının sıcak tarafının ortalama sıcaklığı (°C),

T2: Deney parçasının / deney parçalarının soğuk tarafının ortalama sıcaklığı (°C),

A: Deney numunesinin ölçme alanı (mm²),

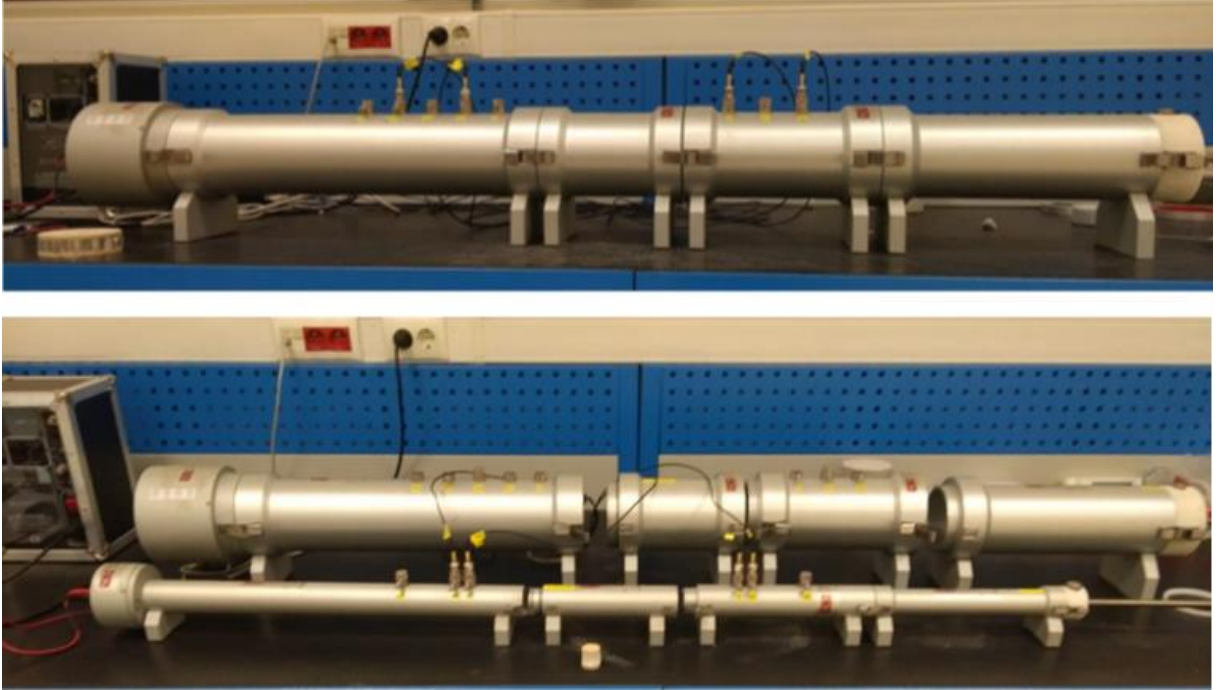
d: Deney parçasının / deney parçalarının ortalama kalınlığı (mm)

3.2.4. Ses Yalıtımının Belirlenmesi

Deneyler TSE Tuzla Yapı Malzemeleri Yangın Akustik Laboratuvarı Müdürlüğünde, TS EN ISO 10534-2 “Akustik-Empedans borularındaki ses absorpsiyon katsayısının ve empedansın tayini-Bölüm 2:Aktarım fonksiyonu metodu” standardına göre yapılmıştır. Bu standard,

malzeme yüzeyine dik gelen ses için ses absorplayıcılarının ses absorpsiyon kat sayısının tayini hususunda sayısal bir analiz sistemi ile iki mikrofon yerinin ve empedans borularının kullanımını kapsar. Ses absorplayıcı malzemelerin empedans oranları bu malzemelerin hava akışı direnci, gözeneklilik, esneklik ve yoğunluk gibi fiziksel özellikleriyle ilişkilidir.

Bu deney metodunda, Şekil 3.18’de görüldüğü gibi bir ucunda ses kaynağı bağlı olan bir empedans borusu kullanır ve düzenek esas itibarı ile, bir ucunda ses kaynağı orta kısmında numune tutucu ve son kısmında yansıtıcı olan tüptür. Deney numunesi orta kısımda bulunan numune tutucuya yerleştirilir. Mikrofonlar numuneden önce ve sonra olmak üzere ikişer adet belirli aralıklarla olmak üzere konumlandırılır. Empedans borusu deney bölümünde, duvar (örneğin) düzgün en kesitli rijit, pürüzsüz, deliksiz ve gözeneksiz olmalıdır. Duvarlar, ses sinyallerinin meydana getirdiği titreşimler ile uyarılmaması ve borunun çalışma frekansı aralığında titreşmemesi için yeteri kadar ağır ve et kalınlığına sahip olması gerekmektedir (TS EN ISO 10534-2).



Şekil 3.18 Empedans tüpleri

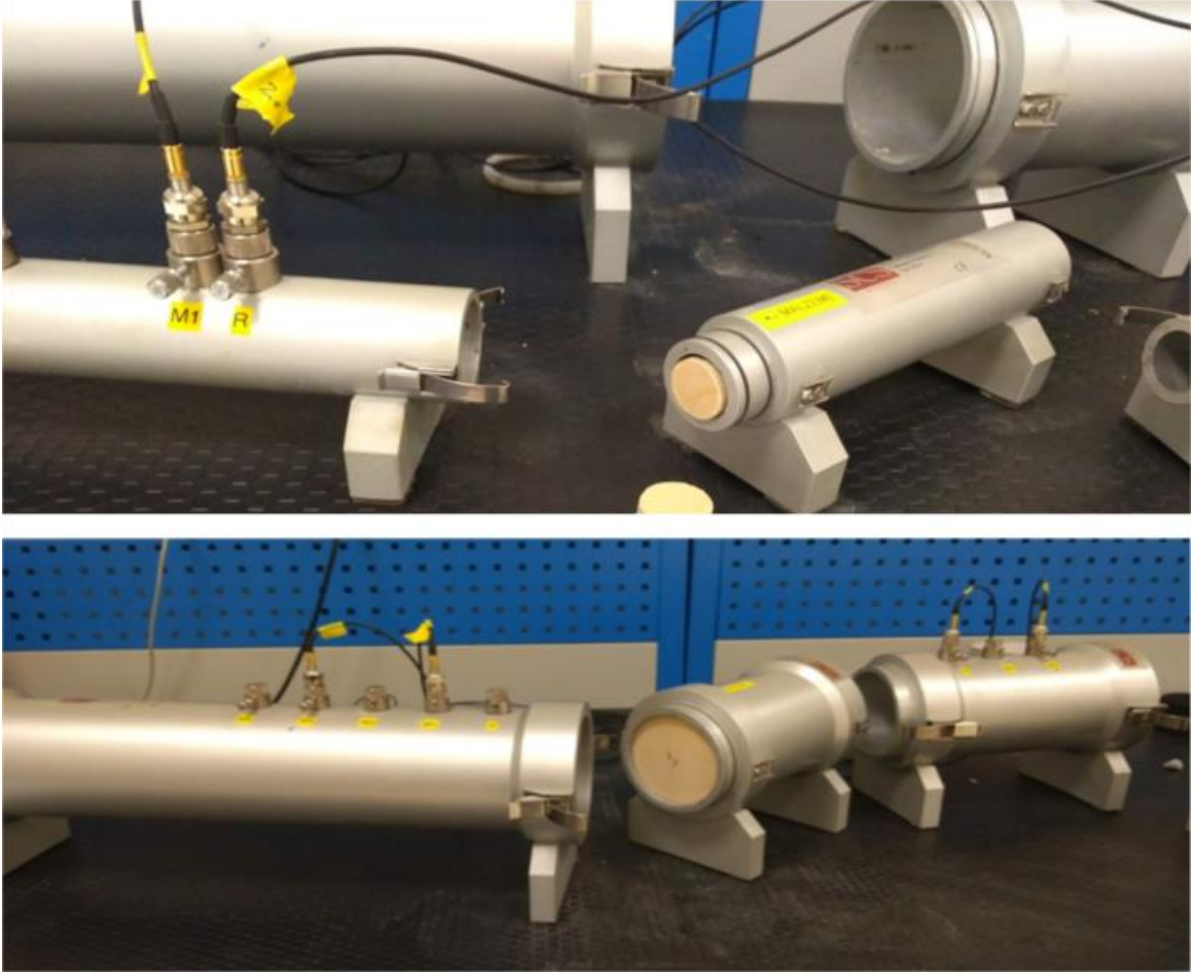
Bu deney metodunda, düzlem dalgalar bir gürültü kaynağı ile boru içinde üretilir ve girişim alanının ayrışması, duvara monte edilmiş tekli mikrofon veya boru içinde enine tekli mikrofon kullanılarak, sabit iki yerde akustik basıncın ölçülmesi ve kompleks akustik aktarım

fonksiyonunun ardışık olarak hesaplanması, gelen ses dalgasının absorplanması ve akustik malzemelerin empedans oranıyla hesaplanarak gerçekleştirilir (TS EN ISO 10534-2).

Deney numunesi, Şekil 3.19'da görüldüğü gibi düz, rijit, pürüzsüz ve hava doldurulmuş empedans borusunun orta kısmında yer alan numune tutucuya yerleştirilir. Düzlem dalgalar boru içinde bir ses kaynağı ile üretilir ve numuneye yakın iki yerde ses basınçları ölçülür. İkili mikrofon sinyalinin kompleks akustik aktarım fonksiyonu tayin edilir ve dik gelme durumunda kompleks yansıtma faktörünü, ilk gelme durumunda absorpsiyon katsayısı ve deney malzemelerinin empedans oranını hesaplamak için kullanılmaktadır (TS EN ISO 10534-2). Şekil 3.19'da görüldüğü üzere düşük frekanslarda ölçüm için 100 mm'lik tüp (100Hz-1500Hz) ve yüksek frekanslarda ölçüm için 28 mm'lik tüp (1600Hz-6300Hz) kullanılmıştır.

Deneylere başlamadan önce hoparlör, sıcaklığın kararlı hale gelmesi amacıyla 10 dakika süresince çalıştırılmıştır. Ön deney ve ölçmeler yapıldıktan sonra deney numunesi Şekil 3.19'da görüldüğü gibi tüp içerisine yerleştirilmiştir. Sinyal üretici ile empedans tüpü arasındaki bağlantı sağlandıktan sonra farklı frekans aralığında (100Hz-6300Hz) her bir 1/3 oktav bant merkez frekansında sinyal oluşturulmuş ve uygun yazılım aracılığıyla sonuçlar elde edilmiştir. Her bir sandviç panel numunesi için 15 adet 100 mm çaplı numune ve 15 adet 28 mm çaplı numune üzerinde ölçümler yapılarak her bir ölçümün kendi içinde aritmetik ortalaması alınmıştır. Bir sandviç levhanın ses yalıtımını ölçmek için 100-6300Hz aralığında toplam 30

adet numune kullanılmıştır. Numunelerin etrafından hava kaçışını önlemek için conta kullanılmıştır.



Şekil 3.19 Numunelerin empedans tüplerine yerleştirilmesi

3.2.5. İkinci Deneme Levhaların Üretimi

Ana çalışmada üretilen kenevir takviyeli sandviç levhalarda mekanik deney sonuçlarının kenevir ile güçlendirmeden beklenen iyileşmeyi göstermediği görülmüştür. Tez izleme komitesinin (TİK) 28.06.2021 tarihinde yapılan toplantısında bunun en önemli nedeninin güçlendirme malzemesi olarak basit bir el tezgahında kenevir lifleri ile dokunan kumaşın yeterince sık dokunamaması ve bu durumun hem birim alana düşen kenevir lifi miktarının yetersiz kalması olduğu, böylece yüzey tabakası ile çekirdek malzeme arasında kenevir liflerinin yeterince tutkal emmemesi nedeniyle yapışma direncinin olumsuz etkilenmesi olarak

değerlendirilmiştir. Bu nedenle söz konusu TİK toplantısında daha sık bir şekilde dokunmuş kenevir kumaşı kullanılarak yeniden kenevir lifi takviyeli sandviç levha üretilmesi ve bu levhalar üzerinde mekanik deneylerin tekrarlanmasına karar verilmiştir.

Yeniden üretilen deneme levhalarında esas çalışmadan farklı olarak Şekil 3.20’de gösterildiği üzere daha sık dokunmuş ve piyasadan temin edilen bir kenevir kumaş kullanılmıştır. Kenevir kumaşın kalınlığı yaklaşık 1 mm olup yaklaşık 2 mm aralıklarla dokunduğu ölçülmüştür. Kumaşlar 50×35 cm boyutlarında kesilmiştir. Her bir kumaşın birim alan ağırlığı yaklaşık 280-300 g/m² olarak ölçülmüştür. Bu değer önceki kullanılan kenevir kumaşlarda yaklaşık 85-100 g/m²’dir Esas çalışmada el tezgahında dokunan kumaşın dokuma aralığının yaklaşık 2 mm olduğu göz önüne alındığında bu çok daha sıkı bir dokumadır.



Şekil 3.20 İkinci deneme levhalarında kullanılan kenevir kumaş

Deneme levhalarında yine aynı marka iki bileşenli epoksi tutkalı kullanılmakla birlikte kumaş dokuma sıklığı fazla olduğundan kullanılan tutkal miktarı da artırılmıştır. Şekil 3.21’de görüldüğü üzere kenevir kumaş tutkal içerisinde daldırılmış ve tutkal kumaşa emdirilmiştir. Her biri 0,175 m² olarak üretilen ikinci deneme sandviç levhalarda yaklaşık 820-860 g A ve B bileşenli tutkal kullanılmıştır. Toplamda kullanılan tutkal miktarı her levha için eşit olup yaklaşık 4860 g/m²’dir. Bu değer önceki üretilen levhalarda yaklaşık 667g/m²’dir. Deneme levhalarının üretiminde önceki levhalar ile aynı metodoloji takip edilmiştir.



Şekil 3.21 İkinci kez üretilen sandviç levhaların bileşenleri

Deneme numuneleri 50×35 cm boyutlarında olmak üzere, 2 adet çekirdeği Al bal peteği ve 2 adet çekirdeği PP bal peteği olmak üzere 4 adet üretilmiştir. Şekil 3.22’de görüldüğü üzere numunelerin yüzey malzemesi olarak çalışmaya esas 5 mm kalınlığında huş kontrplak ve çekirdek malzemesi olarak 18 mm yükseklikte Al bal peteği ile 20 mm yükseklikte PP bal peteği kullanılmıştır.



Şekil 3.22 Sandviç levha

Üretilen deneme levhalarından TİK kararı gereğince Tablo 3.5’de görüldüğü gibi, yoğunluk, dik çekme ve eğilme deneyleri için ilgili standartların belirttiği ölçülerde deney örnekleri hazırlanmıştır. Deneylerden elde edilen deney sonuçları önceki sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Tablo 3.5 Deneme levhaları deneme numune adetleri

Numune	Deney Adı	Numune adeti
18mm Al çekirdekli sandviç levha	Yoğunluk	18
	Dik çekme	18
	Boyuna eğilme	11
	Enine eğilme	9
20 mm PP çekirdekli sandviç levha	Yoğunluk	17
	Dik çekme	17
	Boyuna eğilme	10
	Enine eğilme	10

4. BULGULAR

İki farklı tip yüzey kaplaması dört farklı orta tabaka malzemesi ve kenevir lifi takviyeli-takviyesiz olarak üretilen 16 farklı kombinasyondaki ahşap sandviç levhaların fiziksel, mekanik, akustik ve termal özelliklerinin tespiti için yapılan deneylerin sonuçları istatistiksel analizler yapılarak değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır. Böylece yüzey kaplamasının, çekirdek malzemenin ve takviye malzemesinin sandviç levhanın teknolojik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Sandviç levhalar üzerinde yapılan deneyler sonucunda elde edilen sayısal veriler, IBM SPSS Statistics 23.0 istatistik programı kullanılarak bilgisayar ortamında analiz edilmiş ve yorumları yapılmıştır. İlk önce ilgili gruplara ait sayısal verilerin aritmetik ortalama, standard sapma gibi tanımlayıcı istatistik değerleri hesaplanmış ve tablo halinde her bir deney sonucu için verilmiştir. Yapılan analizlerde güven aralığı (significance level) %95 olarak alınmıştır.

Sandviç levhaların her bir mukavemet değerinin normal dağılım gösterip göstermediğini tespit etmek amacı ile çarpıklık-basıklık (skewness-kurtosis) değerlerine bakılmıştır. Kurtosis ve Skewness değerleri -1.5 ile +1.5 olduğu zaman normal dağılım olduğu kabul edilmektedir (Tabachnick ve Fidell 2013).

Daha sonra yüzey kaplama malzemesi, çekirdek malzemesi ve takviye durumuna göre oluşturulan gruplar arasında aynı özellik için fark olup olmadığını tespit etmek amacıyla “Univariate ve Multivariate” varyans analizi yapılmıştır. Böylece yüzey kaplamasının, çekirdek malzemenin ve takviye malzemesinin hem de bu üç faktörün kombine olarak sandviç levha performans özellikleri üzerine etkileri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Yüzey-çekirdek malzemesinin etkisinin alt gruplarını tespit etmek amacı ile Duncan testi yapılmıştır. Kenevir takviyesi ilerde açıklanacak sebeplerle beklendiği gibi bir etki meydana getirmediğinden Duncan testi uygulanmamıştır. Sonuçlar tablo, şekil ve grafikler yardımıyla bu bölümde ayrıntılı bir şekilde verilerek yorumlanmıştır.

4.1.RUTUBET

Üretilen 16 ayrı sandviç levhanın her birinin rutubet değerleri tespit edilmiştir. Bütün levha gruplarına ait rutubet değerlerinin aritmetik ortalaması ve standart sapmaları Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1 Sandviç levhaların rutubet değerlerine ait tanımlayıcı istatistiksel değerler

Yüzey Malzemesi	Çekirdek	Takviye	Aritmetik ortalama (%)	Standart sapma (%)	Örnek Sayısı
Kotrplak	10 mm Al	Kenevir takviyesiz	7,68	0,108	20
		Kenevir takviyeli	7,99	0,120	20
	18 mm Al	Kenevir takviyesiz	7,74	0,187	20
		Kenevir takviyeli	6,65	0,351	20
	10 mm PP	Kenevir takviyesiz	5,41	0,107	20
		Kenevir takviyeli	5,32	0,096	20
	20 mm PP	Kenevir takviyesiz	4,91	0,134	20
		Kenevir takviyeli	4,81	0,064	20
Ahşap kaplama	10 mm Al	Kenevir takviyesiz	6,74	0,203	20
		Kenevir takviyeli	7,70	0,257	20
	18 mm Al	Kenevir takviyesiz	6,05	0,193	20
		Kenevir takviyeli	7,12	0,297	20
	10 mm PP	Kenevir takviyesiz	4,57	0,322	20
		Kenevir takviyeli	4,71	0,148	20
	20 mm PP	Kenevir takviyesiz	3,79	0,119	20
		Kenevir takviyeli	4,28	0,329	20

Tablo 4.1’de görüldüğü üzere yüzeyi kontrplak kaplı levhalar, ahşap kaplama kaplı levhalara göre daha yüksek rutubet değerlerine sahiptir. Çekirdek malzemesi alüminyum bal peteği olan levhaların da PP bal peteği içeren levhalardan daha yüksek rutubet değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Kenevir takviyeli levhaların rutubet değerlerinin de çok az da olsa yüksek olduğu belirlenmiştir. En yüksek ortalama rutubet değeri kontrplak kaplı çekirdeği 10 mm kalınlığındaki alüminyum bal peteği olan kenevir takviyeli sandviç panelde %7,99 olarak en

düşük ortalama rutubet değeri ise ağaç kaplama kaplı çekirdeği 20 mm PP bal peteği olan kenevir takviyesiz levhada %3,79 olarak tespit edilmiştir.

4.2.YOĞUNLUK

Bütün levha gruplarına ait yoğunluk değerlerinin aritmetik ortalaması ve standart sapmaları Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2 Sandviç levhaların yoğunluk değerlerine ait tanımlayıcı istatistiksel değerler

Yüzey Malzemesi	Çekirdek	Takviye	Aritmetik ortalama (kg/m ³)	Standart sapma (kg/m ³)	Örnek sayısı
Kontrplak	10 mm Al	Kenevir takviyesiz	364,60	5,238	20
		Kenevir takviyeli	367,26	6,241	20
	18 mm Al	Kenevir takviyesiz	259,96	7,708	20
		Kenevir takviyeli	261,89	5,798	20
	10 mm PP	Kenevir takviyesiz	476,78	3,789	20
		Kenevir takviyeli	478,07	5,122	20
	20 mm PP	Kenevir takviyesiz	367,56	3,084	20
		Kenevir takviyeli	368,62	2,154	20
Ahşap kaplama	10 mm Al	Kenevir takviyesiz	260,37	7,095	20
		Kenevir takviyeli	264,14	8,561	20
	18 mm Al	Kenevir takviyesiz	167,79	11,349	20
		Kenevir takviyeli	169,92	5,699	20
	10 mm PP	Kenevir takviyesiz	376,57	4,223	20
		Kenevir takviyeli	377,17	7,319	20
	20 mm PP	Kenevir takviyesiz	302,14	6,530	20
		Kenevir takviyeli	306,07	5,256	20

Tablo 4.2’de görüldüğü üzere kontrplak kaplı sandviç levhalar ahşap kaplama kaplı levhalara göre daha yüksek yoğunluk değerlerine sahiptir. Çekirdek malzemesi Al bal peteği olan levhaların yoğunluk değerleri, PP olan levhalardan daha düşük bulunmuştur. Çekirdek malzemesinin yüksekliğinin artması yoğunluk değerinin azalması ile sonuçlanmıştır. Genel anlamda kenevir takviyesinin levhaların yoğunluk değeri üzerine çok az da olsa artırıcı etkisi olduğu tespit edilmiştir. En yüksek ortalama yoğunluk değeri kontrplak kaplı çekirdeği 10 mm kalınlığındaki pp bal peteği olan kenevir takviyesiz sandviç panelde $478,07 \text{ kg/m}^3$ olarak tespit edilmiştir. En düşük ortalama yoğunluk değeri ise ahşap kaplama kaplı çekirdeği 18 mm alüminyum bal peteği olan kenevir takviyesiz levhada $167,79 \text{ kg/m}^3$ olarak tespit edilmiştir.

Sandviç levhaların yoğunluk değerlerinin normal dağılım gösterdiği çarpıklık-basıklık (skewness-kurtosis) değerlerinin -0,031 ve -0.549 olarak tespit edilmiştir.

Sandviç levhaların yoğunluk değeri üzerine yüzey kaplama çeşidi, çekirdek malzeme türü ve kenevir takviyesinin etkisi olup olmadığını tespit etmek amacıyla çoklu varyans analizi (MONOVA) ile karşılaştırma yapılmıştır. Sonuçlar Tablo 4.3’de verilmiştir.

Tablo 4.3 Sandviç levhaların yoğunluk değerlerine ait varyans analizi

Tests of Between-Subjects Effects						
Kaynak	Tip III kareler toplamı	sd	Ortalama kareler	F	Sig.	Kısmi Eta kare
Corrected Model	2491957,454 ^a	15	166130,497	4147,867	,000	,995
Intercept	33397978,983	1	33397978,983	833864,837	,000	1,000
Yüzey Mlz.	649033,432	1	649033,432	16204,758	,000	,982
Çekirdek Mlz.	1822851,541	3	607617,180	15170,696	,000	,993
Takviye	376,525	1	376,525	9,401	,002	,030
Yüzey * Çekirdek	19591,497	3	6530,499	163,050	,000	,617
Yüzey * Takviye	15,292	1	15,292	,382	,537	,001
Çekirdek * Takviye	54,425	3	18,142	,453	,715	,004
Yüzey * Çekirdek * Takviye	34,743	3	11,581	,289	,833	,003
Error	12175,817	304	40,052			
Total	35902112,254	320				
Corrected Total	2504133,271	319				

a. R Squared = ,995 (Adjusted R Squared = ,995)

Yapılan çoklu varyans analizi sonucunda yüzey malzemesi, çekirdek malzeme ve takviye malzemesinin yoğunluk üzerine ($p<0,05$) %95 güven aralığında anlamlı bir etkisi olduğu bulunmuştur. Yoğunluk değeri üzerine yüzey malzemesi ve çekirdek malzemesinin kombine etkisinin de %95 güven düzeyinde anlamlı olduğu tespit edilmiştir. Fakat yüzey malzemesi-takviye malzemesi, çekirdek malzeme-takviye malzemesi ikili kombinasyonları ile yüzey-takviye-çekirdek malzemesi üçlü kombinasyonunun yoğunluk üzerine anlamlı bir etkisinin ($p>0,05$) olmadığı tespit edilmiştir. Yüzey malzemesinin F değerinin en yüksek değer (16204,728) olması, yoğunluk üzerine en çok etkiye yüzey malzemesinin sahip olduğunu göstermektedir. Bunu çekirdek malzemesinin takip ettiği söylenebilir.

Yoğunluk değerine etki eden yüzey-çekirdek malzemenin farklılık gösteren grup veya grupları belirlemek ve alt grupları tespit etmek için levha gruplarına ait ortalamaların tespiti amacı ile Duncan Testi yapılmıştır. Sonuçlar tablo 4.4’de verilmiştir.

Tablo 4.4 Sandviç levhaların yoğunluk değerlerine ait Duncan testi sonuçları

Yüzey-Çekirdek Malzemesi	Örnek Sayısı	Alt grup					
		1	2	3	4	5	6
Ahşap-18 mm Al	20	167,799					
Kontrplak-18 mm Al	20		259,963				
Ahşap-10 mm Al	20		260,370				
Ahşap-20 mm PP	20			302,143			
Kontrplak-10 mm Al	20				364,607		
Kontrplak-20 mm PP	20				367,563		
Ahşap-10 mm PP	20					376,575	
Kontrplak-10 mm PP	20						476,789
Sig.		1,000	0,846	1,000	0,160	1,000	1,000

Yüzey-Çekirdek malzemenin sandviç levhaların yoğunluk değeri üzerine etkisini incelemek için yapılan Duncan testi sonuçlarına göre üretilen sandviç levha grupları arasında %95 güven aralığında anlamlı bir fark olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda altı alt grubun olduğu tablo 4.4’de görülmektedir. En yüksek ortalama yoğunluk değerinin 10 mm PP çekirdek malzemedan üretilen kontrplak yüzeyli levhalarda olduğu tespit edilmiştir. En düşük yoğunluk değeri ise 18 mm Al petekli ahşap kaplama yüzeyli levhalarda görülmektedir. Al çekirdek

malzemesi PP çekirdek malzemesinden daha hafif olması ve ahşap kaplama yüzey malzemesinin de kontrplak yüzey malzemesinden daha hafif olmasından dolayı bu beklenen bir durumdur. Ayrıca çekirdek malzemesi yüksekliği daha fazla olan levhalarda da yoğunluk değerinin düşük bulunması bu levhalarda hava boşluğu miktarının artmasına bağlı olarak yine beklenen bir durumdur.

Kenevir takviyesi yoğunluk üzerinde bir miktar artırıcı etki göstermektedir. Sandviç levhaların üretiminde kullanılan kenevir miktarı aynı olduğundan dolayı yoğunluk üzerine etkisi de benzer çıkmaktadır.

4.3. LEVHA YÜZEYE DİK ÇEKME DİRENCİ

Levha yüzeyine dik çekme direnci deneyi sonuçları Tablo 4.5’de verilmiştir

Tablo 4.5 Sandviç levha gruplarının yüzeye dik çekme mukavemeti değerlerine ait tanımlayıcı istatistiksel değerler

Yüzey malzemesi	Çekirdek	Takviye	Aritmetik ortalama (N/mm ²)	Standart sapma (N/mm ²)	Örnek Sayısı
Kontrplak	10 mm Al	Kenevir takviyesiz	1,06	0,31	20
		Kenevir takviyeli	0,36	0,08	20
	18 mm Al	Kenevir takviyesiz	1,16	0,34	20
		Kenevir takviyeli	0,32	0,08	20
	10 mm PP	Kenevir takviyesiz	0,79	0,20	20
		Kenevir takviyeli	0,92	0,13	20
	20 mm PP	Kenevir takviyesiz	0,71	0,09	20
		Kenevir takviyeli	0,45	0,09	20
Ahşap kaplama	10 mm Al	Kenevir takviyesiz	0,88	0,17	20
		Kenevir takviyeli	0,29	0,05	20
	18 mm Al	Kenevir takviyesiz	0,80	0,15	20
		Kenevir takviyeli	0,29	0,04	20
	10 mm PP	Kenevir takviyesiz	0,91	0,13	20
		Kenevir takviyeli	0,71	0,16	20
	20 mm PP	Kenevir takviyesiz	0,60	0,04	20
		Kenevir takviyeli	0,27	0,03	20

Tablo 4.5’de görüldüğü gibi yüzeyi kontrplak kaplı sandviç levhalar ahşap kaplama kaplı levhalara göre daha yüksek yüzeye dik çekme mukavemeti değerlerine sahiptir. Kenevir lifleri ile takviye edilen levhalarda ise yüzeye dik çekme direnci belirgin bir azalma göstermiştir. Yüzeyi ağaç kaplama ve çekirdek malzemesi 20 mm kalınlıkta pp bal peteği olan kenevir takviyeli sandviç levhalar en düşük yüzeye dik çekme mukavemet değerine (0,27 N/mm²) sahiptir. Bu durum yüzey tabakası ile çekirdek malzemesi arasındaki katmanda yer alan kenevir liflerinin çekirdek ve yüzey kaplaması arasındaki tutkal bağını olumsuz etkilediğini göstermektedir.

Sandviç levhaların yüzeye dik çekme mukavemeti değerlerinin çarpıklık-basıklık (skewness-kurtosis) değerlerinin +0,753 ve +0,673 olduğu ve normal dağılım gösterdiği tespit edilmiştir.

Sandviç levhaların yüzeye dik çekme direnci çoklu varyans analizi (MONOVA) sonuçları Tablo 4.6’de verilmiştir.

Tablo 4.6 Sandviç levhaların yüzeye dik çekme mukavemeti değerlerine ait varyans analizi

Tests of Between-Subjects Effects						
Kaynak	Tip III kareler toplamı	sd	Ortalama kareler	F	Sig.	Kısmi Eta kare
Corrected Model	25,817 ^a	15	1,721	66,086	,000	,765
Intercept	139,973	1	139,973	5374,549	,000	,946
Yüzey	1,273	1	1,273	48,864	,000	,138
Çekirdek	4,212	3	1,404	53,910	,000	,347
Takviye	13,350	1	13,350	512,591	,000	,628
Yüzey * Çekirdek	,219	3	,073	2,803	,040	,027
Yüzey *Takviye	,002	1	,002	,073	,787	,000
Çekirdek * Takviye	5,557	3	1,852	71,127	,000	,412
Yüzey * Çekirdek * Takviye	1,205	3	,402	15,417	,000	,132
Error	7,917	304	,026			
Total	173,708	320				
Corrected Total	33,734	319				

a. R Squared = ,765 (Adjusted R Squared = ,754)

Yapılan çoklu varyans analizi sonucunda yüzey malzemesi, çekirdek malzeme ve takviye malzemesinin yüzeye dik çekme mukavemeti üzerine anlamlı bir etkisi olduğu tespit edilmiştir ($p<0,05$). F değerlerine bakıldığında en yüksek etkinin takviye malzemesinden kaynaklandığı görülmektedir. Ancak kenevir takviyesinin bu etkisi olumsuz yönde olup kenevir takviyeli sandviç levhaların üretim aşamasından kaynaklandığı detaylı bir şekilde ileriki bölümlerde belirtilmiştir. Yüzey kaplaması-takviye malzemesi ikili kombinasyonunun dik çekme direnci değeri üzerine anlamlı bir etkisinin olmadığı görülmüştür ($p>0,05$). Fakat yüzey kaplaması-çekirdek malzemesi, çekirdek-takviye malzemesi ikili kombinasyonları ve yüzey kaplaması-çekirdek-takviye malzemesi üçlü kombinasyonunun yüzeye dik çekme mukavemeti üzerine anlamlı bir etkisi olduğu ($p<0,05$) tespit edilmiştir. Takviye malzemesinin F değerinin en yüksek değer (512,591) olmasından dolayı da yüzeye dik çekme mukavemeti üzerine en çok etkinin takviye malzemesinden kaynaklı olduğu söylenebilir.

Yüzeye dik çekme mukavemeti değerine etki eden yüzey ve çekirdek malzemelerinin farklılık gösteren alt gruplarını tespit etmek için Duncan Testi yapılmıştır. Sonuçlar Tablo 4.7’de verilmiştir.

Tablo 4.7 Sandviç levhaların yüzeye dik çekme mukavemeti değerine ait Duncan testi sonuçları

Yüzey-Çekirdek Malzemesi	Örnek Sayısı	Alt grup			
		1	2	3	4
Ahşap-20 mm PP	20	0,602			
Kontrplak-20 mm PP	20	0,711	0,711		
Kontrplak-10 mm PP	20		0,792	0,792	
Ahşap-18 mm Al	20		0,801	0,801	
Ahşap-10 mm Al	20			0,885	
Ahşap10 mm PP	20			0,912	
Kontrplak – 10 mm Al	20				1,060
Kontrplak-18 mm Al	20				1,161
Sig.		0,100	0,198	0,097	0,127

Yüzey-Çekirdek malzemenin sandviç levhaların levha yüzeyine dik çekme mukavemeti değeri üzerine etkisini incelemek için yapılan Duncan testi sonuçlarına göre üretilen sandviç levha

grupları arasında %95 güven aralığında anlamlı bir fark olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda 4 alt grubun olduğu tablo 4.7’de görülmektedir. Duncan testi sonucunda Al çekirdek sandviç levhaların mukavemet değerlerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. En yüksek ortalama yüzeye dik çekme mukavemet değeri 18 mm Al çekirdek malzemedan üretilen kontrplak yüzeyli levhalarda olduğu tespit edilmiştir. En düşük dik çekme mukavemet değeri ise 20 mm PP petekli ahşap kaplama yüzeyli levhalarda görülmektedir. PP çekirdek malzemesi Al çekirdek malzemesinden daha düşük mukavemet değeri göstermesinin sebebi olarak PP çekirdeğin gofrelı yapısı ve ileride tartışma bölümünde diğer akademik çalışmalarda da belirtildiği üzere PP çekirdeğin yüzey malzemesi ile iyi bir yapışma sağlanabilmesi için bir ön işlemden geçirilmesi gerekmesinden kaynaklandığı söylenebilir.

4.4. EĞİLME MUKAVEMETİ

Sandviç levhaların her birinin üç nokta eğilmede en yüksek kuvvet (N) değerleri tespit edilmiştir. Bütün levha gruplarına maksimum mukavemet değerlerinin boyuna ve enine yönde aritmetik ortalaması ve standart sapmaları Tablo 4.8’de verilmiştir.

Tablo 4.8 Sandviç levhaların eğilme kuvveti değerine ait tanımlayıcı istatistiksel değerler

Yüzey malzemesi	Çekirdek	Takviye	Aritmetik ortalama (N)	Standart Sapma (N)	Örnek Sayısı
Kontrplak (Boyuna yön)	10mm Al	Kenevir takviyesiz	509,27	165,51	20
		Kenevir takviyeli	469,15	92,83	20
	18 mm Al	Kenevir takviyesiz	1065,56	179,75	20
		Kenevir takviyeli	431,85	75,19	20
	10 mm PP	Kenevir takviyesiz	1211,94	64,75	20
		Kenevir takviyeli	916,76	46,71	20
	20 mm PP	Kenevir takviyesiz	981,70	128,37	20
		Kenevir takviyeli	1189,18	36,98	20
Ahşap Kaplama (Boyuna yön)	10 mm Al	Kenevir takviyesiz	187,74	22,44	20
		Kenevir takviyeli	110,02	12,26	20
	18 mm Al	Kenevir takviyesiz	101,04	15,02	20
		Kenevir takviyeli	108,67	17,56	20
	10 mm PP	Kenevir takviyesiz	361,17	29,63	20
		Kenevir takviyeli	361,25	27,13	20
	20 mm PP	Kenevir takviyesiz	554,33	53,85	20
		Kenevir takviyeli			

		Kenevir takviyeli	514,77	35,18	20
Kotrplak (Enine yön)	10 mm Al	Kenevir takviyesiz	2000,17	358,50	20
		Kenevir takviyeli	1395,86	97,95	20
	18 mm Al	Kenevir takviyesiz	1984,61	241,74	20
		Kenevir takviyeli	1380,93	86,21	20
	10 mm PP	Kenevir takviyesiz	1384,44	65,68	20
		Kenevir takviyeli	1920,52	84,78	20
	20 mm PP	Kenevir takviyesiz	981,70	128,37	20
		Kenevir takviyeli	1513,69	107,38	20
Ahşap Kaplama (Enine yön)	10 mm Al	Kenevir takviyesiz	1248,17	265,52	20
		Kenevir takviyeli	448,79	41,82	20
	18 mm Al	Kenevir takviyesiz	1126,38	234,01	20
		Kenevir takviyeli	600,92	80,54	20
	10 mm PP	Kenevir takviyesiz	1089,44	76,67	20
		Kenevir takviyeli	909,05	134,54	20
	20 mm PP	Kenevir takviyesiz	1227,77	79,97	20
		Kenevir takviyeli	1297,53	64,43	20

Tablo 4.8’de görüldüğü üzere kotrplak kaplı sandviç levhalar ahşap kaplama kaplı sandviç levhalara göre belirgin şekilde daha yüksek boyuna yönde eğilme kuvveti değerlerine sahiptir. Yüzeyi ahşap kaplama ve çekirdek malzemesi 18 mm kalınlıkta alüminyum bal peteği olan kenevir takviyesiz levhalar en düşük boyuna yönde eğilme kuvveti ortalama değerine (101,04 N) sahiptir. En yüksek boyuna yönde eğilme kuvveti değeri ise 1211,94 N ile yüzeyi kotrplak ve çekirdek malzemesi 10 mm kalınlıktaki PP bal peteği olan kenevir takviyesiz sandviç levhalarda tespit edilmiştir. Genel anlamda kenevir takviyesinin levhaların boyuna yönde eğilme kuvveti değeri üzerine olumsuz bir etkisi olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4.8’de görüldüğü üzere enine yönde de eğilme kuvveti kotrplak kaplı levhalarda ahşap kaplama kaplı levhalara göre daha yüksek bulunmuştur. Kotrplak yüzey malzemesinin 3 katmanlı kontra yapısı ve ahşap kaplamaya göre 1mm daha kalın olmasından dolayı kotrplaklı yüzeyli sandviç panellerin daha yüksek eğilme kuvveti göstermesi beklenen bir durumdur. Yüzeyi ahşap kaplama ve çekirdek malzemesi 10 mm kalınlıkta alüminyum bal peteği olan kenevir takviyeli levhalar en düşük enine yönde eğilme kuvveti değerlerine (448,79 N) sahipken, en yüksek enine yönde eğilme kuvveti değeri (2000,17 N) yüzeyi kotrplak çekirdek malzemesi 10 mm kalınlıktaki alüminyum bal peteği olan kenevir takviyesiz sandviç levhalarda

tespit edilmiştir. Ayrıca sandviç levhaların enine yönde maksimum eğilme kuvveti değerinin boyuna yönden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Kenevir takviyesi enine yönde de eğilme kuvveti değerinde beklenen iyileşmeyi sağlamamış hatta genel olarak olumsuz bir etkide bulunmuştur. Kenevir takviyesinin beklenen etkiyi sağlayamamış olmasının nedeninin, daha önce de ifade edildiği gibi gevşek bir dokuma olması nedeniyle hem birim alandaki kenevir lifi sayısının azlığı hem de yapışma üzerine olumsuz bir etki yapmış olması olduğu düşünülmektedir.

Sandviç levhaların eğilme kuvveti değerleri çarpıklık-basıklık (skewness-kurtosis) değerlerinin boyuna yönde +0,500 ve -1,042, enine yönde ise +0,197 ve -0,256 olduğu ve normal dağılım gösterdiği tespit edilmiştir.

Sandviç levhaların eğilmede en yüksek kuvvet değerleri üzerine yüzey kaplama çeşidi, çekirdek malzeme türü ve kenevir takviyesinin etkisi olup olmadığını tespit etmek amacıyla yapılan çoklu varyans analizi (MONOVA) sonuçları Tablo 4.9'da verilmiştir.

Tablo 4.9 Sandviç levhaların eğilme kuvveti değerlerine ait varyans analizi

Tests of Between-Subjects Effects							
Kaynak	Bağımlı değişken	Tip III kareler toplamı	sd	Ortalama kareler	F	Sig.	Kısmi Eta kare
Corrected Model	Boyuna eğilme	44890813,053 ^a	15	2992720,870	455,411	,000	,957
	Enine eğilme	59141324,826 ^b	15	3942754,988	153,288	,000	,883
Intercept	Boyuna eğilme	102932200,963	1	102932200,963	15663,478	,000	,981
	Enine eğilme	525828483,518	1	525828483,518	20443,344	,000	,985
Yüzey	Boyuna eğilme	25047959,189	1	25047959,189	3811,617	,000	,926
	Enine eğilme	26609635,892	1	26609635,892	1034,539	,000	,773
Çekirdek	Boyuna eğilme	12915276,749	3	4305092,250	655,118	,000	,866
	Enine eğilme	223789,378	3	74596,459	2,900	,035	,028
Takviye	Boyuna eğilme	948502,679	1	948502,679	144,336	,000	,322
	Enine eğilme	3102370,235	1	3102370,235	120,615	,000	,284
Yüzey * Çekirdek	Boyuna eğilme	1517143,071	3	505714,357	76,956	,000	,432
	Enine eğilme	9782475,273	3	3260825,091	126,776	,000	,556
Yüzey * Takviye	Boyuna eğilme	531323,766	1	531323,766	80,853	,000	,210
	Enine eğilme	2098034,723	1	2098034,723	81,568	,000	,212
	Boyuna eğilme	1657210,720	3	552403,573	84,061	,000	,453

Çekirdek * Takviye	Enine eğilme	15567303,636	3	5189101,212	201,744	,000	,666
Yüzey * Çekirdek	Boyuna eğilme	2273396,879	3	757798,960	115,316	,000	,532
* Takviye	Enine eğilme	1757715,689	3	585905,230	22,779	,000	,184
Error	Boyuna eğilme	1997729,255	304	6571,478			
	Enine eğilme	7819261,709	304	25721,256			
Total	Boyuna eğilme	149820743,272	320				
	Enine eğilme	592789070,053	320				
Corrected Total	Boyuna eğilme	46888542,309	319				
	Enine eğilme	66960586,535	319				

a. R Squared = ,957 (Adjusted R Squared = ,955)

b. R Squared = ,883 (Adjusted R Squared = ,877)

Yapılan çoklu varyans analizi sonucunda yüzey malzemesi, çekirdek malzeme ve takviye malzemesinin maksimum eğilme kuvveti üzerine ($p < 0,05$) %95 güven aralığında anlamlı bir etkisi olduğu bulunmuştur. Yüzey kaplaması-çekirdek malzemesi, yüzey kaplaması-takviye malzemesi, çekirdek-takviye malzemesi ikili kombinasyonları ile yüzey kaplaması-çekirdek-takviye malzemesi üçlü kombinasyonun da maksimum eğilme kuvveti değeri üzerinde anlamlı bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca yüzey kaplaması-takviye malzemesi, çekirdek-takviye malzemesi ikili kombinasyonlarının ve yüzey kaplaması-takviye-çekirdek malzemesi üçlü kombinasyonunun boyuna ve enine yönde maksimum eğilme kuvveti üzerinde anlamlı bir etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Yüzey kaplamasının F değerinin en yüksek değer (boyuna 3811,617 ve enine 1034,539) olmasından dolayı maksimum eğilme kuvveti üzerine en büyük etkiye yüzey malzemesinin sahip olduğu söylenebilir.

Eğilmede maksimum kuvvet değerine etki eden yüzey-çekirdek malzemesi için farklılık gösteren grup veya grupları belirlemek ve alt grupları tespit etmek amacıyla yapılan Duncan Testi testi sonucu Tablo 4.10'da verilmiştir.

Tablo 4.10 Sandviç levhaların eğilme kuvvet değerine ait Duncan testi sonuçları

Yüzey-Çekirdek Malzemesi	Örnek Sayısı	Alt grup						
		1	2	3	4	5	6	7
Ahşap18 mm-Al (B)	20	101,042						
Ahşap -10 mm Al (B)	20		187,744					

Ahşap-10 mm PP (B)	20			361,172				
Kontrplak-10 mm Al (B)	20				509,272			
Ahşap-20 mm PP (B)	20				554,331			
Kontrplak-20 mm PP (B)	20					981,704		
Kontrplak-18 mm Al (B)	20						1065,567	
Kontrplak-10 mm PP (B)	20							1211,940
Sig.		1,000	1,000	1,000	0,169	1,000	1,000	1,000
Ahşap-10 mm PP (E)	20	1089,446						
Ahşap-18 mm Al (E)	20	1126,387	1126,387					
Ahşap- 20 mm PP (E)	20		1127,779					
Ahşap- 10 mm Al (E)	20		1248,174					
Kontrplak-10 mm PP (E)	20			1384,446				
Kontrplak-18 mm Al (E)	20				1984,618			
Kontrplak-10 mm Al (E)	20				2000,178			
Kontrplak-20 mm PP (E)	20				2077,902			
Sig.		0,569	0,077	1,0000	0,177			
Not: B: Boyuna yön E: Enine yön								

Yüzey ve çekirdek malzemesinin sandviç levhaların eğilme kuvveti üzerine etkisini incelemek amacı ile yapılan duncan testinin sonuçlarına göre boyuna yönde eğilme kuvvetinde %95 güven aralığında gruplar arasında anlamlı bir farkın olduğu ve yedi alt grubun olduğu tespit edilmiştir. Enine yönünde eğilme kuvvetinde ise dört alt grubun olduğu ve bu gruplara arasında arasında %95 güven aralığında anlamlı bir farkın olduğu tespit edilmiştir.

Bütün levha grupları içerisinde enine yönde eğilme kuvvet değerleri boyuna yönden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Yüzey malzemesi olarak kullanılan kontrplak ve ahşap

kaplamanın lif yönlerinde farklı mukavemet değerleri gösterdiğinden dolayı bu sonuçlar beklenen bir durumdur. Ayrıca kontrplak'ın 3 katlı olmasından dolayı tek katlı olan ahşap kaplamaya göre daha yüksek mukavemet değeri göstermektedir.

4.5. ÇEKİRDEK MAKASLAMA MUKAVEMETİ

Bütün sandviç levha gruplarına ait boyuna yönde ve enine yönde çekirdek makaslama mukavemeti değerlerinin aritmetik ortalamaları ve standart sapmaları Tablo 4.11'de verilmiştir.

Tablo 4.11 Sandviç levhaların çekirdek makaslama mukavemeti değerlerine ait tanımlayıcı istatistiksel değerler

Yüzey malzemesi	Çekirdek	Takviye	Aritmetik ortalama (N/mm ²)	Standart sapma (N/mm ²)	Örnek Sayısı
Kontrplak (Boyuna yön)	10 mm Al	Kenevir takviyesiz	0,36	0,11	20
		Kenevir takviyeli	0,31	0,06	20
	18 mm Al	Kenevir takviyesiz	0,40	0,06	20
		Kenevir takviyeli	0,15	0,02	20
	10 mm PP	Kenevir takviyesiz	0,85	0,04	20
		Kenevir takviyeli	0,63	0,03	20
	20 mm PP	Kenevir takviyesiz	0,33	0,04	20
		Kenevir takviyeli	0,40	0,01	20
Ahşap Kaplama (Boyuna yön)	10 mm Al	Kenevir takviyesiz	0,14	0,01	20
		Kenevir takviyeli	0,08	0,00	20
	18 mm Al	Kenevir takviyesiz	0,03	0,00	20
		Kenevir takviyeli	0,04	0,00	20
	10 mm PP	Kenevir takviyesiz	0,26	0,02	20
		Kenevir takviyeli	0,26	0,01	20
	20 mm PP	Kenevir takviyesiz	0,18	0,04	20
		Kenevir takviyeli	0,17	0,01	20
Kontrplak (Enine yön)	10 mm Al	Kenevir takviyesiz	1,41	0,25	20
		Kenevir takviyeli	0,94	0,06	20
	18 mm Al	Kenevir takviyesiz	0,74	0,09	20
		Kenevir takviyeli	0,50	0,03	20
	10 mm PP	Kenevir takviyesiz	0,97	0,04	20
		Kenevir takviyeli	1,32	0,05	20

Ahşap Kaplama (Enine yön)	20 mm PP	Kenevir takviyesiz	0,33	0,04	20
		Kenevir takviyeli	0,51	0,03	20
	10 mm Al	Kenevir takviyesiz	0,93	0,19	20
		Kenevir takviyeli	0,32	0,03	20
	18 mm Al	Kenevir takviyesiz	0,44	0,09	20
		Kenevir takviyeli	0,22	0,04	20
	10 mmPP	Kenevir takviyesiz	0,80	0,05	20
		Kenevir takviyeli	0,67	0,09	20
	20 mmPP	Kenevir takviyesiz	0,43	0,02	20
		Kenevir takviyeli	0,45	0,02	20

Tablo 4.11’de görüldüğü üzere enine yönde çekirdek makaslama mukavemeti boyuna yöne nazaran daha yüksek bulunmuştur. Yüzeyi kontrplak kaplı sandviç levhalar ahşap kaplama kaplı sandviç levhalara göre daha yüksek boyuna ve enine yönde makaslama mukavemeti değerlerine sahiptir. Yüzeyi ahşap kaplama ve çekirdek malzemesi 18 mm kalınlıkta alüminyum bal peteği olan levhalar hem boyuna yönde (kenevir takviyesiz: 0,03 N/mm²) hem de enine yönde (kenevir takviyeli: 0,22 N/mm²) en düşük makaslama mukavemeti değerlerine sahiptir. En yüksek boyuna yönde (0,85 N/mm²) ve enine yönde (1,4 N/mm²) makaslama mukavemeti değerleri ise yüzeyi kontrplak ve çekirdek malzemesi 10 mm kalınlıktaki PP bal peteği olan kenevir takviyesiz sandviç levhalarda tespit edilmiştir. Genel anlamda kenevir takviyesinin özellikle Al bal petekli sandviç levhalarda çekirdek makaslama mukavemeti değeri üzerine olumsuz etkisi olduğu tespit edilmiştir.

Sandviç levhaların çekirdek makaslama mukavemeti değerlerinin normal dağılım gösterdiği çarpıklık-basıklık (skewness-kurtosis) değerlerinin boyuna yönde +1,150 ve +0,954, enine yönde +0,823 ve -0,048 olduğu tespit edilmiştir.

Çekirdek makaslama mukavemet değerleri çoklu varyans analizi (MONOVA) sonuçları Tablo 4.12’de verilmiştir.

Tablo 4.12 Sandviç levhaların çekirdek makaslama mukavemeti değerlerine ait varyans analizi

Tests of Between-Subjects Effects						
Kaynak	Bağımlı değişken	Tip III kareler toplamı	sd	Ortalama kareler	F	Sig.
Corrected Model	boyuna makaslama	13,918 ^a	15	,928	467,275	,000
	enine makaslama	37,508 ^b	15	2,501	262,786	,000
Intercept	boyuna makaslama	27,145	1	27,145	13669,601	,000
	enine makaslama	152,711	1	152,711	16048,836	,000
Yüzey	boyuna makaslama	6,401	1	6,401	3223,689	,000
	enine makaslama	7,700	1	7,700	809,258	,000
Çekirdek	boyuna makaslama	5,352	3	1,784	898,362	,000
	enine makaslama	17,678	3	5,893	619,287	,000
Takviye	boyuna makaslama	,315	1	,315	158,632	,000
	enine makaslama	1,551	1	1,551	163,025	,000
Yüzey* Çekirdek	boyuna makaslama	1,004	3	,335	168,574	,000
	enine makaslama	3,528	3	1,176	123,601	,000
Yüzey * Takviye	boyuna makaslama	,180	1	,180	90,420	,000
	enine makaslama	,735	1	,735	77,281	,000
Çekirdek* Takviye	boyuna makaslama	,281	3	,094	47,189	,000
	enine makaslama	5,633	3	1,878	197,331	,000
Yüzey * Çekirdek * Takviye	boyuna makaslama	,385	3	,128	64,672	,000
	enine makaslama	,681	3	,227	23,857	,000
Error	boyuna makaslama	,604	304	,002		
	enine makaslama	2,893	304	,010		
Total	boyuna makaslama	41,667	320			

	enine makaslama	193,111	320			
Corrected Total	boyuna makaslama	14,522	319			
	enine makaslama	40,400	319			

a. R Squared = ,958 (Adjusted R Squared = ,956)

b. R Squared = ,928 (Adjusted R Squared = ,925)

Yapılan çoklu varyans analizi sonucunda yüzey malzemesi, çekirdek malzemesi ve takviye malzemesinin makaslama mukavemeti üzerine %95 güven aralığında anlamlı bir etkisi olduğu bulunmuştur. Yüzey-çekirdek malzemesi, yüzey-takviye malzemesi, çekirdek-takviye malzemesi ikili kombinasyonları ile yüzey-çekirdek-takviye malzemesi üçlü kombinasyonunun makaslama mukavemeti üzerine anlamlı bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. Yüzey malzemesinin F değerinin en yüksek değer (boyuna yönde 3223,689) olmasından dolayı makaslama mukavemeti üzerine en çok etkinin yüzey malzemesinden kaynaklı olduğu söylenebilir.

Makaslama mukavemeti değerine yüzey ve çekirdek malzemelerinin etkisinin gruplara göre nasıl değiştiğini tespit etmek için yapılan Duncan Testi sonuçları Tablo 13’de verilmiştir.

Tablo 4.13 Sandviç levhaların çekirdek makaslama mukavemeti değerlerine ait Duncan testi sonuçları

Yüzey-Çekirdek Malzemesi	Örnek sayısı	Alt grup						
		1	2	3	4	5	6	7
Ahşap-18 mm Al (B)	20	0,039						
Ahşap-10 mm Al (B)	20		0,140					
Ahşap-20 mm PP (B)	20			0,184				
Ahşap10 mm PP (B)	20				0,266			
Kontrplak-20 mm PP (B)	20					0,338		
Kontrplak-10 mm Al (B)	20					0,360		
Kontrplak-18 mm Al (B)	20						0,401	
Kontrplak-10 mm PP (B)	20							0,851
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000	0,217	1,000	1,000

Ahşap-20 mm PP (E)	20	0,431						
Ahşap-18 mm Al (E)	20	0,443						
Kontrplak-20 mm PP- (E)	20		0,713					
Kontrplak-18 mm Al (E)	20		0,746	0,746				
Ahşap-10 mm PP (E)	20			0,806				
Ahşap-10 mm Al (E)	20				0,931			
Kontrplak-10 mm PP (E)	20				0,975			
Kontrplak-10 mm Al (E)	20					1,411		
Sig.		0,765	0,418	0,133	0,279	1,000		
Not: B: Boyuna yön E: Enine yön								

Yüzey ve çekirdek malzemelerinin sandviç levhaların çekirdek makaslama mukavemeti üzerine etkisini incelemek amacı ile yapılan duncan testinin sonuçlarına göre boyuna yönde makaslama mukavemeti bakımından %95 güven aralığında gruplar arasında anlamlı bir farkın olduğu ve yedi alt grubun olduğu tespit edilmiştir. Enine yönünde makaslama mukavemetinde ise beş alt grubun olduğu ve bu gruplar arasında da %95 güven aralığında anlamlı bir farkın olduğu tespit edilmiştir. Çekirdek makaslama mukavemeti sonuçlarının maksimum eğilme kuvveti ile doğru orantılı olarak değiştiği söylenebilir. Dolgu malzemesi 10 mm çekirdekli sandviç levhaların enine yönde makaslama mukavemeti hem kontrplak hem de ahşap kaplamalı yüzeyler için daha yüksek bulunmuştur. Bütün levha grupları içerisinde enine yönde çekirdek makaslama mukavemet değerlerinin boyuna yönden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Yüzey malzemesi olarak kullanılan kontrplak ve ahşap kaplamanın lif yönlerine bağlı olarak farklı mukavemet değerleri göstermesi nedeniyle bu sonuçlar beklenen bir durumdur.

4.6. YÜZEY GERİLME MUKAVEMETİ

Sandviç levhaların yüzey gerilme mukavemet değerlerinin aritmetik ortalamaları ve standart sapmaları Tablo 4.14’de verilmiştir.

Tablo 4.14 Sandviç levhaların yüzey gerilme mukavemeti değerlerine ait tanımlayıcı istatistiksel değerler

Yüzey malzemesi	Çekirdek	Takviye	Aritmetik ortalama (N/mm ²)	Standart Sapma (N/mm ²)	Örnek Sayısı
Kontrplak (Boyuna yön)	10 mm Al	Kenevir takviyesiz	6,56	2,12	20
		Kenevir takviyeli	5,22	1,01	20
	18 mm Al	Kenevir takviyesiz	7,30	1,23	20
		Kenevir takviyeli	2,60	0,45	20
	10 mm PP	Kenevir takviyesiz	15,16	0,77	20
		Kenevir takviyeli	10,58	0,55	20
	20 mm PP	Kenevir takviyesiz	6,04	0,80	20
		Kenevir takviyeli	6,53	0,20	20
Ahşap Kaplama (Boyuna yön)	10 mm Al	Kenevir takviyesiz	3,08	0,35	20
		Kenevir takviyeli	1,62	0,18	20
	18 mm Al	Kenevir takviyesiz	0,96	0,14	20
		Kenevir takviyeli	0,83	0,13	20
	10 mm PP	Kenevir takviyesiz	5,68	0,76	20
		Kenevir takviyeli	5,72	0,44	20
	20 mm PP	Kenevir takviyesiz	3,75	0,95	20
		Kenevir takviyeli	3,45	0,23	20
Kontrplak (Enine yön)	10 mm Al	Kenevir takviyesiz	25,57	4,74	20
		Kenevir takviyeli	15,23	1,01	20
	18 mm Al	Kenevir takviyesiz	13,57	1,66	20
		Kenevir takviyeli	8,36	0,57	20
	10 mm PP	Kenevir takviyesiz	17,64	0,76	20
		Kenevir takviyeli	22,52	1,00	20
	20 mmPP	Kenevir takviyesiz	6,04	0,80	20
		Kenevir takviyeli	8,29	0,60	20
Ahşap Kaplama (Enine yön)	10 mm Al	Kenevir takviyesiz	20,63	4,46	20
		Kenevir takviyeli	6,49	0,58	20
	18 mm Al	Kenevir takviyesiz	10,54	2,21	20
		Kenevir takviyeli	4,37	1,16	20
	10 mmPP	Kenevir takviyesiz	17,32	1,28	20
		Kenevir takviyeli	14,30	2,01	20

20 mm PP Kenevir takviyesiz	8,71	0,56	20
Kenevir takviyeli	8,87	0,45	20

Tablo 4.14’de görüldüğü üzere sandviç levhaların enine yönde yüzey gerilme mukavemetinin boyuna yönden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Hem boyuna hem de enine yönde yüzey gerilme mukavemeti değerleri kontrplak kaplı sandviç levhalarda ağaç kaplama kaplı sandviç levhalara göre daha yüksek bulunmuştur. Sandviç levhanın çekirdek malzemesi yüksekliği arttıkça boyuna yönde yüzey gerilme mukavemeti artarken enine yönde yüzey gerilme mukavemeti değerinin azaldığı görülmüştür. Genel anlamda kenevir takviyesi sandviç levhaların boyuna yönde gerilme mukavemeti değerlerini olumsuz etkilemiştir.

Sandviç levhaların gerilme mukavemeti değerlerinin normal dağılım gösterdiği çarpıklık-basıklık (skewness-kurtosis) değerlerinin boyuna yönde +1,146 ve +1,185, enine yönde +0,712 ve -0,152 olarak tespit edilmiştir.

Sandviç levhaların yüzey gerilme mukavemet değerleri üzerine yüzey kaplama çeşidi, çekirdek malzeme türü ve kenevir takviyesinin etkisi olup olmadığını tespit etmek amacıyla çoklu varyans analizi (MONOVA) ile karşılaştırma yapılmıştır. Sonuçlar tablo 4.15’de verilmiştir.

Tablo 4.15 Sandviç levhaların yüzey gerilme mukavemeti değerlerine ait varyans analizi

Tests of Between-Subjects Effects						
Kaynak	Bağımlı değişken	Tip III kareler toplamı	sd	Ortalama kareler	F	Sig.
Corrected Model	Boyuna gerilme	4070,998 ^a	15	271,400	401,100	,000
	Enine gerilme	12087,954 ^b	15	805,864	207,914	,000
Intercept	Boyuna gerilme	9063,366	1	9063,366	13394,690	,000
	Enine gerilme	54361,425	1	54361,425	14025,341	,000
Yüzey	Boyuna gerilme	1523,123	1	1523,123	2251,014	,000
	Enine gerilme	843,603	1	843,603	217,651	,000
Çekirdek	Boyuna gerilme	1844,874	3	614,958	908,842	,000
	Enine gerilme	6389,240	3	2129,747	549,478	,000
Takviye	Boyuna gerilme	179,670	1	179,670	265,533	,000
	Enine gerilme	1247,845	1	1247,845	321,946	,000
	Boyuna gerilme	229,959	3	76,653	113,285	,000

Yüzey * Enine gerilme	Çekirdek	754,589	3	251,530	64,895	,000
Yüzey * Boyuna gerilme	Takviye	85,429	1	85,429	126,255	,000
Enine gerilme		271,308	1	271,308	69,998	,000
Çekirdek * Boyuna gerilme	Takviye	79,611	3	26,537	39,219	,000
Enine gerilme		2442,329	3	814,110	210,042	,000
Yüzey * Boyuna gerilme	Çekirdek	128,331	3	42,777	63,220	,000
* Enine gerilme	Takviye	139,040	3	46,347	11,957	,000
Error	Boyuna gerilme	205,698	304	,677		
	Enine gerilme	1178,287	304	3,876		
Total	Boyuna gerilme	13340,063	320			
	Enine gerilme	67627,666	320			
Corrected Total	Boyuna gerilme	4276,697	319			
	Enine gerilme	13266,240	319			

a. R Squared = ,952 (Adjusted R Squared = ,950)

b. R Squared = ,911 (Adjusted R Squared = ,907)

Tablo 4.16’da görüldüğü üzere yüzey gerilme mukavemeti üzerine yüzey kaplama malzemesi, çekirdek malzeme ve takviye malzemesinin %95 güven aralığında anlamlı bir etkisi olduğu bulunmuştur. Yine yüzey-çekirdek malzemesi, yüzey-takviye malzemesi, çekirdek-takviye malzemesi ikili kombinasyonları ile yüzey-çekirdek-takviye malzemesi üçlü kombinasyonunun yüzey gerilme mukavemeti üzerine anlamlı bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. Çekirdek malzemesinin F değerinin en yüksek değer (enine yönde 2129,747) olmasından dolayı yüzey gerilme mukavemeti üzerine en çok etkinin yüzey malzemesinden kaynaklı olduğu söylenebilir.

Yüzey gerilme mukavemeti değerine etki eden yüzey ve çekirdek malzeme tipleri için yapılan Duncan Testi sonuçları Tablo 4.16’de verilmiştir.

Tablo 4.16 Sandviç levhaların yüzey gerilme mukavemeti değerlerine ait Duncan testi sonuçları

Yüzey-Çekirdek Malzemesi	Örnek Sayısı	Alt grup						
		1	2	3	4	5	6	7
Ahşap-18 mm Al (B)	20	0,965						
Ahşap10 mm Al (B)	20		3,089					

Ahşap-20 mm PP (B)	20			3,754				
Ahşap-10 mm PP (B)	20				5,683			
Kontrplak-20 mm PP (B)	20				6,047	6,047		
Kontrplak 10 mm Al (B)	20					6,564		
Kontrplak-18 mm Al (B)	20						7,300	
Kontrplak-10 mm PP (B)	20							15,166
Sig.		1,000	1,000	1,000	0,278	0,124	1,000	1,000
Kontrplak-20 mm PP (E)	20	6,047						
Ahşap-20 mm PP (E)	20		8,717					
Ahşap-18 mm Al (E)	20			10,541				
Kontrplak-18 mm Al (E)	20				13,578			
Ahşap-10 mm PP (E)	20					17,327		
Kontrplak-10 mm PP (E)	20					17,327		
Ahşap-10 mm Al (E)	20						20,636	
Kontrplak-10 mm Al (E)	20							25,573
Sig.		1,000	1,000	0,344	0,695	1,000	1,000	1,000
Not: B: Boyuna yön E: Enine yön								

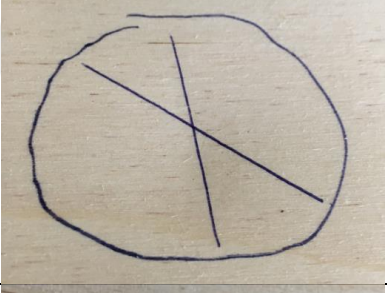
Çekirdek-yüzey malzemesinin sandviç levhaların yüzey gerilme mukavemeti üzerine etkisini incelemek amacı ile yapılan duncan testinin sonuçlarına göre yüzey gerilme mukavemeti bakımından %95 güven aralığında gruplar arasında anlamlı bir farkın olduğu ve yedi alt grubun olduğu tespit edilmiştir.

Bütün levha grupları içerisinde enine yönde yüzey gerilme mukavemet değerleri boyuna yönden daha yüksek bulunmuştur. Yüzey malzemesi olarak kullanılan kontrplak ve ahşap kaplamanın lif yönlerine göre farklı mukavemet değerleri gösterdiğinden dolayı bu sonuçlar beklenen bir durumdur.

4.7. ÇARPMA MUKAVEMETİ

Sandviç levhaların her birinin çarpma mukavemeti testleri TS EN 438-2 standardı esasına göre yapılmıştır. Üç farklı çelik bilyenin, sabit yükseklikten serbest düşürülmesi ile levhalar üzerinde meydana getirdiği hasar tipi ve hasarın miktarı bakımından değerlendirilmiştir. Hasar tipi ve hasar miktarına bağlı oluşan hasar görselleri Tablo 4.17’de verilmiştir.

Tablo 4.17 Çarpma mukavemeti değerlendirme kriterleri ve deney sonrası meydana gelen hasar örnekleri

Hasar	Hasar miktarı	Hasar görseli
Bilye izi	Çok az var	
	Var	
	Yok	
Çatlak	Yer yer var	

	Var	
	Yok	
Çökme	Çok az var	
	Var	
	Derin var	

	Yok	
Kırık	Var	
	Derin var	
	Yok	

Tablo 4.17’de verilen değerlendirme kriterlerine göre sandviç levhaların çarpma mukavemeti deneyi sonuçları Tablo 4.18’de verilmiştir.

Tablo 4.18 Sandviç levhaların çarpma mukavemeti deney sonuçları

	Bilye ağırlığı (gram)	Potansiyel enerji (Joule)	Hasar durumu			
			Bilye izi	Çatlak	Çökme	Kırık
1 nolu numune	320 gram	6,35	Çok az var	Yok	Yok	Yok
	400 gram	7,84	Çok az var	Yok	Yok	Yok
	1040 gram	20,4	Var	Var	Var	Yok
	320 gram	6,35	Çok az var	Yok	Yok	Yok

2 nolu numune	400 gram	7,84	Çok az var	Yok	Yok	Yok
	1040 gram	20,4	Var	Yok	Çok az var	Yok
3 nolu numune	320 gram	6,35	Çok az var	Yok	Çok az var	Yok
	400 gram	7,84	Var	Yok	Çok az var	Yok
	1040 gram	20,4	Var	Yok	Çok az var	Yok
4 nolu numune	320 gram	6,35	Çok az var	Yok	Yok	Yok
	400 gram	7,84	Çok az var	Yok	Yok	Yok
	1040 gram	20,4	Var	Yok	Var	Yok
5 nolu numune	320 gram	6,35	Çok az var	Yok	Yok	Yok
	400 gram	7,84	Var	Yok	Yok	Yok
	1040 gram	20,4	Var	Yok	Var	Yok
6 nolu numune	320 gram	6,35	Çok az var	Yok	Yok	Yok
	400 gram	7,84	Çok az var	Yok	Yok	Yok
	1040 gram	20,4	Var	Yok	yok	Yok
7 nolu numune	320 gram	6,35	Çok az var	Yok	Yok	Yok
	400 gram	7,84	Çok az var	Yok	Yok	Yok
	1040 gram	20,4	Çok az var	Yok	Yok	Yok
8 nolu numune	320 gram	6,35	Çok az var	Yok	Yok	Yok
	400 gram	7,84	Çok az var	Yok	Yok	Yok
	1040 gram	20,4	Çok az var	Yok	Yok	Yok
9 nolu numune	320 gram	6,35	Var	Yer yer var	Var	Yok
	400 gram	7,84	Var	Var	Var	Yok
	1040 gram	20,4	Var	Var	Var	Var
10 nolu numune	320 gram	6,35	Var	Yok	Var	Yok
	400 gram	7,84	Var	Var	Var	Yok
	1040 gram	20,4	Var	Var	Derin var	Var
11 nolu numune	320 gram	6,35	Var	Yer yer var	Var	Yok
	400 gram	7,84	Var	Var	Var	Yok
	1040 gram	20,4	Var	Var	Derin var	Var
12 nolu numune	320 gram	6,35	Çok az var	Yok	Yok	Yok
	400 gram	7,84	Var	Yer yer var	Var	Yok
	1040 gram	20,4	Var	Var	Derin var	Derin var
13 nolu numune	320 gram	6,35	Çok az var	Yok	Var	Yok
	400 gram	7,84	Çok az var	Yok	Çok az var	Yok
	1040 gram	20,4	Var	Yok	Yok	Yok
14 nolu numune	320 gram	6,35	Yok	Yok	Yok	Yok
	400 gram	7,84	Var	Yok	Yok	Yok
	1040 gram	20,4	Var	Yok	Yok	Yok
15 nolu numune	320 gram	6,35	Yok	Yok	Yok	Yok
	400 gram	7,84	Var	Yok	Yok	Yok
	1040 gram	20,4	Var	Var	Çok az var	Yok
16 nolu numune	320 gram	6,35	Çok az var	Yok	Yok	Yok
	400 gram	7,84	Var	Yok	Yok	Yok
	1040 gram	20,4	Var	Var	Çok az var	Yok

Tablo 4.18’da görüldüğü üzere çarpma mukavemeti üzerine yüzey malzemesi ve çekirdek malzemesinin önemli derecede etkisi olduğu görülmektedir. Ayrıca deney için kullanılan bilye ağırlığının artması da doğal olarak çarpma mukavemeti deney sonucunda numunelerde meydana gelen hasarın miktarını artırmaktadır. Kontrplak yüzeyli sandviç panellerde çarpma testinden sonra meydana gelen çatlak, çökme kırık gibi mukavemeti etkileyecek hasarların ahşap kaplamalı sandviç levhalardan daha az olduğu görülmektedir. En fazla hasar, yüzeyi ahşap kaplama ve çekirdeği 18 mm Al bal petekli kenevir takviyeli sandviç levhalarda 1040 g ağırlıktaki bilyenin (20,4 J) çarpması ile meydana gelmiştir.

4.8. BASMA MUKAVEMETİ

Bütün levha gruplarına ait basma mukavemeti değerlerinin aritmetik ortalama ve standart sapmaları Tablo 4.19’da verilmiştir.

Tablo 4.19 Sandviç levhaların basma mukavemeti değerlerine ait tanımlayıcı istatistikî değerler

Yüzey malzemesi	Çekirdek	Takviye	Aritmetik ortalama (N/mm ²)	Standart sapma (N/mm ²)	Örnek sayısı
Kontrplak	10 mm Al	Kenevir takviyesiz	1,68	0,19	20
		Kenevir takviyeli	1,15	0,10	20
	18 mm Al	Kenevir takviyesiz	0,98	0,10	20
		Kenevir takviyeli	0,68	0,02	20
	10 mm PP	Kenevir takviyesiz	0,52	0,06	20
		Kenevir takviyeli	0,81	0,06	20
	20 mm PP	Kenevir takviyesiz	0,63	0,04	20
		Kenevir takviyeli	0,58	0,03	20
Ahşap kaplama	10 mm Al	Kenevir takviyesiz	1,75	0,18	20
		Kenevir takviyeli	1,14	0,05	20
	18 mm Al	Kenevir takviyesiz	0,69	0,08	20
		Kenevir takviyeli	0,62	0,02	20
	10 mm PP	Kenevir takviyesiz	0,82	0,08	20
		Kenevir takviyeli	0,77	0,02	20
	20 mm PP	Kenevir takviyesiz	0,74	0,05	20
		Kenevir takviyeli	0,57	0,03	20

Tablo 4.19’da görüldüğü üzere sandviç levhaların basma mukavemeti değerleri sandviç levha grupları içinde farklılık göstermektedir. Genel olarak ahşap kaplama kaplı sandviç levhaların kontrplak kaplı sandviç levhalardan daha yüksek mukavemet değerlerine sahip oldukları tespit edilmiştir. Çekirdek malzemesi 10 mm kalınlıkta Al bal peteği olan kenevir takviyesiz sandviç levhalar diğer çekirdek malzemelerine göre daha yüksek değere sahiptir. Genel anlamda kenevir takviyesinin levhaların basma mukavemet değeri üzerine beklendiği gibi olumlu bir etkisi olmadığı ve mukavemet değerini düşürdüğü tespit edilmiştir.

Sandviç levhaların basma mukavemeti değerlerinin normal dağılım gösterdiği çarpıklık-basıklık (skewness-kurtosis) değerlerinin +1,451 ve +1,354 olarak tespit edilmiştir.

Sandviç levhaların basma mukavemet değerlerini karşılaştırmak için yapılan çoklu varyans analizi (MONOVA) sonuçları Tablo 4.20’de verilmiştir.

Tablo 4.20 Sandviç levhaların basma mukavemeti değerine ait varyans analizi

Tests of Between-Subjects Effects

Kaynak	Tip III kareler toplamı	sd	Ortalama kareler	F	Sig.	Kısmi Eta kare
Corrected Model	41,984 ^a	15	2,799	340,599	,000	,944
Intercept	252,689	1	252,689	30749,294	,000	,990
Yüzey	,007	1	,007	,833	,362	,003
Çekirdek	32,315	3	10,772	1310,765	,000	,928
Takviye	2,812	1	2,812	342,248	,000	,530
Yüzey * Çekirdek	,990	3	,330	40,165	,000	,284
Yüzey * Takviye	,114	1	,114	13,873	,000	,044
Çekirdek * Takviye	4,926	3	1,642	199,794	,000	,663
Yüzey * Çekirdek * Takviye	,821	3	,274	33,284	,000	,247
Error	2,498	304	,008			
Total	297,172	320				
Corrected Total	44,482	319				

a. R Squared = ,944 (Adjusted R Squared = ,941)

Yapılan çoklu varyans analizi sonuçlarına göre çekirdek malzemesi ve takviye malzemesinin basma mukavemeti üzerine anlamlı bir etkisi olduğu tespit edilmiştir ($p<0,05$). Ancak yüzey kaplama malzemesinin basma mukavemeti üzerine anlamlı bir etkisi bulunamamıştır. Yüzey kaplaması-çekirdek malzemesi, yüzey kaplaması-takviye malzemesi ve çekirdek-takviye malzemesi ikili kombinasyonlarının basma mukavemeti değeri üzerine etkisinin anlamlı olduğu ($p<0,05$), aynı zamanda yüzey kaplaması-çekirdek-takviye malzemesi üçlü kombinasyonunun da basma mukavemet değeri üzerinde anlamlı bir etkisi olduğu ($p<0,05$) tespit edilmiştir. Çekirdek malzemesinin F değerinin en yüksek değer (1310,765) olmasından dolayı da basma mukavemeti üzerine en çok etkinin çekirdek malzemesinden kaynaklandığı söylenebilir.

Basma mukavemeti değerine etki eden çekirdek malzemenin farklılık gösteren grup veya grupları belirlemek ve alt grupları tespit etmek için levha gruplarına ait ortalamalar Duncan testi ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar Tablo 4.21’de verilmiştir.

Tablo 4.21 Sandviç levhaların basma mukavemeti değerine ait Duncan testi sonuçları

Yüzey-Çekirdek Malzemesi	Örnek Sayısı	Alt grup					
		1	2	3	4	5	6
Kontrplak-10 mm PP	20	0,527					
Kontrplak-20 mm PP	20		0,636				
Ahşap-18 mm Al	20		0,699	0,699			
Ahşap-20 mm PP	20			0,748			
Ahşap-10 mm PP	20				0,824		
Kontrplak-18 mm Al	20					0,987	
Kontrplak10 mm Al	20						1,684
Ahşap-10 mm Al	20						1,751
Sig.		1,000	0,089	0,189	1,000	1,000	0,071

Çekirdek malzemesinin sandviç levhaların basma mukavemeti üzerine etkisini incelemek amacı ile yapılan duncan testinin sonuçlarına göre basma mukavemeti değerlerinin %95 güven aralığında gruplar arasında anlamlı bir farkın olduğu ve alı alt grubun olduğu tespit edilmiştir. En yüksek mukavemet değerleri çekirdeği 10 mm Al çekirdek olan sandviç levhalardan elde edilmiştir. Yüzeyi kontrplak ve ahşap olan sandviç levhalar aynı grup içerisinde kalmıştır. Yapılan varyans analizinde de yüzey malzemesinin anlamlı bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

4.9 ISI İLETKENLİK KATSAYISI

Bilgisayar kontrollü ısı iletkenlik ölçüm cihazına yerleştirilen deney numuneleri için ısı iletkenlik katsayısı; deney süresince tespit edilen ısı değişimlerin kararlı duruma (bir ölçme için, %1 sapma sınırları içerisinde kalma) geldiği noktada tespit edilmiştir. Bütün levha gruplarına ait kararlı durumdaki ısı iletkenlik katsayısı değerleri Tablo 4.22’de verilmiştir.

Tablo 4.22 Sandviç levhaların ısı iletkenlik değerleri

Yüzey malzemesi	Çekirdek	Takviye	Numune sıcak yüzey sıcaklığı (°C)	Numune soğuk yüzey sıcaklığı (°C)	Numunenin sıcaklık farkı (K)	Ortalama sıcaklık	Isıl iletkenlik (W/m.K)
Kontrplak	10 mm Al	Kenevir takviyesiz	14,39	5,95	8,45	10,17	0,187
		Kenevir takviyeli	14,66	5,61	9,05	10,13	0,143
	18 mm Al	Kenevir takviyesiz	14,52	5,84	8,68	10,18	0,238
		Kenevir takviyeli	14,72	5,58	9,13	10,15	0,176
	10 mm PP	Kenevir takviyesiz	14,83	5,41	9,42	10,12	0,093
		Kenevir takviyeli	14,85	5,40	9,45	10,12	0,088
	20 mm PP	Kenevir takviyesiz	14,97	5,25	9,72	10,11	0,094
		Kenevir takviyeli	14,98	5,25	9,73	10,11	0,094
	10 mm Al	Kenevir takviyesiz	14,41	5,84	8,58	10,12	0,163
		Kenevir takviyeli	14,71	5,52	9,18	10,12	0,118
Ahşap kaplama	18 mm Al	Kenevir takviyesiz	14,52	5,71	8,82	10,11	0,218
		Kenevir takviyeli	14,70	5,57	9,13	10,14	0,163
	10 mm PP	Kenevir takviyesiz	14,85	5,38	9,47	10,12	0,081
		Kenevir takviyeli	14,93	5,30	9,63	10,11	0,072
	20 mm PP	Kenevir takviyesiz	15,00	5,27	9,73	10,13	0,086
		Kenevir takviyeli	15,02	5,20	9,82	10,11	0,083

Isıl iletkenlik katsayısı “ λ ”, malzemenin fiziksel ve kimyasal yapısına bağı olarak, ısıyı ne kadar ilettiğini ifade etmektedir. Bir malzemenin ısı iletkenlik katsayısı (λ değeri) ne kadar küçükse, malzeme ısıyı o kadar az ilettiği söylenebilir. Tablo 4.23’de görüldüğü üzere hem Al hem de PP çekirdek malzemesi ile üretilen ve yüzeyi kontrplak olan sandviç levhaların ısı iletkenlik katsayısı yüzeyi ahşap kaplama olan levhalara göre az da olsa daha yüksek bulunmuştur. Çekirdek malzemesi Al bal peteği olan sandviç levhalarda ısı iletkenlik katsayısı her iki yüzey kaplama tipinde de çekirdeği PP olanlara göre belirgin şekilde daha yüksektir. Kenevir lifi takviyesinin bütün levha tiplerinde ısı iletkenlik katsayısını azalttığı söylenebilir. Bu durumun kenevir liflerinin yüzey kaplama malzemesi ve çekirdek malzeme arasındaki tutkal bağını zayıflatması nedeniyle oluştuğu düşünülmektedir. Nitekim daha önceki bölümlerde kenevir takviyesinin aynı sebeple mukavemet değerlerini de beklenenin aksine düşürdüğü görülmüştür.

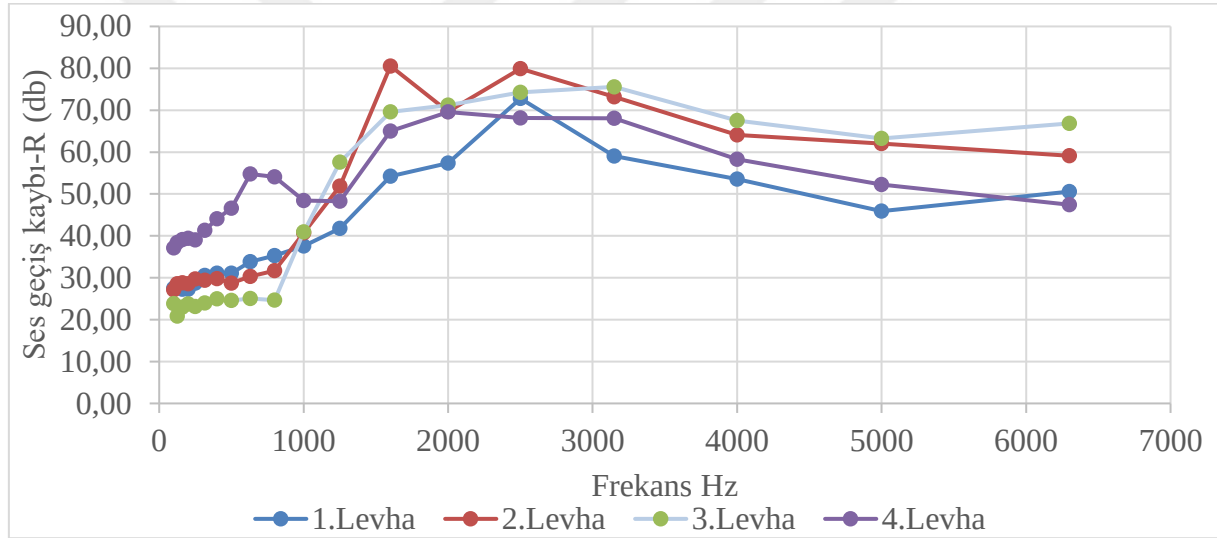
TS 825 (Aralık 2013) “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” standardında binalarda kullanılan bazı yapı elemanlarına ait ısı iletkenlik katsayılar Tablo 4.23’de verilmiştir. Tablo 4.23’de verilen ve yapılarda duvar bölmesi olarak kullanılan geleneksel yapı elemanlarının ısı iletkenlik katsayısı ile bu çalışma sonucunda elde edilen sandviç panellerin ısı iletkenlik katsayısı sonuçlarını karşılaştırma yapıldığı zaman, ısı iletkenlik değerlerinin birbirine yakın olduğu, PP çekirdekli sandviç panellerin daha düşük ısı iletkenlik değeri gösterdiği bundan dolayı bu ürünlere alternatif bir ürün olabileceği ve ayrıca hafifliğinden dolayı da yapılarda ağırlığı azaltma yönünde avantaj sağlayacağı düşünülmektedir.

Tablo 4.23 Yapı malzeme elemanları ısı iletkenlik katsayı değerleri (TS 825)

Yapı Malzemesi	Isı İletkenlik Katsayısı (W/m.K)	Yoğunluk (kg/m ³)
Gaz beton yapı levhaları	0,20	400
Hafif betondan duvar plakaları	0,29	800
Alçı karton plakalar	0,25	800
Düşey delikli tuğlalarla duvarlar	0,32	550
Mantar levhalar	0,050	80-500
Mineral ve bitkisel lifli ısı yalıtım malzemeleri	0,040	8-500

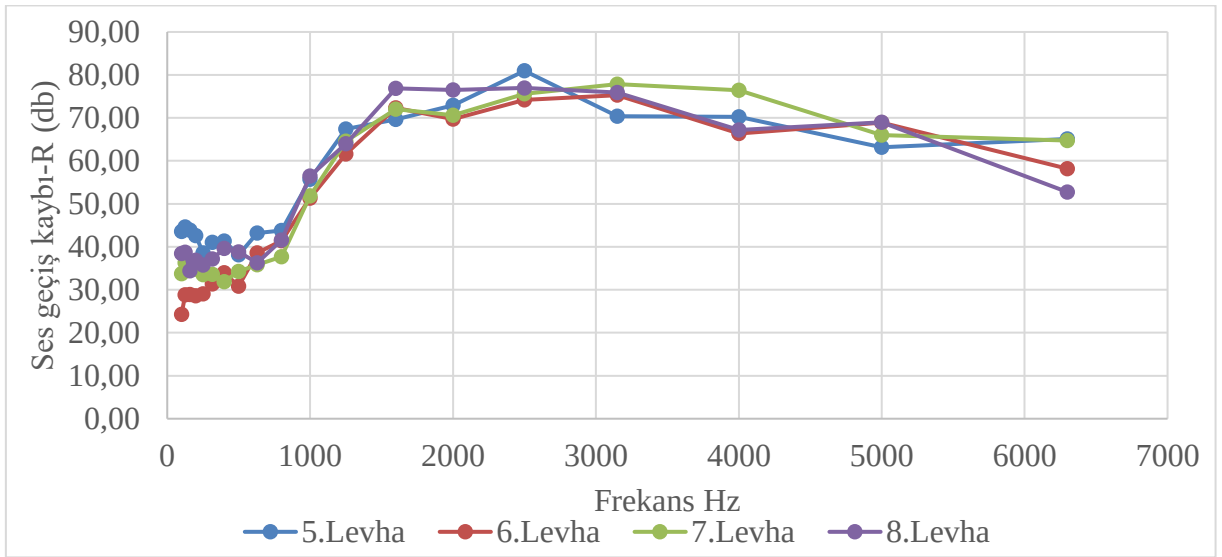
4.10 SES YALITIMI

Sandviç levhaların her birinin ses yalıtım değerleri tespit edilmiştir. 100Hz-6300Hz frekans aralığında 19 ayrı frekansta her bir 1/3 oktav bant merkez frekansında sinyal oluşturulmuş ve uygun yazılım aracılığıyla sonuçlar elde edilmiştir. Burada ses geçiş kaybı ne kadar yüksek ise yalıtımın o kadar iyi olduğu anlaşılmaktadır. Elde edilen sonuçların aritmetik ortalamaları alınarak yüzey malzemesine göre ve çekirdek malzemesine göre tablolar oluşturulmuştur. Tablo 3.1’de belirtilen yüzey, çekirdek ve takviye malzemesine göre kodlandırılan sandviç levhalara farklı frekanslarda ses yalıtım değerlerinin aritmetik ortalaması Şekil 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4’de verilmiştir ve her bir levha grubu kendi içerisinde değerlendirilmiştir. Değerlendirme insan sesine denk gelen 1000-2000Hz aralığında yapılmıştır.



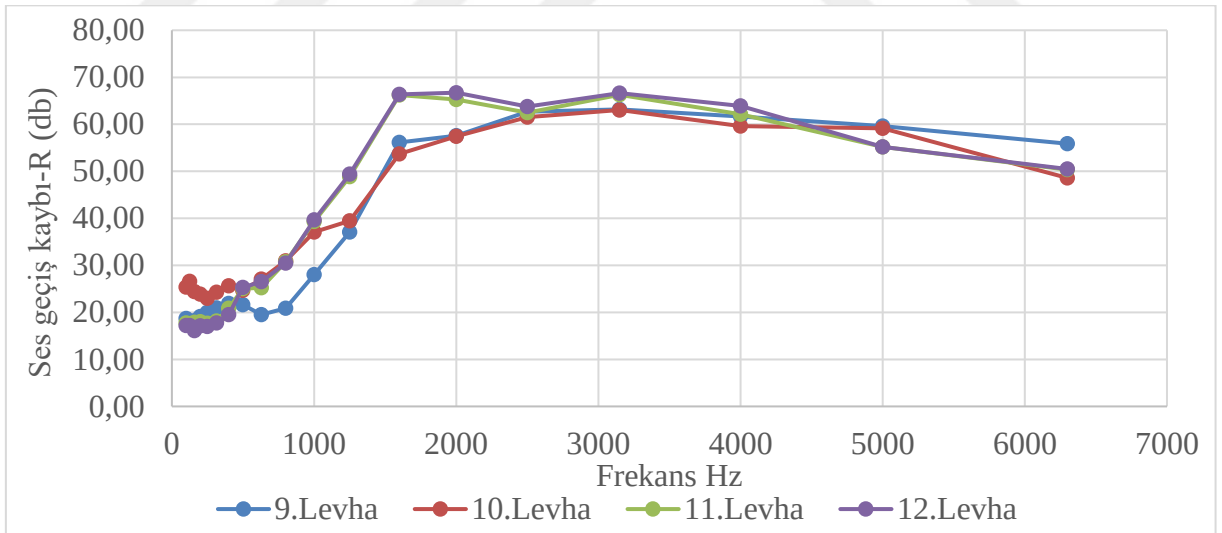
Şekil 4.1 Yüzeyi kontrplak ve çekirdeği Al bal peteği olan sandviç levhaların ses yalıtım değerleri

Şekil 4.1’de görüldüğü üzere yüzeyi kontrplak ve çekirdeği Al bal peteği olan sandviç levhalarda 1000-2000 Hz arasında en yüksek ses yalıtımı 1600 Hz frekansta 80,55 db ile 10 mm yükseklikte Al çekirdeğe sahip kenevir takviyeli (2.Levha) sandviç levhada elde edilmiştir.



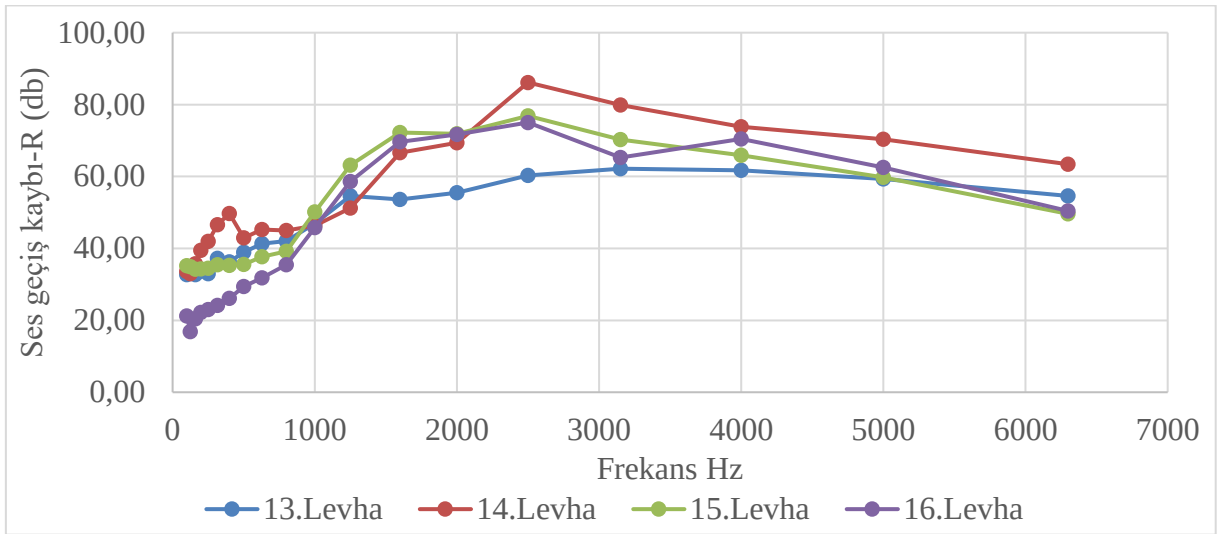
Şekil 4.2 Yüzeyi kontrplakve çekirdeği PP bal peteği olan sandviç levhaların ses yalıtım değerleri

Şekil 4.2’de görüldüğü üzere yüzeyi kontrplak ve çekirdeği PP bal peteği olan sandviç levhalarda 1000-2000 Hz arasında en yüksek ses yalıtımı değerini 1600 Hz’de 76,90 db ile 20 mm yükseklikte PP çekirdeğe sahip kenevir takviyeli (8.Levha) sandviç levhalar vermiştir.



Şekil 4.3 Yüzeyi ahşap kaplama ve çekirdeği Al bal peteği olan sandviç levhaların ses yalıtım değerleri

Şekil 4.3’de görüldüğü üzere yüzeyi ahşap kaplama ve çekirdeği Al bal peteği olan sandviç levhalarda 1000-2000 Hz arasında en yüksek ses yalıtımı 1600 Hz frekansta 66,39 db ile 18 mm yükseklikte Al çekirdek ile kenevir takviyeli olarak üretilen (12.Levha) sandviç levhada elde edilmiştir.



Şekil 4.4 Yüzeyi ahşap kaplama ve çekirdeği PP bal peteği olan sandviç levhaların ses yalıtım değerleri

Şekil 4.4’de görüldüğü üzere yüzeyi ağaç kaplama ve çekirdeği PP bal peteği olan sandviç levhalarda 1000-2000 Hz arasında en yüksek ses yalıtımı değeri 1600 Hz frekansta 72,20 db ile 10 mm yükseklikte PP çekirdek ile kenevir takviyesiz (15.Levha) olarak üretilen sandviç levhada tespit edilmiştir.

Bütün levhalar birlikte değerlendirildiğinde 1600 Hz frekansta en iyi ses yalıtımı 80,55 db ile yüzey melzemesi kontrplak ve çekirdek malzemesi 10 mm Al bal peteği olan kenevir takviyeli levha ile elde edilirken, en düşük yalıtım 53,58 db ile yüzeyi ahşap kaplama ve çekirdeği 10 mm PP bal peteği olan kenevir takviyesiz levhadan elde edilmiştir. Kontrplak kaplı sandviç levhalarda, ahşap kaplı sandviç levhalara göre daha yüksek ses yalıtım değerleri ölçülmüştür. Kenevir lifinin ses yalıtımı değerleri üzerinde olumlu etkisi olduğu söylenebilir. |

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Yeni nesil yapısal ahşap sandviç panellerin mekanik, termal ve akustik özelliklerinin ve aynı zamanda kenevir lifi takviyesinin bu özelliklere etkisinin araştırılması amacıyla farklı yüzey ve çekirdek malzemeleri kullanılarak 16 adet sandviç levha üretilmiştir. Üretilen bu levhalar üzerinde uluslararası standartlara göre; yoğunluk, maksimum eğilme kuvveti, çekirdek makaslama mukavemeti, yüzey gerilme mukavemeti, çarpma mukavemeti, basınç mukavemeti, ısı iletkenlik katsayısı ve ses yalıtımı deneyleri yapılmıştır.

Çalışmanın bu bölümünde, yapılan deneyler sonucunda elde edilen bulgular tablolar halinde yorumlanmış, sandviç levhalar kendi içerisinde karşılaştırılmış, bulguların neden-sonuç ilişkisi içinde tartışması yapılmış ve daha önceki bilimsel araştırmalar ile ortaya konulan bulgular ile karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışma sonucunda ortaya konulan bilimsel sonuçlar ışığında bal peteği sandviç paneller ve kenevir lifi takviyesi üzerine yapılacak ileriki çalışmalar için de önerilerde bulunulmuştur.

5.1.RUTUBET DENEYİ

Yapılan rutubet analizleri sonucunda kontrplak kaplı sandviç panellerin ahşap kaplama kaplı sandviç levhalara göre daha yüksek rutubet değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Yüzey malzemesi ahşap kaplama ve çekirdeği 10 mm yüksekliğinde Al bal peteği olan sandviç levhalarda kenevir takviyesinin rutubet miktarında yaklaşık %15 oranında artışa neden olduğu tespit edilmiştir. Çekirdeği 18 mm Al bal peteği olan ahşap kaplama kaplı sandviç levhalarda ise kenevir takviyesi ile ortalama rutubet miktarı yaklaşık %18 oranında artırmıştır. Kontrplak kaplı çekirdeği 18 mm Al bal peteği olan sandviç levhalarda kenevir takviyesinin rutubet miktarını yaklaşık %15 azalttığı görülmüştür. Diğer sandviç levhalarda rutubet miktarında anlamlı bir değişiklik olmamıştır. Genel anlamda kenevir takviyesinin rutubet değerine çok az miktarda da olsa artırıcı etkisi olmuştur. Al bal petekli sandviç levhaların ortalama rutubet miktarı PP bal petekli sandviç levhalara göre daha yüksek bulunmuştur. Sandviç levhaları oluşturan malzemeler üretimden önce oda sıcaklığında depolandığından dolayı rutubet miktarındaki bu değişimlerin yüzey malzemesi olarak kullanılan levhalardan kaynaklandığı, Al ve PP bal peteği çekirdek malzemelerin rutubet miktarında anlamlı bir etkisinin olmadığı düşünülmektedir.

5.2. YOĞUNLUK DENEYİ

Sandviç levhaların yoğunluk değerleri üzerine sandviç levhayı oluşturan yüzey malzemesi türü, çekirdek malzeme türü ve yüksekliği ile kenevir takviyesinin etkili olduğu görülmüştür. Yapılan varyans analizi yoğunluk değeri üzerine yüzey malzemesi türü ve çekirdek türü ve yüksekliğinin anlamlı bir etkisi olduğunu, kenevir takviyesinin etkisinin ise anlamlı olmadığını göstermiştir. Levhaların üretiminde kullanılan tutkal miktarı aynı olduğundan dolayı yoğunluğa etkisinin olmadığı düşünülmektedir. Bitzer (1997), sandviç levhaların kalınlığı arttıkça kullanılan tutkal miktarında değişme olmadığını belirtmiştir. Sandviç levhaların yoğunluğu değerlendirilirken hem sandviç levhalar kendi grubu içerisinde hem de diğer sandviç levha grupları içerisinde ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Bu durum Tablo 5.1’de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre;

- Bu çalışma kapsamında üretilen sandviç levhalarda en yüksek yoğunluk değeri 478,07 kg/m³ ile kenevir takviyeli yüzeyi kontrplak kaplı olan 10 mm yükseklikte PP çekirdeğe sahip levhalarda ölçülmüştür. En düşük değer ise 167,79 kg/m³ ile yüzeyi ahşap kaplama olan 18mm yükseklikte Al çekirdeğe sahip ve kenevir takviyesiz sandviç levhalarda ölçülmüştür.
 - Bütün levha tiplerinde kontrplak yüzeyli sandviç levhaların yoğunluk değeri ahşap kaplama kaplı sandviç levhalara göre dikkate değer biçimde (yaklaşık %17-35 oranında) daha yüksek bulunmuştur. Bu durumun kontrplak yoğunluğunun ahşap kaplama yoğunluğundan yüksek olmasından kaynaklandığını söylemek mümkündür.
 - Çekirdek malzemesi türü ele alındığında PP çekirdekli levhaların yoğunluk değeri Al çekirdekli levhaların yoğunluk değerlerinden belirgin şekilde daha yüksek bulunmuştur. PP çekirdeğin gofrajlı yapısı ve daha yüksek birim hacim ağırlığı nedeniyle bu beklenen bir durumdur.
 - Tablo 5.1’de görüldüğü üzere gerek Al ve gerekse PP çekirdek malzemenin yüksekliği arttıkça yoğunluk değerinde önemli derecede (yaklaşık %19-35 oranında) azalma meydana gelmiştir. Çekirdek yüksekliği artması ile levha içerisindeki hava boşluğu miktarı da artmakta ve böylece birim hacim ağırlığı azalmaktadır.
- Kenevir takviyesi sandviç levhaların yoğunluk değerini %0,5-1,5 oranında artırmıştır. Kullanılan kenevir kumaşının seyrek dokunmuş olması nedeniyle birim alandaki ağırlık

üzerine etkisi oldukça sınırlı kalmıştır. Oluşan farklılıklar istatistiksel olarak anlamlı değildir.

Tablo 5.1 Sandviç levhaların yoğunluk değerlerinin karşılaştırılması

	Kontrplak			Ahşap kaplama			Yüzey kaplamasının etkisi	
	10 mm Al (kg/m ³)	18 mm Al (kg/m ³)	Çekirdek etkisi	10 mm Al (kg/m ³)	18 mm Al (kg/m ³)	Çekirdek etkisi	10 mm Al	18 mm Al
Kenevir takviyesiz	364,60	259,96	%28,7 azalmıştır	260,37	167,79	%35,5 azalmıştır	%28,5 azalmıştır	%35,4 azalmıştır
Kenevir takviyeli	367,26	261,89	%28,7 azalmıştır	264,14	169,92	%35,6 azalmıştır	%28 azalmıştır	%35,1 azalmıştır
	10 mm PP (kg/m ³)	20 mm PP (kg/m ³)	Çekirdek etkisi	10 mm PP (kg/m ³)	20 mm PP (kg/m ³)	Çekirdek etkisi	10 mm PP	20 mm PP
Kenevir takviyesiz	476,79	367,56	%22,9 azalmıştır	376,58	302,14	%19,7 azalmıştır	%21,0 azalmıştır	%17,4 azalmıştır
Kenevir takviyeli	478,07	368,62	%22,9 azalmıştır	377,18	306,07	%18,8 azalmıştır	%21,1 azalmıştır	%17,0 azalmıştır

Farklı standartlarda ahşap esaslı levhaların sahip olması gereken yoğunluk değerleri verilmiştir. Buna göre, TS 2129 (2012) “Odun Lifi Levhaları Ve Yonga Levhaları- Terimler Ve Tarifler” standardında kuru işlemlili çok hafif MDF levhaların yoğunluğu $\leq 550 \text{ kg/m}^3$ ve düşük özgül ağırlıklı yonga levha yoğunluğu da $\leq 450 \text{ kg/m}^3$ (Avrupa 500 kg/m^3 ’e kadar) olarak verilmektedir. TS EN 12369-1 (2005) “Ahşap esaslı Levhalar- Yapısal Amaçlı Tasarım için Karakteristik Değerler- Bölüm 1: OSB, Yonga Levhalar ve Lif Levhalar” standardında ise kuru ve nemli şartlarda yük taşıyıcı OSB levhaların yoğunluğu 550 kg/m^3 olarak belirtilmektedir. Aynı standartta kuru şartlarda kullanılan yük taşıyıcı yonga levhaların yoğunluğu levha kalınlığı 20 mm’ye kadar olanlarda 600 kg/m^3 , levha kalınlığı 32 mm’ye kadar olanlarda 550 kg/m^3 olarak verilmiştir. Kuru şartlarda yük taşıyıcı MDF levhaların yoğunluğu ise 19 mm’ye kadar 600 kg/m^3 , 30 mm’ye kadar 550 kg/m^3 olarak verilmiştir. Üretilen sandviç levhaların yoğunluk değerleri diğer ahşap esaslı levhalar ile karşılaştırıldığında daha düşük yoğunluk değerlerine sahip olduğu görülmektedir.

Barbu ve diğ. (2010) yaptıkları çalışmada farklı yüzey malzemesi kullanarak ürettikleri sandviç levhaların yoğunluk değerlerinin yüzey malzemesine göre $310\text{-}510 \text{ kg/m}^3$ arasında değiştiğini

belirtmişlerdir. Bu çalışmada elde edilen yoğunluk değerleri 168-478 kg/m³ arasında değişmekte olup, Barbu ve arkadaşlarının (2010) yaptığı çalışmadan daha hafif sandviç levhalar elde edilmiştir.

Bitzer (1997) sandviç levha üretiminde çekirdek yüksekliğinin artmasıyla kullanılan tutkal miktarında değişme olmayacağını belirtmiştir. Bu çalışmada da tutkal miktarı aynı olduğundan dolayı yoğunluk üzerine etki eden bir değişken olarak görülmemektedir.

Bitzer (1997) yaptığı çalışmada çekirdek yüksekliği arttıkça sandviç levhanın yoğunluğunun, mukavemet değerine göre çok az arttığını belirtmiştir.

Okur (2016) yüzey levha kalınlığının hücre boyutu oranı arttıkça sandviç levhanın yoğunluğun arttığını belirtmiştir.

Arbaoui ve ark. (2014) üç farklı çekirdek yüksekliğinde PP çekirdek (10 mm, 20 mm ve 40 mm) ile yüzeyi 1 mm kalınlığında cam elyaf takviyeli kompozit ile sandviç levha üretmişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda sandviç levhanın yüksekliği arttıkça yoğunluğunun azaldığını tespit etmişlerdir

5.3. LEVHA YÜZEYİNE DİK ÇEKME DENEYİ

Levha yüzeyine dik çekme direnci için yapılan varyans analizi sonucunda direnç değeri üzerine sandviç levhaların yüzey malzemesi türünün, çekirdek malzeme türünün ve kenevir takviyesinin anlamlı bir etkiye sahip oldukları tespit edilmiştir. Varyans analizinde kenevir takviyesinin etkisinin diğer değişkenlerden daha fazla olduğu görülmektedir. Bu etki olumsuz yönde olup kenevir takviyesi yüzeye dik çekme direncini azaltmıştır. Bunun en önemli sebebi olarak kenevir kumaşın gevşek yapıda olan dokuması nedeni ile yüzey malzemesi ile çekirdek arasındaki tutkal bağının zayıflamasına neden olması görülmektedir. Kenevir takviyeli sandviç levha üretiminde tutkal miktarının da yeterince kullanılmaması ve kenevir liflerinin yeterli düzeyde tutkal emmemiş olmasının da yüzeye dik çekme mukavemetinin önemli ölçüde azalttığı sonucuna varılmıştır. Bu olumsuz etki diğer mekanik değerlerde de açıkça görülmektedir.

Sandviç levhaların yüzeye dik çekme mukavemeti, hem sandviç levhaların kendi grubu içerisinde hem de diğer sandviç levha grupları içerisinde ayrı ayrı değerlendirilmiş olup bu durum Tablo 5.2’de verilmiştir. Buna göre;

- En yüksek yüzeye dik çekme mukavemeti değeri $1,16 \text{ N/mm}^2$ ile yüzeyi kontrplak çekirdek malzemesi 18 mm kalınlıktaki Al bal peteği olan kenevir takviyesiz sandviç levhalarda tespit edilirken en düşük değer $0,27 \text{ N/mm}^2$ ile yüzeyi ahşap kaplama ve çekirdek malzemesi 20 mm kalınlıkta PP bal peteği olan kenevir takviyeli sandviç levhalarda elde edilmiştir.
- Yüzey kaplama malzemesi yüzeye dik çekme direnci üzerine anlamlı bir etkiye sahiptir. Gerek Al ve gerekse PP çekirdeğe sahip levhalarda kontrplak yüzey kaplamalı sandviç levhaların ahşap kaplama kaplı sandviç levhalara göre daha yüksek yüzeye dik çekme mukavemet değerine sahip oldukları görülmektedir. Bu duruma bir istisna 10 mm yükseklikte PP çekirdeğe sahip olan levhalar olmuştur. Burada ahşap kaplama ile kaplı levhalarda daha yüksek yüzeye dik çekme mukavemeti tespit edilmiştir.
- Çekirdek malzeme türünün yüzeye dik çekme mukavemeti üzerine anlamlı bir etkisi olduğu tespit edilmiş olup genel olarak Al bal peteği çekirdeğe sahip levhaların daha yüksek yüzeye dik çekme direnci değerlerine sahip oldukları söylenebilir.
- Araştırma sonuçlarına göre çekirdek malzemesi yüksekliğinin yüzeye dik çekme mukavemeti üzerine etkisi yüzeyi ahşap kaplı PP çekirdeğe sahip levhalarda anlamlı olup, bu levhalarda çekirdek yüksekliğinin artması yüzeye dik çekme direncini belirgin derecede azaltmıştır. Yüzeyi kontrplak kaplı PP çekirdekli levhalarda ise çekirdek yüksekliğinin yüzeye dik çekme direnci üzerine etkisi anlamlı bulunmamıştır. Benzer şekilde Al bal peteğine sahip levhalarda da yüzey kaplama malzemesi ahşap ya da kontrplak olsun çekirdek yüksekliğinin yüzeye dik çekme direnci üzerine etkisi anlamlı bulunmamıştır.
- Genel anlamda kenevir takviyesinin, daha önce ifade edilen sebeplerden dolayı levhaların yüzeye dik çekme mukavemeti değerine olumsuz etki ettiği tespit edilmiştir. Bu durum 10 mm yükseklikte PP çekirdeğe ve kontrplak yüzey kaplamasına sahip levhalar istisna olmak üzere diğer levha tiplerinde açıkça görülmektedir.

Tablo 5.2 Sandviç levhaların dik çekme mukavemet değerleri karşılaştırması

	Kontrplak			Ahşap kaplama			Yüzey kaplamasının etkisi	
	10 mm Al (N/mm ²)	18 mm Al (N/mm ²)	Çekirdek etkisi	10 mm Al (N/mm ²)	18 mm Al (N/mm ²)	Çekirdek etkisi	10 mm Al	18 mm Al
Kenevir takviyesiz	1,06	1,16	%9,5 artmıştır	0,89	0,80	%9,5 azalmıştır	%16,5 azalmıştır	%31,0 azalmıştır
Kenevir takviyeli	0,37	0,32	%12,4 azalmıştır	0,30	0,30	%0	%18,9 azalmıştır	%6,8 azalmıştır
	10 mm PP (N/mm ²)	20 mm PP (N/mm ²)	Çekirdek etkisi	10 mm PP (N/mm ²)	20 mm PP (N/mm ²)	Çekirdek etkisi	10 mm PP	20 mm PP
Kenevir takviyesiz	0,79	0,71	%10,2 azalmıştır	0,91	0,60	%33,9 azalmıştır	%15,1 artmıştır	%15,2 azalmıştır
Kenevir takviyeli	0,92	0,46	%50,3 azalmıştır	0,71	0,27	%62,0 azalmıştır	%22,9 azalmıştır	%39,4 azalmıştır

Ahşap esaslı levhalar ile ilgili olarak TS EN 312 (2012) “Yonga Levhalar – Özellikler” standardına göre kuru şartlarda yük taşıyıcı yonga levhaların dik çekme mukavemeti kalınlığı 20 mm’ye kadar olanlarda en az 0,35 N/mm², 32 mm’ye kadar olanlarda ise 0,25 N/mm² olarak verilmektedir. TS EN 622-5 (2011) “Lif Levhalar - Özellikler - Bölüm 5: Kuru İşlemli Levhalar (Mdf) İçin Gerekliler” standardına göre kuru şartlarda kullanılan genel amaçlı levhalar için dik çekme mukavemeti kalınlığı 19 mm’ye kadar olanlarda en düşük 0,55 N/mm², 30 mm’ye kadar olanlarda da 0,55 N/mm² olmalıdır. TS EN 300 (2008) “Yönlendirilmiş Lif Levhalar (OSB) - Tarifler, Sınıflandırma Ve Özellikler” standardında ise kuru şartlarda yük taşıyıcı olarak kullanılan levhaların dik çekme mukavemeti kalınlığı 18mm’ye kadar olanlarda en düşük 0,32 N/mm², kalınlığı 32 mm’ye kadar olanlarda en düşük 0,30 N/mm² olarak verilmektedir. Bu çalışmada elde edilen yüzeye dik çekme mukavemeti değerleri, kenevir takviyesi dikkate alınmadığında diğer ahşap esaslı lavha tipleri için verilen minimum değerlerin üzerinde bulunmaktadır.

Barbu ve diğ (2010) üç farklı kalınlıkta ahşap yüzey kaplaması ile çekirdek malzeme olarak kullandıkları 11 mm yükseklikteki polietilen köpükte elde ettikleri sandviç levhaların yüzeye dik çekme mukavemetini 3 mm kalınlıktaki yüzeyler için 0,17 N/mm², 4 mm kalınlıktaki

yüzeyler için $0,21 \text{ N/mm}^2$ ve 5 mm kalınlıktaki yüzeyli sandviç levhalar içinde $0,28 \text{ N/mm}^2$ olarak tespit etmişlerdir.

5.4. EĞİLMEDE MAKSİMUM KUVVET

Yapılan eğilme deneyi sonucunda sandviç levhaların eğilmede maksimum kuvvet değerleri üzerine yüzey malzemesi, çekirdek malzemesi ve kenevir takviyesinin istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. Sandviç levhaların eğilmede maksimum kuvvet değerleri hem sandviç levhaların kendi grubu içerisinde hem de diğer sandviç levha grupları ile ayrı ayrı değerlendirilmiş ve bu durum Tablo 5.3'te verilmiştir. Buna göre;

- Eğilmede maksimum kuvvet en yüksek olarak 2078 N ile yüzey kaplaması kontrplak ve çekirdek malzemesi 20 mm PP olan levhalarda liflere dik yönde, en düşük değer ise 101 N ile yüzey malzemesi ahşap kaplama ve çekirdeği 18 mm Al olan levhalarda liflere paralel yönde elde edilmiştir.
- Ahşabın anizotrop yapısından dolayı eğilmede maksimum kuvvete lif yönünün önemli bir etkisi olduğu ve liflere dik yönde yüklenen levhalarda elde edilen değerlerin liflere paralel yöne göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Özellikle ağaç kaplamalı sandviç levhalarda bu etkinin daha belirgin olduğu Tablo 5.3'te görülmektedir.
- Kullanılan yüzey malzemesinin eğilme kuvvetine etkisinin istatistiki olarak anlamlı olduğu tespit edilmiştir. Yüzey malzemesi kontrplak olan levhaların, hem Al çekirdek hem de PP çekirdek için yüzeyi ahşap kaplama olan levhalardan her iki yükleme yönünde de belirgin derecede daha yüksek eğilme kuvvetine sahip oldukları tespit edilmiştir.
- Üretimde kullanılan çekirdek malzemesi de eğilmede en yüksek kuvvet değeri üzerine anlamlı etkiye sahiptir. PP çekirdek malzemesi ile üretilen levhalar Al çekirdeğe göre yüzey malzemesi kontrplak olan levhalarda da ahşap kaplama olan levhalarda da belirgin şekilde daha yüksek eğilme kuvveti değerlerine sahiptir. Bu durum her iki yükleme yönü için de geçerlidir.
- Çekirdek yüksekliğinin eğilmede maksimum kuvvet üzerine anlamlı bir etkiye sahip olduğu bulunmakla birlikte, çekirdek yüksekliğinin artması ya da azalması ile eğilme kuvvetinin değişimi hakkında bir genelleme yapmak mümkün değildir. Örneğin yüzeyi ahşap kaplama olan levhalarda Al çekirdek yüksekliği arttığında lif yönünde eğilme mukavemeti anlamlı derecede düşerken PP çekirdek yüksekliği arttığında anlamlı

derecede bir artış söz konusudur. Lif yönüne dik yüklemelerde yüzeyi ahşap kaplamalı levhalarda Al çekirdek yüksekliği eğilme kuvvetine anlamlı bir etki yapmazken, PP çekirdek yükseliği arttığında eğilme mukavemeti anlamlı derecede artmıştır.

- Kenevir takviyesinin eğilmede maksimum kuvvet üzerine etkisinin istatistiki olarak anlamlı olduğu tespit edilmiştir. Kenevir takviyesi beklendiği şekilde eğilme kuvvetini artırmamış aksine azaltmıştır. Daha önceki bölümlerde de ifade edildiği üzere bu durumun, üretimde kullanılan kenevir dokumanın gevşek yapıda olmasından ve yeterli miktarda tutkal emmediği için yüzey kaplaması ile çekirdek arasındaki tutkal bağına da olumsuz etkilemiş olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yalnızca çekirdeği 18 mm yüzeyi ahşap kaplama olan sandviç levhada yaklaşık %8 oranında kenevir takviyeli levhada daha yüksek değer elde edilmiştir.

Tablo 5.3 Sandviç levhaların eğilme kuvveti değerleri karşılaştırması

	Kontrplak			Ahşap kaplama			Yüzey kaplamasının etkisi	
	10 mm Al (N)	18mm Al (N)	Çekirdek etkisi	10 mm Al (N)	18mm Al (N)	Çekirdek etkisi	10 mm Al	18 mm Al
Yük (Boyuna yön)	509,27	1065,56	%109 artmıştır	187,74	101,04	%46,1 azalmıştır	%63,1 azalmıştır	%90,5 azalmıştır
Yük (Boyuna yön) kenevir takviyeli	469,15	431,85	%7,9 azalmıştır	110,02	108,67	%1,2 azalmıştır	%76,5 azalmıştır	%74,8 azalmıştır
Yük (Enine yön)	2000,17	1984,61	%0,7 azalmıştır	1248,17	1126,39	%9,75 azalmıştır	%37,6 azalmıştır	%43,24 azalmıştır
Yük (Enine yön) kenevir takviyeli	1395,86	1380,93	%1,0 azalmıştır	448,79	600,92	%33,8 artmıştır	%67,8 azalmıştır	%56,4 azalmıştır
	10 mm PP (N)	20 mm PP (N)	Çekirdek etkisi	10 mm PP (N)	20 mm PP (N)	Çekirdek etkisi	10 mm PP	20 mm PP
Yük (Boyuna yön)	1211,94	981,70	%18,9 azalmıştır	361,17	554,33	%53,4 artmıştır	%70,1 azalmıştır	%43,5 azalmıştır
Yük (Boyuna yön) kenevir takviyeli	916,76	1189,18	%29,7 artmıştır	361,25	514,77	%42,4 artmıştır	%60,5 azalmıştır	%56,7 azalmıştır

Yük (Enine yön)	1384,45	2077,90	%50,0 artmıştır	1089,44	1227,77	%12,6 artmıştır	%21,3 azalmıştır	%40,9 azalmıştır
Yük (Enine yön) kenevir takviyeli	1920,52	1513,69	%21,1 azalmıştır	909,05	1297,53	%42,7 artmıştır	%52,6 azalmıştır	%14,2 azalmıştır

Aslan ve diğ. (2018) yaptıkları çalışmada yüzey kaplaması olarak karbon elyaf takviyeli polyester kompozit, cam elyaf takviyeli polyester kompozit, ve alüminyum levha çekirdek malzeme olarak Al bal peteği, PP bal peteği ve sert köpük kullanarak sandviç levhalar üretmişlerdir. Ürettikleri bu sandviç levhalardan 3 nokta eğilme testi yapmışlardır. Yaptıkları deneyler sonucunda Al bal peteği çekirdekli sandviç levhalardan elde ettikleri eğilme kuvveti sonuçlar karbon elyafli yüzeyli sandviç levhalarda 1195 N, cam elyafli yüzeyli sandviç levhalarda 615 N ve Al levha yüzeyli sandviç levhalarda ise 1102 N olarak tespit etmişlerdir. PP bal peteği çekirdekli sandviç levhalardan elde ettikleri eğilme kuvveti sonuçlar karbon elyafli yüzeyli sandviç levhalarda 1490 N, cam elyafli yüzeyli sandviç levhalarda 1410 N ve Al levha yüzeyli sandviç levhalarda ise 935 N olarak tespit etmişlerdir.

Gül (2018) yaptığı çalışmada yüzey malzemesi olarak karbon elyaf takviyeli kompozit ve çekirdek malzemesi olarak 5mm ve 20 mm çekirdek yüksekliğinde Al, PP ve nomex bal peteği çekirdek kullanarak sandviç panel üretmiştir. PP bal peteği hücre boyutu 8 mm, nomex bal peteğinin hücre boyutu 9,6 mm ve Al bal peteği nin çekirdek boyutu 9,52 mm'dir Bu sandviç panellerden yaptıkları 3 nokta eğilme deneyi sonuçlarına göre 5 mm çekirdekli sandviç panellerde eğilme kuvveti Al çekirdekli sandviç panelde yaklaşık 310 N, PP çekirdekli sandviç panelde 240 N ve nomex çekirdekli sandviç panellerde 170 N olarak tespit etmiştir. 20 mm çekirdekli sandviç panellerde eğilme kuvveti Al çekirdekli sandviç panelde yaklaşık 650 N, PP çekirdekli sandviç panelde 250 N ve nomex çekirdekli sandviç panellerde 250 N olarak tespit etmiştir.

Okur (2018) yaptığı çalışmada yüzey malzemesi olarak karbon elyaf takviyeli kumaş ve çekirdek malzeme olarak 10 mm hücre genişliğinde ve 6 mm, 21 mm, 46 mm hücre yüksekliğinde Al çekirdek kullanarak sandviç panel üretmiştir. Yaptığı üç nokta eğilme deneyi sonucunda 6 mm Al çekirdekli sandviç panel için 3400 N, 21 mm mm Al çekirdekli sandviç panel için 2800 N ve 46 mm Al çekirdekli sandviç panel için eğilmede en yüksek kuvveti 2800

N olarak tespit etmiştir. Ayrıca çekirdek makaslama mukavemetini 6 mm Al çekirdekli sandviç levha için $2,85 \text{ N/mm}^2$, 21 mm Al çekirdekli sandviç levha için $0,84 \text{ N/mm}^2$ ve 46 mm Al çekirdekli sandviç levha için $0,45 \text{ N/mm}^2$ olarak tespit etmiştir. Yüzey gerilme mukavemetini ise sıra ile $52,0 \text{ N/mm}^2$, $15,9 \text{ N/mm}^2$ ve $8,8 \text{ N/mm}^2$ olarak tespit etmiştir.

Du ve diğ. (2012) yaptıkları çalışmada yüzey malzemesi olarak biyo lif bazlı kağıt takviyeli polimer kompozit ile çekirdek malzemesi 3,18 mm ve 6,35 mm hücre genişliğinde ve 6,35, 9,53 ve 12,70 mm hücre yüksekliğinde nomex bal peteği üreterek eğilme deneyi yapmışlardır. Eğilme deneyi sonucunda en yüksek değeri 3331 N olarak 3,18 mm hücre genişliğinde ve 12,70 mm çekirdek yüksekliğindeki sandviç panelden elde etmişlerdir. En düşük eğilme kuvvetini ise 1273 N olarak 6,35 mm hücre genişliğinde ve 6,35 mm hücre yüksekliğindeki çekirdekli sandviç panellerden elde etmişlerdir.

Sun ve diğ. (2021) yaptıkları çalışmada yüzey malzemesi olarak karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme çekirdek malzemesi olarak 6 mm hücre boyutunda, 0,06 mm hücre duvarı et kalınlığında ve 10 mm yükseklikte Al bal peteği çekirdek kullanmışlardır. Yaptıkları çalışmada kısa aramid lifli sertleştirilmiş yüzey ve kısa aramid liflerin karbon elyaf kayışla birlikte elde edilen sertleştirilmiş yüzey olmak üzere 2 farklı ara yüzey takviye malzemesi kullanmışlardır. Takviyesiz sandviç levhaların eğilme kuvveti sonuçlarını bu levhaların sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Yaptıkları eğilme deneyi sonuçlarına göre takviyesiz sandviç panellerin eğilme mukavemeti yaklaşık 1000 N olarak, kısa aramid lifi takviyeli sandviç panellerde eğilme kuvveti yaklaşık 1300 N ve kısa aramid takviyesi ile beraber karbon elyaf kayışla güçlendirilmiş sandviç panellerde eğilme kuvvetini yaklaşık 1700 N olarak tespit etmişlerdir.

Yukarıda belirtelen eğilme deneyi ile ilgili daha önceki çalışmalar ile bu çalışmadan elde edilen sonuçları karşılaştırma yapıldığı zaman yüzey malzemesi olarak kullanılan malzemenin kalınlığı ve türü, çekirdek malzemesini türü, hücre boyutu ve yüksekliği eğilme kuvvetine etkisi olduğu bundan dolayı da farklı sonuçların elde edildiği görülmektedir. Ayrıca bu çalışmada ahşabın kullanılması lif yönünde etkisi olduğunu göstermektedir. Takviye malzemesi olarak ikinci deneme numunelerinden elde edilen eğilme kuvveti değerleri daha yüksek olduğu ve kenevir takviyesinin diğer takviye malzemeleri olan cam elyaf ve karbon elyaf malzemelerine göre sandviç panellere daha yüksek mukavemet sağladığı görülmektedir.

Paik ve diğ. (1999) yaptıkları çalışmada üç noktalı eğilme deneyi sonucunda sandviç levhanın çekirdek yüksekliğinin artması ve hücre genişliğinin azalmasıyla eğilme mukavemetinin arttığını belirtmişlerdir. Solmaz ve diğ. (2010) yaptıkları çalışmada çekirdeğin hücre boyutunun artması ile eğilme mukavemetinde azalma olduğunu belirlemişlerdir.

Arbaouive diğ (2014) yaptıkları çalışmada sandviç levhalarda çekirdeğin kalınlığının artmasıyla eğilme yükünün büyüklüğünün arttığını belirtmişlerdir.

Kumar ve diğ. (2021) yaptıkları çalışmada çekirdek yüksekliği arttıkça sandviç levhaların eğilme mukavemetini arttığını belirtmişlerdir.

Akkuş (2016) yaptığı çalışmada sandviç levhalarda üç noktalı eğilme deneyinde çekirdeğin hücre genişliği azaltıldığında ve hücre yüksekliği artırıldığında eğme kuvvetinde artış olduğunu belirtmiştir.

Li ve diğ. (2013) yaptıkları çalışmada sandviç levhada çekirdek yüksekliği arttıkça eğilme mukavemet değerinin de arttığını tespit etmişlerdir.

Ali ve diğ. (2013) yaptıkları çalışmada sandviç levhaların üç nokta eğme deneyinde hücre et kalınlığı artıkça, hücre yüksekliği arttıkça ve yüzey malzemesi kalınlığı arttıkça eğilme yük miktarının arttığını tespit etmişlerdir.

Solmaz ve diğ. (2010) yaptıkları çalışmada yüzey malzemesi olarak cam fiber ve poliester reçineden oluşan kompozit levhalar kullanmışlardır. Bu çalışma sonucunda sandviç levhalarda yüzey malzemesinin eğilme mukavemeti üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Solmaz ve diğ. (2010) yaptıkları çalışmada bal peteği çekirdeğinin yoğunluğunun artması ile sandviç levhaların eğilme dayanımları ve çekirdeklerin kayma rijitliklerinin arttığını belirtmişlerdir.

Eğilme yükü üzerinde kullanılan tutkal miktarının önemli etkisi olduğu yapılan araştırmalarda belirtilmiştir. Jen ve diğ. (2009) yaptıkları çalışmada sandviç levhaların eğilme yüklemesi kaynaklı yorulma direnci üzerinde yapıştırıcı miktarının önemli rol oynadığını, yapıştırıcı miktarı arttıkça yorulma mukavemetinin arttığını belirtmişlerdir. Bunun nedeninin kullanılan tutkal miktarı fazla olması durumunda petek hücre duvarları ile yüzeyler arasında daha fazla

bulaşma miktarının olması ve çekirdek ile yüzeyler arasında olası boşlukların kapanması ile sandviç levhanın eğilme yükü altında daha yüksek mukavemet değeri göstermesi olduğunu ifade etmişlerdir.

5.5. ÇEKİRDEK MAKASLAMA MUKAVEMETİ DENEYİ

Sandviç levhaların çekirdek makaslama mukavemeti değerleri üzerine yüzey malzemesi, çekirdek malzemesi ve kenevir takviyesinin istatistiki olarak anlamlı bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. Çekirdek makaslama mukavemeti değerlerinin sandviç levhaların yüzey kaplaması türü ile çekirdek malzeme türü ve yüksekliğine göre değişimlerini içeren karşılaştırma Tablo 5.4'te verilmiştir. Yapılan analiz ve değerlendirmelerde öne çıkan sonuçlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir:

- Levha yüzeyine göre enine yönde makaslama mukavemeti değerleri boyuna yönde değerlerden yüksek bulunmuştur. En yüksek çekirdek makaslama mukavemeti $1,41 \text{ N/mm}^2$ ile kontrplak yüzeyli 10 mm çekirdekli levha yüzeyine enine yönde bulunmuştur. En düşük çekirdek makaslama mukavemeti $0,04 \text{ N/mm}^2$ ile 18 mm çekirdekli ahşap kaplama yüzeyli boyuna yönde kenevir takviyeli ve takviyesiz sandviç levhalarda tespit edilmiştir. Elde edilen değerlerde varyasyon genişliğinin oldukça yüksek olduğu görülmüştür.
- Yüzey kaplaması kontrplak olan levhaların çekirdek makaslama mukavemeti değerleri yüzeyi ahşap kaplama olan levhalardan anlamlı derecede daha yüksek bulunmuştur.
- Çekirdek malzemesinin sandviç levhaların çekirdek makaslama mukavemeti üzerine anlamlı etkisi olduğu tespit edilmiş olup her iki tip yüzey kaplama malzemesi için de genel olarak PP çekirdek malzemesinin Al çekirdekli levhalara göre az ya da çok daha yüksek mukavemet değerlerine sahip olduğu söylenebilir. Bu duruma, yüzeyi kontrplak kaplı levhalarda 10 mm çekirdek yüksekliğinde Al çekirdekli levhaların enine yönde çekirdek makaslama mukavemetinin PP'ye göre daha yüksek olması bir istisna olmuştur.
- Her iki çekirdek malzemesi için de çekirdek yüksekliğinin artması ile makaslama mukavemet değerlerinin anlamlı derecede azaldığı görülmüştür. Yalnızca Al çekirdekli ve yüzeyi kontrplak kaplı sandviç levhada boyuna makaslama mukavemeti çekirdek yüksekliği 10 mm'den 18 mm'ye çıktığında bir miktar artış göstermiştir.

- Çekirdek makaslama mukavemeti ve yüzey gerilme mukavemeti eğilme yükü ile doğru orantılı olarak değişim gösterdiği görülmektedir. Eğilme yük miktarı arttığında çekirdek makaslama ve yüzey gerilme mukavemetleri artmaktadır.
- Kenevir takviyesinin istisnalar olmakla birlikte genel olarak çekirdek makaslama mukavemetini düşürdüğü tespit edilmiştir. Bu durum tablo 5.4'te görüldüğü üzere ahşap kaplama yüzeyli sandviç levhalarda daha belirgindir.

Tablo 5.4 Sandviç levhaların çekirdek makaslama mukavemeti değerleri karşılaştırması

	Kontırplak			Ahşap kaplama			Yüzey kaplamasının etkisi	
	10 mm Al (N/mm ²)	18mm Al (N/mm ²)	Çekirdek etkisi	10mm Al (N/mm ²)	18mm Al (N/mm ²)	Çekirdek etkisi	10 mm Al	18 mm Al
Çekirdek makaslama (Boyuna yön)	0,36	0,40	%11,2 artmıştır	0,14	0,04	%71,5 azalmıştır	%61,1 azalmıştır	%90,0 azalmıştır
Çekirdek makaslama (Boyuna yön) kenevir takviyeli	0,32	0,16	%50,0 azalmıştır	0,08	0,04	%50,0 azalmıştır	%75,0 azalmıştır	%73,8 azalmıştır
Çekirdek makaslama (Enine yön)	1,41	0,75	%47,1 azalmıştır	0,93	0,44	%52,4 azalmıştır	%34,0 azalmıştır	%40,6 azalmıştır
Çekirdek makaslama (Enine yön) kenevir takviyeli	0,95	0,51	%46,1 azalmıştır	0,33	0,22	%31,4 azalmıştır	%65,6 azalmıştır	%56,1 azalmıştır
	10 mm PP (N/mm ²)	20 mm PP (N/mm ²)	Çekirdek etkisi	10 mm PP (N/mm ²)	20 mm PP (N/mm ²)	Çekirdek etkisi	10 mm PP	20 mm PP
Çekirdek makaslama (Boyuna yön)	0,85	0,34	%60,2 azalmıştır	0,27	0,18	%33,3 azalmıştır	%68,2 azalmıştır	%46,6 azalmıştır
Çekirdek makaslama (Boyuna yön) kenevir takviyeli	0,63	0,40	%36,4 azalmıştır	0,27	0,18	%33,3 azalmıştır	%57,2 azalmıştır	%55,1 azalmıştır

Çekirdek makaslama (Enine yön)	0,98	0,71	%26,6 azalmıştır	0,81	0,43	%46,5 azalmıştır	%17,3 azalmıştır	%39, 7 azalmıştır
Çekirdek makaslama (Enine yön) kenevir takviyeli	1,33	0,51	%61,5 azalmıştır	0,67	0,45	%32,5 azalmıştır	%49,4 azalmıştır	%11,4 azalmıştır

Gül (2018) yaptığı çalışmada üç noktalı eğilme testinde sandviç levhanın çekirdek kalınlığı arttıkça çekirdek kayma gerilmesinde ve yüzey eğilme gerilmesinde azalmanın olduğunu belirtmiştir. Ayrıca Solmaz ve diğ. (2010) sandviç levhalarda çekirdek boyutunun artması ile kayma modüllerinde azalma olduğunu belirtmişlerdir.

Arbaoui ve ark. (2014) üç farklı çekirdek yüksekliğinde PP çekirdek (10 mm, 20 mm ve 40 mm) ile yüzeyi 1 mm kalınlığında cam elyaf takviyeli kompozit ile sandviç levha üretmişlerdir. Yapılan çekirdek makaslama gerilmesi deneyleri sonucunda 10 mm, 20 mm ve 40 mm çekirdekli sandviç levhalar için bulunan sonuçlar sırası ile 0,45 N/mm², 0,33 N/mm² ve 0,21 N/mm² bulmuşlardır. Aynı durum, sandviç levhada çekirdek yüksekliği arttıkça çekirdek makaslama gerilmesinin azaldığı bu çalışmada da görülmektedir.

5.6. YÜZEY GERİLME MUKAVEMETİ DENEYİ

Yapılan deney ve analizler sonucunda sandviç levhaların yüzey gerilme mukavemeti değerlerine sandviç levhanın bütün bileşenleri olan yüzey malzemesi, çekirdek malzemesi ve kenevir takviyesinin istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. Sandviç levhaların çekirdek makaslama mukavemetinin hem levhaların kendi grupları içerisinde hem de diğer sandviç levha grupları içerisinde değişimleri Tablo 5.5'te verilmiştir. Yapılan analiz ve değerlendirmeler sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- En yüksek yüzey gerileme mukavemeti 25,57 N/mm² ile kontrplak yüzeyli 10 mm çekirdekli levha yüzeyine enine yönde bulunmuştur. En düşük yüzey gerilme mukavemeti 0,83 N/mm² ile 18 mm çekirdekli ahşap kaplama yüzeyli boyuna yönde kenevir takviyeli sandviç levhalarda tespit edilmiştir.

- Levha yüzeyine göre enine yönde yüzey gerilme mukavemetinin boyuna yönden belirgin derecede daha yüksek olduğu bulunmuştur. Bu farkın Al çekirdekli levhalarda daha fazla olduğu görülmektedir.
- Kontrplak yüzeyli sandviç levhaların çekirdek yüzey gerilme mukavemeti değerleri her iki çekirdek malzeme tipinde de ahşap kaplama yüzeyli levhalardan anlamlı derecede daha yüksek bulunmuştur.
- Çekirdek yüzey gerilme mukavemeti değerleri çekirdek malzemesi tipi bakımından incelendiğinde; boyuna yönde kontrplak yüzeyli 18 mm Al çekirdek ve enine yönde hem kontrplak hem de ahşap kaplamalı ve her iki çekirdek yüksekliğinde Al çekirdekli levhalar dışında PP çekirdeğe sahip olan levhalarda Al çekirdeğe sahip levhalardan daha yüksek mukavemet değerleri tespit edilmiştir.
- Genel olarak çekirdek malzemesi yüksekliği arttıkça mukavemet değerinin azaldığı ve bu duruma tek istininin boyuna yönde kontrplak yüzeyli kenevir takviyesiz Al çekirdekli levhalar olduğu görülmektedir.
- Kenevir takviyesinin genel olarak yüzey gerilme mukavemetini düşürdüğü tespit edilmiştir. Bu durum tablo 5.5'te görüldüğü üzere ağaç kaplama yüzeyli sandviç levhalarda daha belirgindir.

Tablo 5.5 Sandviç levhaların yüzey gerilme mukavemeti değerleri karşılaştırması

	Kontrplak			Ahşap kaplama			Yüzey kaplamasının etkisi	
	10 mm Al (N/mm ²)	18 mm Al (N/mm ²)	Çekirdek etkisi	10 mm Al (N/mm ²)	18 mm Al (N/mm ²)	Çekirdek etkisi	10 mm Al	18 mm Al
Yüzey gerilme (boyuna yön)	6,56	7,30	%11,2 artmıştır	3,09	0,96	%68,8 azalmıştır	%52,9 azalmıştır	%86,8 azalmıştır
Yüzey gerilme (boyuna yön) kenevir takviyeli	5,22	2,61	%50,0 azalmıştır	1,62	0,83	%48,7 azalmıştır	%68,9 azalmıştır	%68,0 azalmıştır
Yüzey gerilme (enine yön)	25,57	13,58	%88,3 azalmıştır	20,64	10,54	%48,9 azalmıştır	%19,3 azalmıştır	%22,3 azalmıştır

Yüzey gerilme (enine yön) kenevir takviyeli	15,23	8,36	%45,1 azalmıştır	6,50	4,38	%32,6 azalmıştır	%57,3 azalmıştır	%47,6 azalmıştır
	10 mm PP (N/mm ²)	20 mm PP (N/mm ²)	Çekirdek etkisi	10mm PP (N/mm ²)	20mm PP (N/mm ²)	Çekirdek etkisi	10 mm PP	20 mm PP
Yüzey gerilme (boyuna yön)	15,17	6,05	%60,1 azalmıştır	5,68	3,75	%33,9 azalmıştır	%62,5 azalmıştır	%37,9 azalmıştır
Yüzey gerilme (boyuna yön) kenevir takviyeli	10,59	6,53	%38,2 azalmıştır	5,72	3,46	%39,6 azalmıştır	%45,9 azalmıştır	%47,1 azalmıştır
Yüzey gerilme (enine yön)	17,65	12,81	%27,4 azalmıştır	17,33	8,72	%49,6 azalmıştır	%1,8 azalmıştır	%31,9 azalmıştır
Yüzey gerilme (enine yön) kenevir takviyeli	22,52	8,30	%63,1 azalmıştır	14,31	8,88	%37,9 azalmıştır	%36,4 azalmıştır	%6,9 artmıştır

Arbaoui ve ark. (2014) üç farklı çekirdek yüksekliğinde PP çekirdek (10 mm, 20 mm ve 40 mm) ile yüzeyi 1 mm kalınlığında cam elyaf takviyeli kompozit ile sandviç levha üretmişlerdir. Yapılan yüzey gerilmesi deneyleri sonucunda 10 mm, 20 mm ve 40 mm çekirdekli sandviç levhalar için bulunan sonuçlar sırası ile 68,20 N/mm², 49 N/mm² ve 31 N/mm² bulmuşlardır. Aynı durum, sandviç levhada çekirdek yüksekliği arttıkça yüzey gerilmesinin azaldığı bu çalışmada da görülmektedir.

5.7. ÇARPMA MUKAVEMETİ DENEYİ

Çarpma mukavemeti deney sonuçları sandviç levhaların kendi grubu içerisinde ve diğer sandviç levha grupları içerisinde meydana gelen hasarların gözle muayene edilmesi ve hesaplanan potansiyel enerji değerlerine göre değerlendirilmiştir. Çarpma mukavemeti üzerine yüzey malzemesi ve çekirdek malzemesinin önemli derecede etkisi olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir:

- Bilye ağırlığı çarpma mukavemeti deneyinde meydana gelen hasarın türüne ve büyüklüğüne etki etmektedir. Doğal olarak bilye ağırlığı arttıkça numuneler üzerindeki hasar miktarları da artmıştır. 1040 g çelik bilyenin (20,4J) daha fazla hasara yol açtığı tespit edilmiştir.
- Ahşap kaplama yüzeyli sandviç levhalarda meydana gelen çatlak, çökme ve kırık gibi hasarların kontrplak yüzeyli sandviç levhalardan daha belirgin olduğu gözlenmiştir.
- Yüzeyi kontrplak olan levhalarda çekirdek malzemesinin Al ya da PP olmasının sandviç levhada oluşan çarpma hasarına bir etkisi bulunmadığı tespit edilmiştir. Burada yüzey malzemesinin çarpma etkisine maruz kaldığından çarpma enerjisini ne kadar absorbe ettiğinin önemi ortaya çıkmaktadır. Eğer yüzey malzemesi çarpma enerjisinin büyük kısmını ya da tamamını absorbe edebilirse, enerjinin çekirdek kısmına ulaşmadan sönümlendiği söylenebilir.
- Yüzeyi ahşap kaplama olan levhalarda Al çekirdekli sandviç levhalarda meydana gelen hasar miktarının PP çekirdekli levhalara göre daha belirgin olduğu gözlenmiştir. Burada yüzey malzemesi çarpma enerjisini yeterince absorbe edemediğinden dolayı çarpma ile oluşan hasar miktarında çekirdek malzemenin de etkisi olduğu ve PP çekirdeğin Al çekirdeğe göre hasara karşı daha dayanıklı olduğu ortaya çıkmaktadır.
- Çekirdek malzemesinin yüksekliği bakımından sonuçlar incelendiğinde 10 mm Al çekirdekli levhalarda 18mm Al çekirdekli levhalara göre daha az hasarın olduğu görülmüştür. 18mm Al levhanın çekirdek genişliğinin daha fazla olmasının bu durumda etkili olan unsur olduğu söylenebilir. PP çekirdekli levhalarda da çok belirgin olmamakla birlikte 10 mm çekirdeğe sahip levhalarda 20 mm çekirdeğe sahip levhalara göre daha az hasarın olduğu görülmüştür.
- Kontrplak yüzeyli sandviç levhalarda kenevir takviyesi Al çekirdekli levhalarda çok az da olsa olumlu etki yapmış olup oluşan hasarların bir miktar daha az olduğu, PP çekirdekli levhalarda ise belirgin bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Ahşap kaplama yüzeyli sandviç levhalarda kenevir takviyesinin olumlu bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

Akkuş ve diğ. (2016) yaptıkları çalışmada bal petekli kompozit levhalarda çekirdek genişliği azaldıkça ve çekirdek yüksekliği arttıkça darbe mukavemeti değerinin arttığını belirtmişlerdir.

Arslan ve Kaman (2002) yaptıkları çalışmada, çekirdek malzemenin et kalınlığının çarpma sonucu oluşan deformasyon miktarında etkisi olduğunu belirtmiştir. Aynı hücre boyutlu çekirdek ile üretilen sandviç levhalarda çekirdek malzemenin et kalınlığı arttıkça daha küçük çökmeler elde edildiğini belirtmişlerdir. Ayrıca çekirdek boyutu arttıkça çökme miktarının arttığını belirtmişlerdir.

Crupi ve diğ. (2012) çarpma mukavemetini çarpma aparatı, bal peteklerinin hücre çapı, numunelerin yüzey kaplaması, çekirdekle yüzeyin yapışması gibi birçok faktörün etkilediğini belirtmişlerdir.

Wang ve diğ. (2016), sandviç panellerin darbe tepkisinin yalnızca yüzey malzemesine bağlı olmadığını aynı zamanda çekirdek malzemeye de bağlı olduğunu belirtmişlerdir.

Yukarıda özetlenen daha önce yapılmış olan bilimsel araştırmalarda, bu çalışmadaki çarpma mukavemeti sonuçlarını destekler sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Sandviç levhalarda yüzey malzemesi olarak ahşabın kullanılması durumunda, doğası gereği daha kırılgan olmasından dolayı çarpma mukavemetine karşı daha duyarlı olabilmektedir. Ahşap yüzey kaplama malzemenin bu zayıflığına rağmen geri dönüştürülebilir çevre dostu malzeme olması bu zayıflığını kullanım yerine göre tolere etme imkânı sunabilmektedir. Yüzeyde kullanılacak ahşap malzemede farklı kimyasal veya alternatif uygulamalar yapılarak darbe mukavemetine karşı geliştirmek mümkün olabilir.

5.8. BASMA MUKAVEMETİ DENEYİ

Basma mukavemeti denemeleri sonucunda sandviç levhaların mukavemet değerleri üzerine sandviç levhanın bütün bileşenleri olarak yüzey malzemesi, çekirdek malzemesi ve kenevir takviyesinin etkili olduğu görülmüştür. Basma mukavemeti deney sonuçları hem sandviç levhaların kendi grubu içerisinde hem de diğer sandviç levha grupları arasında ayrı ayrı değerlendirilmiştir ve sonuçlar Tablo 5.6'da özetlenmiştir. Bu sonuçlara göre:

- Yüzey kaplama malzemesi bakımından sonuçlar ele alındığında, çekirdek malzemesi 10 mm Al olan levhalarda ahşap kaplama ile daha iyi mukavemet değerleri elde edilirken 18 mm Al çekirdek olan levhalarda kontrplak yüzey kaplaması daha iyi sonuç vermiştir. PP çekirdekli levhalarda ise her iki çekirdek yüksekliğinde de ahşap yüzey kaplaması ile daha iyi mukavemet değerleri ortaya çıkmıştır.

- Çekirdek malzemesi tipinin levhaların basma mukavemeti değerleri üzerine etkisi incelendiğinde yüzeyi kontrplak olan levhalarda Al çekirdek ile PP çekirdekten daha yüksek mukavemet değerleri elde edilmiştir. Yüzeyi ahşap kaplama olan levhalarda ise 10 mm yükselikte Al çekirdek aynı yükseklikteki PP çekirdekten belirgin şekilde daha yüksek mukavemet değeri sergilerken, 18 mm Al çekirdekli levhaların mukavemeti 20 mm PP çekirdekli levhalardan az da olsa düşük bulunmuştur.
- Çekirdek malzemesi yüksekliği de basma mukavemeti üzerine etkili olmuştur. Özellikle Al çekirdekli levhalarda, yüzeyi kontrplak ya da ahşap kaplama olsun, çekirdek yüksekliğinin 10 mm'den 18 mm'ye çıkması ile basma mukavemeti değerleri önemli oranda azalmıştır. PP çekirdekli levhalarda ise sonuçlar çelişkilidir. Kontrplak yüzeyli levhalarda PP çekirdeğin 10 mm'den 20 mm'ye çıkması basma mukavemetinde artış meydana getirirken ahşap kaplama yüzeyli levhalarda tam tersi görülmüştür.
- Kenevir takviyesinin etkisi ele alındığında; Al çekirdekli levhalarda her iki yüzey kaplamasında da kenevir takviyesi beklentinin aksine mukavemet değerini olumsuz etkilemiştir. PP çekirdekli levhalarda da benzer şekilde olumsuz bir etki görülmekle birlikte kontrplak yüzeyli levhalarda 10 mm çekirdek yüksekliğinde basma mukavemeti değeri kenevir takviyesi ile iyileşmiştir.

Tablo 5.6 Sandviç levhaların basma mukavemeti değerleri karşılaştırması

	Kontrplak			Ahşap kaplama			Yüzey kaplamasının etkisi	
	10 mm Al (N/mm ²)	18 mm Al (N/mm ²)	Çekirdek etkisi	10 mm Al (N/mm ²)	18 mm Al (N/mm ²)	Çekirdek etkisi	10 mm Al	18 mm Al
Kenevir takviyesiz	1,68	0,99	%41,4 azalmıştır	1,75	0,70	%60,0 azalmıştır	%3,9 artmıştır	%29,1 azalmıştır
Kenevir takviyeli	1,15	0,68	%40,6 azalmıştır	1,14	0,62	%45,6 azalmıştır	%0,3 azalmıştır	%8,6 azalmıştır
	10 mm PP (N/mm ²)	20 mm PP (N/mm ²)	Çekirdek etkisi	10 mm PP (N/mm ²)	20 mm PP (N/mm ²)	Çekirdek etkisi	10 mm PP	18 mm PP
Kenevir takviyesiz	0,53	0,64	%20,6 artmıştır	0,82	0,75	%9,2 azalmıştır	%56,3 artmıştır	%17,5 artmıştır
Kenevir takviyeli	0,82	0,58	%28,8 azalmıştır	0,78	0,57	%26,0 azalmıştır	%5,1 azalmıştır	%1,4 azalmıştır

Arslan ve Kaman (2002) yaptıkları çalışmada basma mukavemetinde çekirdek et kalınlığının ve hücre boyutunun önemli bir etken olduğunu çekirdek et kalınlığı fazla olan sandviç

panellerin maksimum dayanım değerlerinin daha büyük olduğunu belirtmişlerdir. Çekirdek hücre boyutu büyük olan sandviç levhalarda şekil değişimine daha düşük yüklemelerde ulaşıldığını belirtmişlerdir. Bu durumun artan hücre boyutu ile birim alana düşen yük miktarını taşıyan çekirdekteki kaburga sayısında azalma olmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Zhang ve diğ. (2013) yaptıkları çalışmada sandviç levhalarda bal peteğinin et kalınlığının artması ile basma mukavemetinin arttığını belirtmişlerdir.

Khoshhravan ve Pour (2014) yaptıkları çalışmada hücre boyutunun artmasıyla basma mukavemetini azaldığını belirtmişlerdir.

Akkuş (2016) yaptığı çalışmada sandviç levhalarda çekirdeğin hücre genişliği ve hücre yüksekliği azaldıkça basma kuvvetinde artış olduğunu belirtmiştir. Hücre genişliği arttığında basma kuvvetindeki azalmanın nedenini temas yüzeyinin azalmasından dolayı sandviç levhanın rijitliğinin azalması olarak ifade etmiştir.

Takagi ve He (2017) yaptıkları çalışmada bal peteği hücre et kalınlığının artması hücre boyutunun azalması ve hücre yüksekliğinin artmasıyla basma yük değerinin arttığını tespit etmişlerdir.

Aslan ve diğ. (2018) yaptıkları çalışmada basma mukavemeti değerine etki eden en önemli faktörün çekirdek malzemenin mukavemeti olduğunu belirtmişlerdir. Al çekirdekli sandviç levhaların PP çekirdekli sandviç levhalardan daha yüksek basma mukavemeti değerine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Bu durumun da alüminyumun yüksek mukavemet değerlerine sahip olması ve yüksek enerji absorpsiyon özelliğinden kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Antony ve diğ. (2019) yaptıkları çalışmada ürettikleri kenevir/PP bal petekli sandviç levhaların basma mukavemetinin ticari olarak temin edilebilen farklı bal petekli sandviçlere göre daha iyi performansa sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Bu çalışmada basma mukavemeti bakımından elde edilen sonuçların önceki çalışmalarda elde edilen sonuçları destekler nitelikte olduğu görülmektedir. Çekirdek yüksekliğinin artmasıyla basma mukavemetinin azaldığı, Al çekirdekli sandviç levhaların PP çekirdekli sandviç levhalara göre daha yüksek basma mukavemeti değeri gösterdiği, hücre boyutunun artmasıyla mukavemet değerinin düştüğü, yüzey malzeme mukavemetinin basma mukavemetine etki ettiği

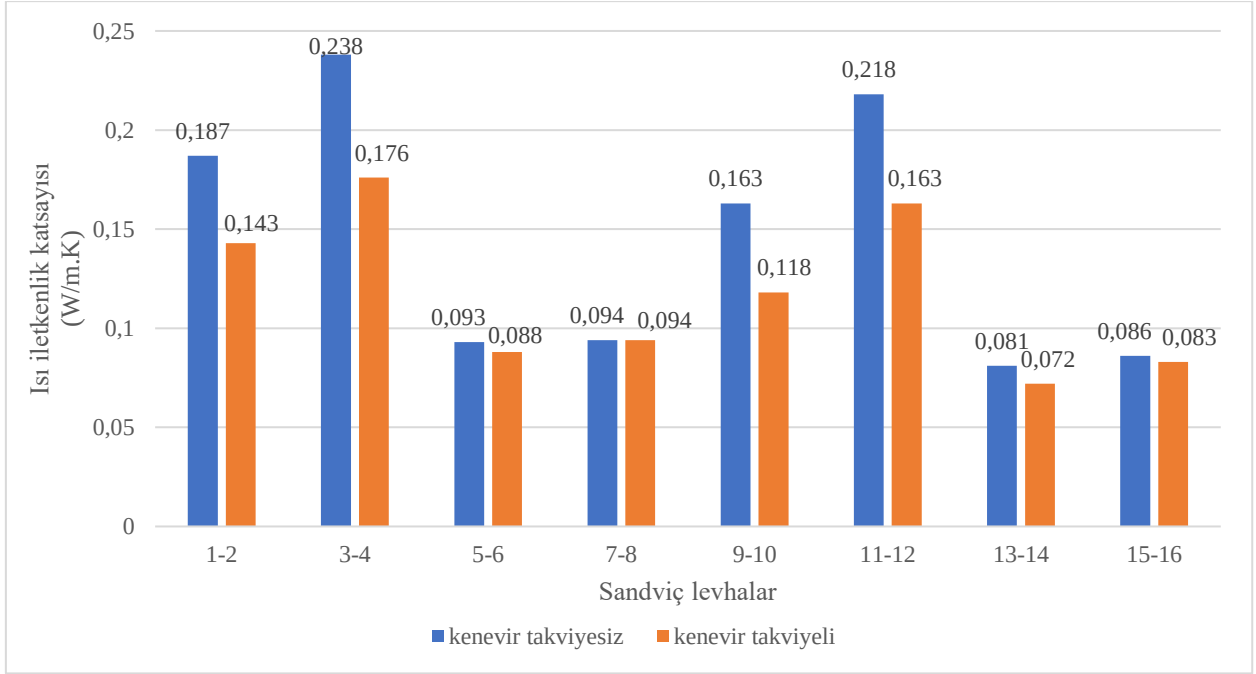
tespit edilmiştir. 18 mm Al çekirdeğin hücre boyutu 10 mm çekirdekten fazla olduğu için basma mukavemetinde azalma söz konusudur. Yine 10 mm PP çekirdekli sandviç levhaların 20 mm çekirdekli sandviç levhadan daha yüksek mukavemete sahip olduğu tespit edilmiştir.

5.9. ISI İLETKENLİK DENEYİ

Yapılan ısı iletkenlik deneyi sonucunda sandviç levhaların ısı iletkenlik değerlerine sandviç levhanın yüzey malzemesi, çekirdek malzemesi ve kenevir takviyesinin anlamlı etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Isı iletkenlik değerlendirirken hem sandviç levhalar kendi grubu içerisinde hem de diğer sandviç levha grupları arasında ayrı ayrı karşılaştırılmış olup elde edilen sonuçlar Tablo 3.1’de verilen numune kodlarına göre Şekil 5.1’de verilmiştir. Isı iletkenlik deneylerinden elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Bu çalışma kapsamında üretilen sandviç levhalarda en düşük ısı iletkenlik katsayısı (0,072 W/m.K) yüzeyi ahşap kaplama çekirdeği 10 mm PP olan ve kenevir takviyeli levhalarda elde edilmiştir. En yüksek ısı iletkenlik katsayısı (0,238 W/m.K) yüzeyi kontrplak olan 18 mm Al çekirdekli levhalarda elde edilmiştir.
- Kontrplak yüzeyli sandviç levhaların her iki çekirdek malzemesi tipinde de ahşap kaplama yüzeyli sandviç levhalardan daha yüksek ısı iletkenlik katsayısına sahip olduğu tespit edilmiştir.
- Her iki yüzey kaplaması ile de PP çekirdekli sandviç levhaların Al çekirdekli sandviç levhalardan belirgin bir şekilde daha düşük ısı iletkenlik katsayısı sahip olduğu tespit edilmiştir. PP’nin ısı iletkenlik katsayısı (0,07 W/mK) (URL-6, 2022) alüminyumun ısı iletkenlik katsayısından (0,239 W/mK) (URL-7, 2022) belirgin derecede düşük olması nedeniyle bu çekirdek malzemeler kullanılarak üretilen sandviç levhalarda da benzer bir durumun ortaya çıkması beklenen bir durumdur.
- 10 mm ve 20 mm PP çekirdekli sandviç levhalarda kendi içerisinde ısı iletkenlik katsayısı değerinde fazla fark olmadığı fakat 10 mm ve 18 mm Al çekirdekli sandviç levhalar birbiri ile karşılaştırıldığında belirgin bir farkın olduğu ve çekirdek yüksekliğinin artması ile ısı iletkenlik katsayısının da arttığı Şekil 5.1’de görülmektedir. Burada PP’nin düşük ısı iletkenlik katsayısı nedeni ile çekirdek yüksekliğinin artması ile önemli bir farklılık oluşmadığı, ancak Al’nin yüksek ısı iletkenlik katsayısına sahip olması nedeniyle çekirdek malzeme yüksekliğinin artması ile birim alandaki Al miktarının artmasına bağlı olarak ısı iletkenlik katsayısının da arttığı söylenebilir.

- Kenevir takviyeli sandviç levhaların kenevir takviyesiz sandviç levhalardan daha düşük ısı iletkenlik katsayısına sahip oldukları tespit edilmiştir.



Şekil 5.1 Sandviç levhaların ısı iletkenlik değerleri

Kenevir takviyesinin levhaların yalıtım özelliğini iyileştirdiğini söylemek mümkündür. Daha önce yapılan akademik çalışmalarda kenevir lifinin bu özelliği tespit edilmiştir. Berardi ve Lannace (2015) kenevir lifinin iyi termal özelliklere sahip olduğunu belirtmişlerdir. Shea ve diğ. (2012) kenevir lifinin düşük ısı iletkenlik katsayısına sahip olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca sandviç levhaların ısı iletkenlik değerlerinin yoğunluk değerleri ile ilişkilendirildiğinde ve Tablo 5.7’de verilen diğer ahşap esaslı levhaların ısı iletkenlik katsayısı değerleri ile karşılaştırıldığında PP çekirdekli levhaların ısı yalıtım özelliğinin daha iyi olduğu söylenebilir. Burada 18 mm Al çekirdekli levhaların yoğunluğuna göre daha yüksek ısı iletkenlik katsayısı gösterdiği görülmektedir. Bu durum alüminyumun kendi ısı iletkenlik katsayısının yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.

Aslan ve diğ. (2018) yaptıkları çalışmada Al ve PP bal petek çekirdekli dolgu malzemesi ile yüzeyi Kızılağaç, Huş ve Sarıçam kaplama kullanarak sandviç levhalar üretmişlerdir. Yaptıkları ısı iletkenlik deney sonuçları, bu çalışma sonucunda bulunan bulgulara benzer olarak, Al çekirdekli sandviç levhaların ısı iletkenlik değerlerinin PP çekirdekli sandviç levhalara göre daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca Al petekli huş kaplamalı sandviç

levhalarda 0,254 W/(m.K), kızılâğaç kaplamalı sandviç levhalarda 0,262 W/(m.K) ve sarıçam kaplamalı levhalarda 0.259 (W(m.K) olarak tespit etmişlerdir. PP çekirdekli huş kapmalı sandviç levhalarda ise 0,102 W(m.K), kızılâğaçda 0,108 W(m.K) ve sarıçam kaplamalarda ise 0,111 W (m.K) olarak tespit etmişlerdir.

Tablo 5.7 TS EN 13986 standardına göre ahşap esaslı levhaların ısı iletkenlik değeri

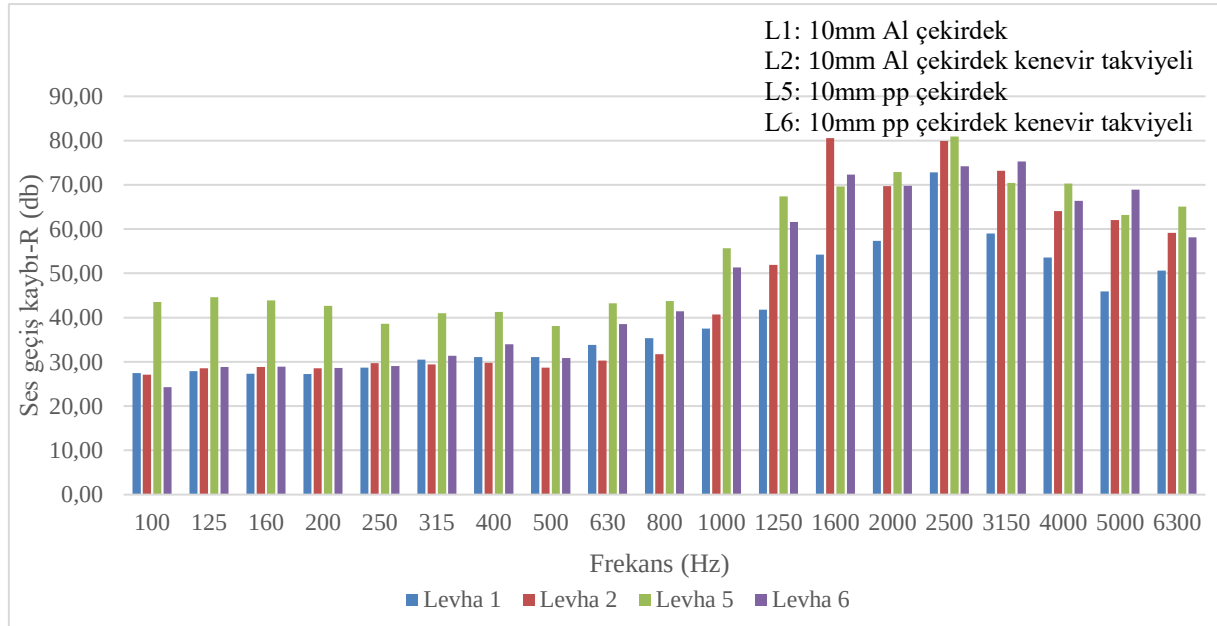
Ahşap Esaslı Levha	Yoğunluk (kg/m ³)	Isı iletkenlik (W/m.K)
Masif ahşap levha, kontrplak ve LVL	300	0,09
	500	0,13
	700	0,17
	1000	0,24
OSB	650	0,13
Yonga levha	300	0,07
	600	0,12
	900	0,18
Çimentolu yonga levha	1200	0,23
Lif levha	250	0,05
	400	0,07
	600	0,10
	800	0,14

5.10. AKUSTİK DENEYLER

Yapılan ses yalıtımı deneyleri sonucunda sandviç levhaların ses yalıtımı değerlerine sandviç levhanın yüzey malzemesi, çekirdek malzemesi ve kenevir takviyesinin anlamlı bir etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Ses yalıtım değerleri hem sandviç levhaların kendi grubu içerisinde hem de diğer sandviç levha grupları arasında karşılaştırılarak sonuçlar Şekil 5.2, 5.3, 5.4 ve 5.5'te verilmiştir.

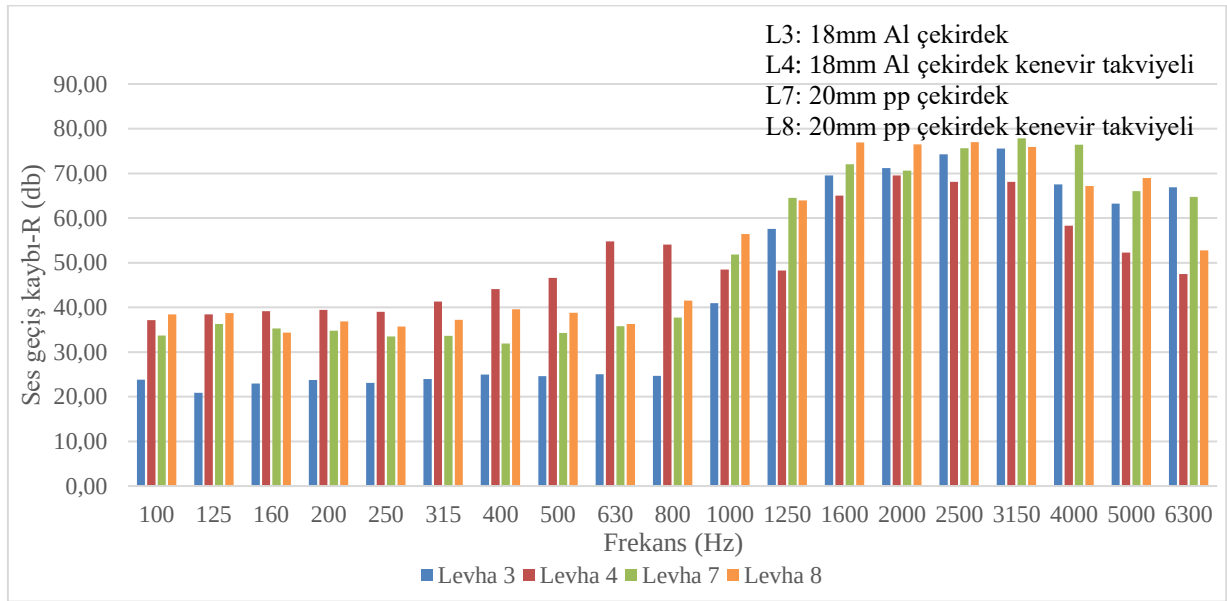
Şekil 5.2'de yüzeyi kontrplak kaplı olan 10 mm yükseklikte Al ve PP çekirdekli sandviç levhaların ses geçiş kayıpları verilmiştir. Genel olarak en iyi ses yalıtımının 10 mm çekirdek yüksekliğinde kenevir takviyesiz levhalarda (Levha 5) elde edildiği söylenebilir. Düşük frekanslarda PP çekirdekli sandviç levhaların Al çekirdekli sandviç levhalara göre daha iyi ses yalıtım özelliği gösterdiği, nispeten yüksek frekanslarda PP ile Al çekirdek arasındaki farkın

azaldığı, hatta 1600 Hz frekansta Al çekirdekli levhanın daha iyi ses yalıtımı gösterdiği görülmektedir. Kenevir takviyesinin de olumlu bir katkı sağlayarak hem Al çekirdekli hem de PP çekirdekli sandviç levhaların ses yalıtımını bir miktar iyileştirdiği tespit edilmiştir.



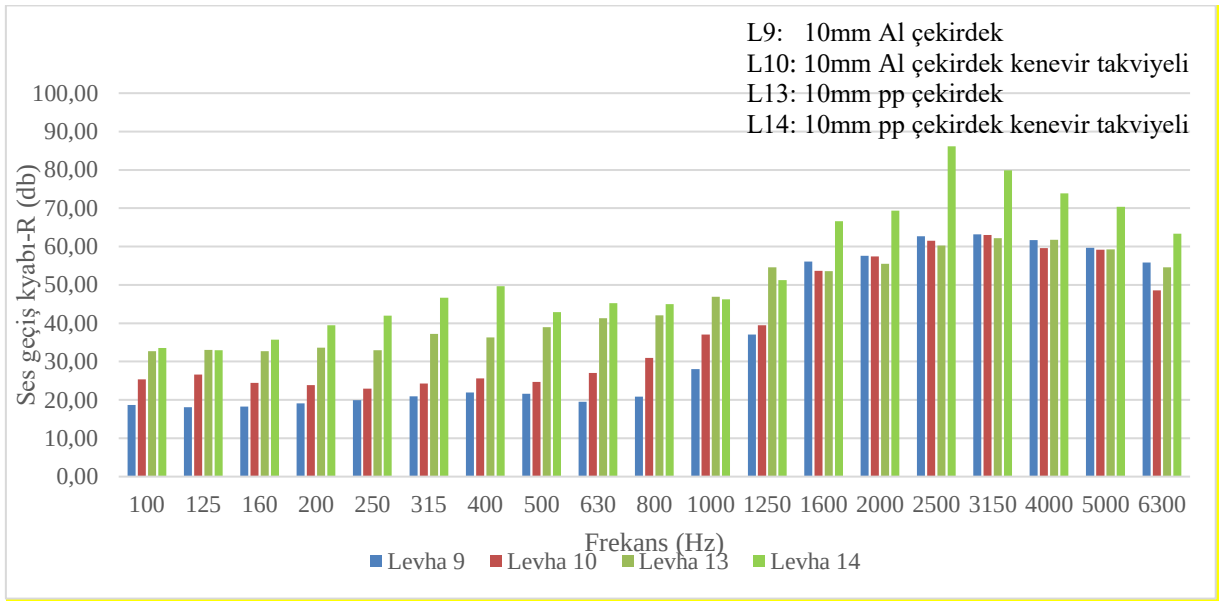
Şekil 5.2 Yüzeyi kontrplak olan 10 mm yükseklikteki Al vePP bal petekli sandviç levhaların ses geçiş kaybı değerleri

Şekil 5.3'te yüzeyi kontrplak olan 18 mm Al ve 20 mm PP çekirdekli sandviç levhaların ses geçiş kayıpları verilmiştir. Burada da genel olarak PP çekirdekli levhaların daha iyi ses yalıtımı sağladığı, ancak 160-800 Hz frekans aralığında kenevir takviyeli Al çekirdekli levhaların öne çıktığı görülmektedir. Kenevir takviyesinin ses geçiş kaybını artırdığı tespit edilmiştir.



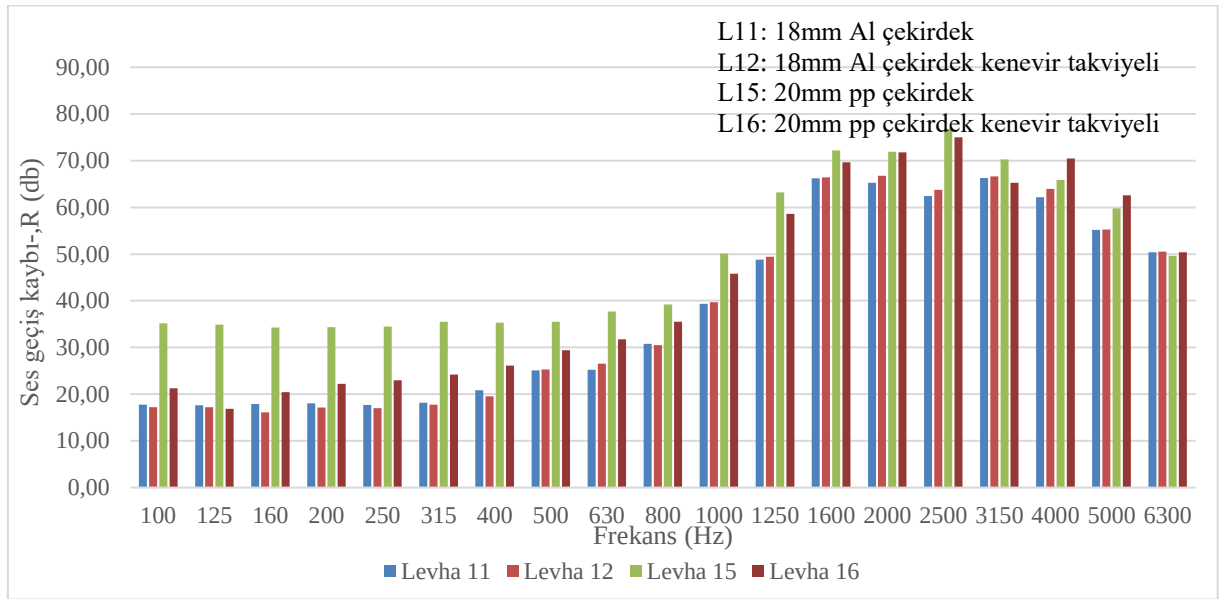
Şekil 5.3 Yüzeyi kontrplak olan 18 mm ve 20 mm yükseklikteki Al ve PP bal petekli sandviç levhaların ses geçiş kaybı değerleri

Şekil 5.4'te yüzeyi ahşap kaplama olan 10 mm Al ve PP çekirdekli sandviç levhaların ses geçiş kayıpları verilmiştir. Burada en yüksek ses geçiş kayıpları 2500 Hz'de kenevir takviyeli PP çekirdekli sandviç levhada (86,15 db) ve 3150 Hz'de ise kenevir takviyeli PP çekirdekli levhada (79,88 db) görülmektedir. PP çekirdekli sandviç levhalarda Al çekirdekli sandviç levhalara göre daha yüksek ses geçiş kaybı değerleri tespit edilmiştir. Bu durumun PP çekirdek malzemesinin yoğunluğunun fazla olması ve gofrajlı yapıda olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Kenevir takviyesi Al çekirdekli sandviç levhalar 1250 Hz'e kadar daha yüksek ses geçiş kaybı göstermesine rağmen 1600 Hz'den itibaren aynı seviyede seyretmiştir. Kenevir takviyeli PP çekirdekli sandviç levhaların 1000 ve 1250 Hz dışında diğer bütün frekanslarda daha yüksek ses geçiş kaybı gösterdiği tespit edilmiştir. Burada kenevir takviyesinin ses yalıtımına olumlu yönde etki ettiği görülmektedir. Kontrplak yüzeyli sandviç levhalarda, çekirdek yüksekliği arttıkça hem Al çekirdekli hem de PP çekirdekli sandviç levhaların ses geçiş kayıplarının bir miktar arttığı tespit edilmiştir.



Şekil 5.4 Yüzeyi ahşap kaplama olan 10 mm yükseklikteki Al ve PP bal petekli sandviç levhaların ses geçiş kaybı değerleri

Şekil 5.5'te yüzeyi ahşap kaplama olan 18 mm Al ve 20 mm PP çekirdekli sandviç levhaların ses geçiş kayıpları verilmiştir. Burada en yüksek ses geçiş kayıpları 2500 Hz'de kenevir takviyeli PP çekirdekli sandviç levhada (75,02 db) ve 2500 Hz'de ise kenevir takviyesiz PP çekirdekli levhada (76,85 db) görülmektedir. Kenevir takviyeli Al çekirdekli sandviç levhaların hemen hemen aynı seviyede ses geçiş kaybı gösterdiği görülmektedir. Kenevir takviyeli PP çekirdekli sandviç levhalar 3150 Hz'den itibaren daha yüksek ses geçiş kaybı göstermektedir. Ahşap kaplamalı sandviç levhalarda, çekirdek yüksekliği arttıkça Al çekirdekli hem de PP çekirdekli sandviç levhaların ses geçiş kayıplarının bir miktar arttığı tespit edilmiştir. Kontrplak yüzeyli sandviç levhalar, ahşap kaplama yüzeyli sandviç levhalara göre daha yüksek ses geçiş kaybı gösterdiği tespit edilmiştir.



Şekil 5.5 Yüzeyi ahşap kaplama olan 18 mm ve 20 mm yükseklikteki Al ve PP bal petekli sandviç levhaların ses geçiş kaybı değerleri

Kenevir takviyesinin sandviç levhalarda genel anlamda ses yalıtımını iyileştirdiğini söylemek mümkündür. Daha önce yapılan farklı akademik çalışmalarda da kenevir takviyesinin ses yalıtımını iyileştirdiği belirtilmektedir. Bu çalışma sonucunun geçmiş yıllarda yapılan çalışmalarla örtüştüğü görülmektedir. Kinnane ve diğ. (2016) kenevirin ses yalıtım özelliğinin iyi olduğunu ve yapılarda kullanılan betonun içerisine kenevir ilavesinin ses absorpsiyon katsayısını düşürdüğünü belirtmişlerdir. Berardi ve Lannace (2015) ve Moheb ve diğ. (2020) kenevir lifini iyi akustik özelliklere sahip doğal bir malzeme olduğunu belirtmişlerdir.

Wang ve diğ. (2020) ve Arunkumar ve diğ. (2016) bal peteği hücre boyutunun ses iletim kaybı değeri üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığını belirtmişlerdir. Yüzey malzemesinin ses iletim kaybı değeri üzerine önemli bir etkisi olduğunu yüzey kalınlığı arttıkça ses iletim kaybı değerinin arttığını belirtmişlerdir. Çekirdek yüksekliğinde ses iletim kaybı değeri üzerinde etkisi olduğunu çekirdek yüksekliği arttıkça ses iletim kaybının arttığını belirtmişlerdir. Bu çalışma sonucunda elde edilen sonuçta çekirdek yüksekliği arttıkça ses geçiş kaybını arttırdığı tespit edilmiştir. Kontrplak yüzeyli sandviç levhalarda elde edilen ses geçiş kayıpları ahşap kaplama yüzeyli sandviç levhalardan elde edilen ses geçiş kayıpların göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Kontrplak yüzey malzemesi kalınlığını ahşap kaplamaya göre 1mm kalın olması bu sonucu etkilediği düşünülmektedir. Daha önce yapılan çalışmaların, bu çalışma sonucu bulunan sonuçları desteklediği görülmektedir.

Wang ve diğ. (2020) yaptıkları çalışmada nomex bal petekli sandviç panellerin empedans tüpü ile ses iletim kaybını incelemişlerdir. Bu çalışma kapsamında iki farklı çekirdek boyutunda (1,83mm ve 2,75mm), dört farklı hücre yüksekliğinde (10mm, 20mm, 30mm ve 40mm), 0,07mm hücre et kalınlığında nomex bal peteği çekirdek malzeme ve yüzey malzemesi olarak üç farklı kalınlıkta (0,5mm, 1mm ve 1,5mm) alüminyum alaşımlı levha kullanmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda farklı çekirdek boyutunun benzer ses iletim kaybı gösterdiği 1600 Hz'de (59 dB), yüzey malzemesinin kalınlığı arttıkça ses iletim kaybının arttığı 1,5 mm kalınlıktaki yüzey malzemeli sandviç levhalarda 61 dB, iken 0,5 mm kalınlıkta yüzeyli sandviç levhalarda 57 dB olarak ölçmüşlerdir. Çekirdek yüksekliği arttıkça yine ses iletim kaybının arttığını en yüksek 40 mm yükseklikteki çekirdekli sandviç levhalarda 61 dB iken 10 mm çekirdekli sandviç levhalarda 56 dB olarak ölçmüşlerdir.

Oldman ve diğ. (2011) doğal liflerin tüm ses frekansı aralığında çok etkili sürdürülebilir ses emici malzeme olarak geliştirilebileceğini belirtmişlerdir.

Bal peteğinin iyi ses yalıtım kapasitesi olduğunu (Pan ve diğ. 2006) bunun da kenevir takviyesi ile daha da iyileştirilebileceğini söylemek mümkündür.

Dragonetti ve diğ. (2020) dokuma kenevir sandviç yapılarının ses iletim kaybının bal peteği yapılarından biri ile karşılaştırılabilir olduğunu ve bu durumun pratik uygulamalarda kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

5.11. İKİNCİ DENEME LEVHALARI DENEY SONUÇLARI

Ana çalışmada üretilen kenevir takviyeli sandviç levhalarda mekanik deney sonuçlarının kenevir ile güçlendirmeden beklenen iyileşmeyi göstermediği görülmüştür. Bunun en önemli nedenleri aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir:

- Kenevir liflerinin basit bir el tezgâhında dokunması ile elde edilen kumaşın yeterince sık dokunamaması nedeniyle birim alana düşen kenevir lifi miktarının çok az olması,
- Gevşek dokulu kenevir kumaşın sandviç levhanın yüzey tabakası ve çekirdek malzemesi arasındaki temas yüzeyini azaltması ve bu durumun yapışma direncini olumsuz etkilemesi,

- Kenevir kumaşın oldukça gevşek dokusu nedeniyle epoksi tutkalını yeterince emememesi ve bu durumun yüzey tabakası ile çekirdek malzeme arasındaki tutkal bağını olumsuz etkilemesi.

Bu nedenle Tez İzleme Komitesi toplantısında daha sık bir şekilde dokunmuş kenevir kumaşı kullanılarak yeniden kenevir lifi takviyeli sandviç levha üretilmesi ve bu sınırlı sayıda levhalar üzerinde örnek olarak yoğunluk, levha yüzeyine dik çekme ve eğilmede maksimum kuvvet deneylerinin tekrarlanmasına karar verilmiştir. İkinci deneme levhalarında yüzey malzemesi olarak yalnızca kontrplak ve çekirdek malzemesi olarak 18 mm yüksekliğinde Al ve 20 mm yüksekliğinde PP kullanılmıştır.

İkinci deneme levhalarından elde edilen numuneler üzerinde yapılan deneylerin sonuçları ve ana çalışmada üretilen aynı nitelikte (yüzeyi kontrplak, çekirdek malzeme yüksekliği 18 mm Al ve 20 mm PP, kenevir takviyeli) ilk kenevir takviyeli deneme levhalarından elde edilen deney sonuçları Tablo 5.8’de karşılaştırılmıştır.

Tablo 5.8 Yüzeyi kontrplak çekirdeği Al ve PP olan kenevir takviyeli deneme levhalarının deney sonuçları

Çekirdek	Deneyler	İlk deneme levhalarından elde edilen sonuçlar	İlk deneme levhalarından elde edilen sonuçlar (Kenevir takviyeli)	İkinci deneme levhalarından elde edilen sonuçlar (Kenevir takviyeli)	Değişim oranı (%)
Al Çekirdek	Yoğunluk (kg/m ³)	259,96	261,89	364,57	%39,21 artmıştır
	Yüzeye dik çekme mukavemeti (N/mm ²)	1,16	0,32	1,69	%428,13 artmıştır
	Eğilme kuvveti (Boyuna yön) (N)	1065,57	431,85	2159,02	%399,95 artmıştır
	Eğilme kuvveti (Enine yön) (N)	1984,62	1380,93	2897,49	%109,82 artmıştır
PP Çekirdek	Yoğunluk (kg/m ³)	367,56	368,62	418,26	%13,47 artmıştır
	Yüzeye dik çekme mukavemeti (N/mm ²)	0,71	0,46	0,63	%36,96 artmıştır
	Eğilme kuvveti (Boyuna yön) (N)	981,70	1189,18	1247,76	%4,93 artmıştır

	Eğilme kuvveti (Enine yön) (N)	2077,90	1513,69	1919,62	%26,82 artmıştır
--	-----------------------------------	---------	---------	---------	---------------------

Al çekirdekli deneme levhalarında tespit edilen bütün özelliklerde ilk deneme levhalarına göre belirgin bir artış olduğu tespit edilmiştir. Yoğunluktaki artış %40 düzeyinde, mekanik değerlerdeki artışlar ise %110 ile %428 arasındadır. Yoğunluktaki artış hem birim hacimdeki kenevir lifi miktarının artmasından hem de kenevir kumaşın daha fazla tutkal emmesinden kaynaklanmaktadır. Mukavemet değerlerindeki artışların da sık dokunmuş kenevir kumaş ile birim alandaki kenevir lifi miktarının artması ve daha iyi bir temas yüzeyi ve daha fazla tutkal emerek yapışma direncinin artması olarak görülebilir. Kenevir kumaşın tutkal içerisinde iyi bir şekilde ıslatılarak emdirilmesinden dolayı yapışma yüzeyinin artmasına tutkal miktarı arttıkça Al bal peteğinin hücre duvarlarının kenevir liflerine daha iyi yapışması ve iyi bir yapışma elde edilmesine yol açtığı düşünülmektedir. Nitekim levha yüzeyine dik çekme direncindeki %428 oranındaki artış bu durumun en önemli göstergesidir. Jen ve diğ (2009) yaptıkları çalışmada tutkal miktarı arttıkça mukavemet değerlerinin arttığını belirtmişlerdir.

PP çekirdekli ikinci deneme levhalarından elde edilen deney sonuçlarında da iyileşmeler tespit edilmiştir fakat Al çekirdekli deneme levhaları kadar belirgin bir artış olmamıştır. Burada belirgin artışın olmamasının PP çekirdekten kaynaklandığı düşünülmektedir. Bunun ana nedeninin PP çekirdek-kenevir kumaş kombinasyonunda farklı bir tutkalın kullanılması daha uygun olacağı söylenebilir. Bu görüşümüzü destekleyen daha önce yapılmış akademik çalışmalarda bulunmaktadır. Cabrere ve diğ (2008) polyolefinlerin çok düşük bir yüzey gerilimine sahip olduğu, polipropilen bazlı sandviç panellerde yüzey tabakasına çekirdeği yapıştırmak için geleneksel termoset yapıştırıcıların kullanılmasının uygun olmadığını belirtmişlerdir. Diğer bir çalışmada Brockmann (1999) PP'nin, yapıştırıcılar tarafından ıslatılmasının zor olduğunu ve işlem görmemiş halde yapıştırılamayacağını belirtmiştir. Bunun nedeni PP yüzeyinin düşük kimyasal reaktiviteye sahip olmasıdır. Bu nedenle, işlem görmemiş durumdaki bir PP yüzeyinde yapıştırıcı tarafından ıslanma durumunu da göz önünde bulundurarak, yalnızca çok düşük bağlanma enerjisine sahip etkileşimler olarak fiziksel bağlar oluşturulur ve bunun bir sonucu olarak yapıştırıcı ile alt tabaka arasındaki yapışma çok zayıf kalmaktadır. Ayrıca kontak yapıştırıcılar, sıcak eriyikler, akrilikler, epoksiler, poliüretanlar vb. gibi tüm fiziksel ve kimyasal kürleme veya yapıştırıcı katkı türleri, PP'ni ön işleme tabi tutulması halinde sorunsuz bir şekilde birleştirme amaçlı kullanılabileceğini belirtmiştir.

5.12. SON DEĞERLENDİRME

Bu çalışma kapsamında yapılan deneyler sonucunda özet olarak;

Deneyler sonucunda sandviç levhaların fiziksel, mekanik, akustik ve termal değerlerine sandviç levhanın bütün bileşenleri bir bütün olarak yüzey malzemesi, çekirdek malzeme ve kenevir takviyesinin etkisi olduğu tespit edilmiştir. Mekanik deneylerde Al çekirdekli sandviç levhalar daha yüksek mukavemet değeri gösterdiği, termal ve akustik deneylerde PP çekirdekli sandviç levhaların daha iyi yalıtım özelliği gösterdiği tespit edilmiştir. Kontrplak yüzeyli sandviç levhaların, ahşap yüzeyli levhalara göre daha yüksek yoğunluk değeri tespit edilmiştir. Kontrplak yüzey malzemesinden üretilen sandviç levhalardan, ahşap kaplama yüzey malzemesinden üretilen sandviç levhalara göre üç katmanlı yapısı gereği daha yüksek mukavemet değerleri tespit edilmiştir. Kullanılan Al ve PP çekirdeğin yüksekliği arttıkça yoğunluk değeri azaldığı görülmüştür. Yüzey malzemesinin lif yönü eğilme kuvveti üzerinde önemli bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. Kenevir takviyesinin mekanik deneylerde olumsuz etki göstermesine rağmen termal ve akustik deneylerde iyileştirici etki gösterdiği tespit edilmiştir.

Ana çalışmada üretilen deneme levhalarında yapılan mekanik deneylerde kenevir takviyesinin düşünülen aksine olumsuz yönde bir etki yaptığı görülmüştür. İlk deneme levhalarında ortaya çıkan problemler çözülerek üretilen ikinci deneme levhalarında kenevir lifi takviyesinin sandviç levhaların performansını önemli ölçüde artırabileceği görülmüştür. Böylece yapısal maksatlarla kullanılacak sandviç levhalarda kenevir lifleri ile yapılacak takviyenin levhaların yapısal mukavemet performansı yanında ısı ve ses yalıtımı bakımından da önemli katkılar sağlayacağı değerlendirilmektedir. Kullanım yerinde ses ve ısı yalıtımı da önemli bir parametre olduğu otellerde, konferans salonlarında, ofislerde duvar bölme eleman olarak PP çekirdekli ve kenevir takviyeli sandviç levhaların kullanılması önerilebilir. Mekanik özelliklerin ön planda olduğu kullanım alanlarında özellikle yüksek katlı yapılarda duvar bölmesi olarak yapının ağırlığı azaltma amaçlı olmak üzere kenevir lifi takviyeli Al çekirdekli sandviç levhaların tercih edilmesi önerilebilir.

Sandviç panellerin mekanik değerleri üzerinde klasik yoğunluk-mukavemet ilişkisinin görülmemesi sebebi, sandviç yapıların yapısı gereği ağırlığına oranla yüksek mukavemet göstermesidir. Bu çalışma özelinde ise, çalışmada kullanılan kontrplak'ın ahşap kaplamaya

göre 1 mm daha kalın olması ve 10 mm yükseklikteki Al çekirdeğin 18 mm yükseklikteki Al çekirdekten hücre boyutunun daha küçük olmasından kaynaklandığını söylemek mümkündür. Bunun sonucunda mekanik, termal ve akustik deney sonuçlarında yüzey malzemesi ve çekirdek malzemesi olarak kıyaslama yapılırken bu durumları göz önünde bulundurmak gerekmektedir.

Bal peteği sandviç levhalar hafifliğinden dolayı, özellikle deprem riski olan ülkemizde hem yatay yapılarda hemde yüksek katlı dikey yapılarda yapının toplam ağırlığını azaltırken yeterli mekanik performansı ile deprem anında olası hayati risklerin azaltılması yönünde katkısı olabileceğini söylenebilir. Ayrıca bu levhaların uygulaması ve kullanımının kolay olmasından dolayı prefabrikasyona da son derece uygundur.

Bal peteği çekirdekli sandviç levhalar ile ilgili birçok alanda çalışmalar yapılmıştır. Özellikle makine sektöründe yüzey malzemesi olarak farklı metalik, epoksi veya kompozit malzeme kullanılarak üretilen sandviç levhalar hakkında bilimsel çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmanın yüzey malzemesi olarak ahşap levha kullanarak, Al ve PP bal peteği ile üretilen sandviç levhaların orman endüstrisine entegrasyonunun sağlanmasında katkısı olacağı düşünülmektedir. Ayrıca kenevir gibi doğal liflerin sandviç levhalarda güçlendirme malzemesi olarak kullanılmasının yapısal maksatlar için fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

Sürdürülebilirlik, inovatiflik ve çevre dostu olarak belirtilen üç saç ayağı üzerine müşteri ihtiyacını maksimum düzeyde karşılayabilecek şekilde geliştirilen ürüne yeni nesil ürün demek yanlış olmaz. Bu üç saç ayağının en önemli karşılığı ahşap ve ahşap esaslı levhalardır. Bu sürdürülebilirliği sağlamak ta iyi bir orman yönetim sisteminin geliştirilmesi ile mümkündür. Bu çalışma kapsamında üretilen sandviç levhalarda, ahşap ve kenevirin kullanılmasından dolayı sürdürülebilir, ürünün ağırlık/mukavemet değerleri karşılaştırıldığında inovatif, üretim aşamasında bu ürüne muadil ürünlerden daha az karbon salınımı yaptığı ve geri dönüşümü olduğu içinde çevre dostu olarak nitelemek mümkündür.

Bundan sonraki yapılacak olan çalışmalar için yapılabilecek önerileri aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür;

- Kenevir lifleri ile yapılacak güçlendirmede birim alana düşen kenevir lifi miktarının yeterli seviyede olmasının sağlanması ve heterojen yapıdaki kenevir liflerinden kaynaklanan düzensizlikleri ortadan kaldıracak bir dokuma-yönlendirme ile takviyenin sağlanması,

- Kenevir liflerine optimum yapışma direnci için yeterli miktarda tutkal emdirilmesinin sağlanması,
- Yüzey malzemesi olarak farklı ahşap esaslı levhalar kullanılarak orman endüstri sektöründe kullanılabilecek optimum sandviç levha kombinasyonlarının belirlenmesi amacı ile daha fazla sayıda çalışmalar yapılması,
- Kullanılan çekirdek malzemelerinin farklı et kalınlıklarında, farklı çekirdek boyutlarında, farklı yüksekliklerde ve farklı türden malzeme kullanılarak çeşitliliklerinin artırılması ve bilimsel araştırmalara konu edilmesi,
- Çekirdek malzemesi olarak ta Al ve PP gibi çevre etkisi yüksek malzemeler yerine doğal ve yenilenebilir kaynaklardan elde edilebilecek çekirdek malzemelerinin geliştirilmesi yönünde araştırmalar yapılması
- Farklı çekirdek malzemesi ve yüzey kaplama malzemesi kombinasyonları için uygun olabilecek doğal tutkallar ile sandviç levha üretimine yönelik araştırmaların yapılması. |

KAYNAKLAR

[Advanced material, 1988, *Advanced material by design*, United State congress, Office of technology assessment, USA, 332p.

Akkuş H., 2016, *Bal peteği yapıların mekanik Davranışlarının nano parçacık takviyeli yapıştırıcı kullanılarak deneysel ve teorik olarak araştırılması*, Doktora tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Akkuş H., Düzcükoğlu H., Şahin S. Ö., 2015, Alüminyum bal peteği yapılarda oluşan eğilme kuvvetlerinin çoklu regresyon ile incelenmesi, *CBÜ Fen Bilimleri dergisi, cilt 11, sayı 2*, 217-223.

Akkuş H., Düzcükoğlu H., Şahin S. Ö., 2016, Alüminyum bal peteği yapılarda darbe mukavemeti tahmini için regresyon modeli oluşturulması, *Erzincan Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(3), 102-111.

Ali H. R., Manafi B., Shatermashhadi V., Salimi A., 2013, Analysis and investigation of honeycomb sandwich panel parameters under Static three-point bending, *Elixir Mech. Engg.*, 61 (2013), 17009-17012.

Antony S., Cherouat A., Montay G., 2019, Hemp fibre woven fabrics / polypropylene based honeycomb sandwich structure for aerospace applications, *Advances in Aircraft and Spacecraft Science*, 6(2), 087-103.

Arbaoui J., Schmitt Y., Pierrot J.L., Royer F.X., 2009, Experimental bending behaviour of multi-layer sandwich structures, *Archives of metallurgy and materials*, 54(4), 1191-1198.

Arbaoui J., Schmitt Y., Pierrotj. L., Royer F. X., 2014, Effect of core thickness and intermediate layers on mechanical properties of polypropylene honeycomb multi-layer sandwich structures, *Archives of Metallurgy and Materials*, 59, 11-16i

Arunkumar M.P., Pitchaimani J., Gangadharan K. V., Lenin Babu M. C., 2016, Influence of nature of core on vibro acoustic behavior of sandwich aerospace structures, *Aerospace Science and Technology*, 56 (2016), 155-167.

Arslan N., Kaman M. O., 2002, Alüminyum, kâğıt ve cam elyaf petek yapılı kompozitlerin üretim teknikleri ve mekanik özelliklerinin araştırılması, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, cilt 4, sayı 3, 113-123.

Aydıncak İ., 2007, *In partial fulfillment of the requirements for the degree of master of science in aerospace engineering*, Yüksek lisans tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Ayrılmış N., Ulay G., Bağlı E. F., Özkan İ., 2015, Ahşap sandviç kompozit levhaların yapısı ve mobilya endüstrisinde kullanımı, *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 15 (1) 37-48.

Aslan, M., Öztürk, H., Demirkır, C. 2019. Alüminyum ve polipropilen çekirdekli sandviç panellerin ısı iletkenliklerinin araştırılması, *Anadolu Çevre ve Hayvancılık Bilimleri Dergisi*, 4(4), 647-650.

Aslan M., Güler O., Alver Ü., 2018, Farklı yüzey ve çekirdek malzemelerine sahip sandviç panel kompozitlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24 (6), 1062-1068.

ASTM C365/C365M-16 “Standard Test Method for Flatwise Compressive Properties of Sandwich Cores”

ASTM C393, Standard test method for core shear properties of sandwich constructions by beam flexure,

ASTM D5420 “Standard Test Method for Impact Resistance of Flat, Rigid Plastic Specimen by Means of a Striker Impacted by a Falling Weight”

Bang S. O., Cho J. U., 2015, A Study on the compression property of sandwich composite with porous core, *International Journal Of Precision Engineering And Manufacturing*, 16 (6), 1117-1122.

Barbu C.M., Lüdtke J., Thömen H., Welling J., 2010, New technology for the continuous production of wood-based lightweight panels, *Proceedings of the International Convention of*

Society of Wood Science and Technology and United Nations Economic Commission for Europe – Timber Committee, Switzerland.

Berardi U., Lannace G., 2015, Acoustic characterization of natural fibers for sound absorption applications, *Building and Environment*, 94 (2015), 840-852

Bitzer T. N., 1997, *Honeycomb Technology Materials, Design, Manufacturing, Applications and Testing*, Chapman & Hall, London, 233 pp.

Bulut M., 2014, *Türkiyede kompozit malzeme üretimi ve kompozit malzeme sektörünün genel değerlendirilmesi*, Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Bozkurt A.Y., Erdin N., *Ağaç Teknolojisi Ders Kitabı*, İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi, 2011.

Campbell F. C., 2010, *Structural composite materials*, ASM International Materials Park, Ohio, 611pp.

Candan Z., 2012, *Ahşap sandviç panel ve laminat parke üretiminde nanopartikül kullanımı ve teknolojik özellikler üzerine etkisi*, Doktora tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Cheng S., Zhao X., Xin Y., Tie R., Li H., 2015, Experimental Study on Shear Property of Integrated Sandwich Panel of Aluminum Honeycomb and Epoxy Resin, *The Open Mechanical Engineering Journal*, 9, 1000-1006.

Chen Y., Sun L., Negulescu I., Wu Q., Henderson G., 2007, Comparative study of hemp fiber for nonwoven composites, *Journal of Industrial Hemp*, 12(1), 27-45.

Côté F., Russell B. P., Deshpande V. S., Fleck N. A., 2009, The Through-Thickness Compressive Strength of a Composite Sandwich Panel With a Hierarchical Square Honeycomb Sandwich Core, *Journal of Applied Mechanics*, Vol. 76 / 061004, 1-8.

Crupi V., Kara E., Epasto G., Guglielmino E., Aykul H., 2016, Theoretical and experimental analysis for the impact response of glass fibre reinforced aluminium honeycomb sandwiches, *Journal of Sandwich Structures and Materials*, 0(00), 1–28.

Crupi V., Epasto G., Guglielmino E., 2012, Collapse modes in aluminium honeycomb sandwich panels under bending and impact loading, *International Journal of Impact Engineering*, 43 (2012), 6-15.

Crupi V., Epasto G., Guglielmino E., 2012, Comparison of aluminium sandwiches for lightweight ship structures: Honeycomb vs. foam, *Marine Structures*, 30 (2013), 74–96.

Crupi V., Epasto G., Guglielmino E., 2011, Computed tomography analysis of damage in composites subjected to impact loading, *Frattura ed Integrità Strutturale*, 17 (2011), 32-41.

Danacıoğlu K., 2013, *Özgün petek yapılı kompozit panelin üretimi ve düşük hızlı darbe davranışının incelenmesi*, Yüksek lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.

Davies J.M., 2001, *Lightweight Sandwich Construction*, Professor of Structural Engineering the University of Manchester, UK, 369p.

Draghicecu T. H., Stanciu D. M., Draghicecu T. F, 2017, New composite sandwich with aluminum core, *Scientific research and educatin in the air force*, 1 (2017), 331-336.

Dragonetti R., Napolitano M., Boccarusso L., Durante M., 2020, A study on the sound transmission loss of a new lightweight hemp/bio-epoxy sandwich structure, *Applied Acoustics*, 167 (2020), 1-8.

Domb R., Jadhav S., Gajare S., Kadam N., Yadav A. B., 2018, Design of Honeycomb Sandwich Panel and Its Validation with Flooring Plate of Bus, *International Research Journal of Engineering and Technology*, 05 (07), 490-495.

Du Y., Yan N., Kortschot M. T., 2012, Light-Weight honeycomb core sandwich panels containing biofiber-reinforced thermoset polymer composite skins: Fabrication and evaluation, *Composites: Part B*, 43 (2012), 2875-2882.

Eryıldız E., Eker A. A., 2015, Savunma Sanayinde Kullanılan İleri Kompozit Malzemeler ve Uygulama Alanları, *International Journal of Engineering Research and Development*, 7 (4), 8-12.

Gay D., Hoa S.V., Tsai S.W., 2003, *Composite Materials* CRC Press, London, 523p.

Gedik G., 2012, *Kenevir liflerinden üretilen kumaşların optimum ağartma koşullarının ve yöntemlerinin belirlenmesi*, Yüksek lisans tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.

Gilioli A., Sbarufatti C., Manes A., Giglio M., 2014, Compression after impact test (CAI) on Nomex™ honeycomb sandwich panels with thin aluminum skins, *Composites*, 67, 313–325.

Gizlenci Ş., Acar M., Yiğen Ç., Aytaç S., 2019, *Kenevir tarımı*, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü Karadeniz Tarımsal araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Samsun.

Gül B., 2018, *Karbon elyaf takviyeli petek yapılı sandviç kompozitlerin mekanik özelliklerine çekirdek malzemenin türü ve kalınlığının etkisi*, Yüksek lisans tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

Gpoichand A., Mohanrao R., Sankar N. V. S., Rama Balaji G., Sandeep Kumar P., 2013, Design and Analysis of Copper Honeycomb Sandwich Structure, *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 2 (4), 635-638.

Hadi E., 2006, *Uçak sanayiinde kullanılan balpeteği kompozitlerinin mekanik davranışlarının incelenmesi*, Doktora tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Han B., Wang W., Zhang Z., Zhang Q., Jin F., Lu T., 2016, Performance enhancement of sandwich panels with honeycomb–corrugation hybrid core, *Theoretical and Applied Mechanics Letters*, 6, 54–59.

Harris B., 1999, *Engineering composite materials*, The Institute of Materials, London, 193p.

ISO DIN 17300-1, Wood residue and post-consumer wood – Classification, International Organization for Standardization, Switzerland, 2019.

Jen Y. M., Ko C. W., Lin H. B., 2009, Effect of the amount of adhesive on the bending fatigue strength of adhesively bonded aluminum honeycomb sandwich beams, *International Journal of Fatigue*, 31 (2009), 455–462.

Kantha Rao K., Jayathirtha Rao K. J., Sarwade A. G., Madhava Varm B., 2012, Bending Behavior of Aluminum Honey Comb Sandwich Panels, *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 1 (4), 268-272.

Kasapseçkin M.A., 2015, *Mantar aglomere ve orta yoğunluklu lif levha (mdf) tabakalarıyla oluşturulmuş kompozit malzemenin iç mekân donatı elemanlarında levha olarak kullanımının araştırılması*, Doktora Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Kaya A.İ., Dalgıç T., 2017, Ses yalıtımı açısından doğal liflerin akustik özellikleri, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, sayı 1, 25-37.

Kinnane O., Reilly A., Grimes J., Pavia S., Walker R., 2016, Acoustic absorption of hemp-lime construction, *Construction and Building Materials*, 122(2016), 674-682.

Khoshravan M. R., Pour M. N., 2014, Numerical and experimental analyses of the effect of different geometrical modelings on predicting compressive strength of honeycomb core, *Thin-Walled Structures*, 84(2014), 423–431.

Kong W., C., Nam W., G., Jang S., Y., Yi M., Y., 2014, Experimental strength of composite sandwich panels with cores made of aluminum honeycomb and foam, *Advanced Composite Materials*, Vol. 23, No. 1, 43-52.

Kumar A., Angra S., Chanda A., K., 2021, Analysis of effect of variation of Honeycomb core cell size and sandwich panel width on the stiffness of a sandwich structure, *Research on Engineering Structures & Materials*, 8(1) (2022) 45-56.

Li D.S., Zhao C., Jiang L, Jiang N., 2013, Experimental study on the bending properties and failure mechanism of 3D integrated woven spacer composites at room and cryogenic temperature, *Composite Structures*, 111 (2014), 56–65.

Li S., Li X., Wang Z., Wu G., Lu G., Zhao L., 2017, Sandwich panels with layered graded aluminum honeycomb cores under blast loading, *Composite Structures*, 173, 242-254.

- Liu L., Wang H., Guan Z., 2014, Experimental and numerical study on the mechanical response of Nomex honeycomb core under transverse loading, *Composite Structures*, 121 (2015), 304–314.
- Lu C., Zhao M., Jie L., Wang J., Gao Y., Cui X., Chen P., 2015, Stress distribution on composite honeycomb sandwich structure suffered from bending load, *Procedia Engineering*, 99, 405 – 412.
- Ma M., Yao W., Jiang W., Jin W., Chen Y., Li P., 2020, Fatigue behavior of composite sandwich panels under three point bending load, *Polymer Testing*, 91 (2020), 1-8.
- Meifeng H. ve Wenbin H., 2008, A study on composite honeycomb sandwich panel structure, *Materials and Design*, 29, 709–713.
- Merdan N., Koçak D., Acar K., 2012, Kenevir liflerinin konvansiyonel ve mikrodalga yöntemine göre maleik anhidrit ile yüzey modifikasyonu, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 22, 71-78.
- Moheb J. M. A.ve Al-Ameen E. S., 2020, Study of the bending characteristics in composite sandwich structures, *Materials Science and Engineering*, 928 (2020), 1-12.
- Negro F., Corrado Cremonini C., Zanuttini R., 2011, A New Wood-Based Lightweight Composite For Boatbuilding, *Wood Research*, 56 (2), 257-266.
- Oldham D. J., Egan C. A., Cookson R. D., 2011, Sustainable acoustic absorbers from the biomass, *Applied Acoustics*, 72 (2011), 350–363.
- Okur M., Z., 2016, Development Of Aluminum Honeycomb Cored Carbon Fiber Reinforced Polymer Composite Based Sandwich Structures, Yüksek Lisan Tezi, İzmir Teknoloji Enstitüsü, İzmir.
- Özkan A., Şişik N., Öztürk U., 2016, Kompozit malzemelerin ağız, yüz, çene cerrahisinde kullanımı ve malzeme uygunluklarının belirlenmesi, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4 (2016), 227-242
- Paik K. J., Thayamballib K. A., Kima S. G., 1999, The strength characteristics of aluminum honeycomb sandwich panels, *Thin-Walled Structures*, 35, 205–231.

Pan S. D., Wu L. Z., Sun Y. G., Zhou Z. G., Qu J. L., 2006, Longitudinal shear strength and failure process of honeycomb cores, *Composite Structures*, 72 (2006), 42–46.

Pflug, J., Xinyu, F., Lavalaye, J., Verpoest, I., Bratfisch, P., Vandepitte, D., 2002, Continuously produced honeycomb sandwich materials for automotive applications, *Society of Automotive Engineers 2002 World Congress*, 4-7 March 2002, Michigan, USA.

Rajkumar S., Arulmurugan B., Manikandan M., Karthick R., Kaviprasath S., 2016, Analysis of Physical and Mechanical Properties of A3003 Aluminum Honeycomb Core Sandwich Panels, *Applied Mechanics and Materials*, 1662-7482, Vol. 867, pp 245-253

Rao K., K., Rao K., J., Gupta A., S., K., 2015, Heat insulation analysis of an aluminium honeycomb sandwich structure, *Journal of Thermal Engineering*, Vol. 1, No. 3, 210-220.

Rao K. K., Rao K. J., Sarwade A. G., Varma B. M., 2012, Bending Behavior of Aluminum Honey Comb Sandwich Panels, *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 1 (4), 268-272.

Rayjade G. R., Rao G.V.R.S., 2015, Study of Composite Sandwich Structure and Bending Characteristics– A Review, *International Journal of Current Engineering and Technology*, 5 (2), 797-802.

Reddy V. B. G., Sharma K. V., Reddy Y., T., Y., 2014, Deformation and impact energy absorption of cellular sandwich panels, *Materials and Design*, doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2014.04.047>.

Reengwaree A., Premanond V., Torsakul S., 2013, A study of energy saving in building through thermal insulation with plywood inserted honeycomb sandwich panels, *Energy Procedia*, 34 (2013), 964 – 972.

Robert M.J., 1975, *Mechanics of Composite Materials*, Taylor&Francis Inc.London, 270p.

URL-1:<https://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/honeycomb-nedir-nerelerde-kullanilir/11826#ad-image-0>, Erişim tarihi: 18.10.2018.

URL-2:<http://www.teknomarin.com.tr/wp-content/uploads/2015/01/TEKNOMARIN-ESA-3000-TR.pdf>, Erişim tarihi:19.04.2019.

URL-3: <http://www.6genpanel.com.tr/katalog.pdf>, Erişim tarihi:18.12.2019.

URL-4: <https://www.honeycombpanels.eu/>, Erişim tarihi 04.03.2021,

URL-5: <https://corex-honeycomb.co.uk/applications/automotive-road-vehicles/>, Erişim tarihi 04.03.2021.

URL-6: <http://www.hexaboard.com.tr/img/katalog/turkce.pdf>, Erişim tarihi 25.04.2022.

URL-7:<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/thermal-conductivity-coefficient>, Erişim tarihi 25.04.2022.

Sabır E. C., 2015, Kompozitler için doğal lif kullanımı, IV. Uluslararası polimerik kompozitler sempozyum ve sergisi, İzmir

Sanjay K. M., 2002, *Composites manufacturing*, CRC press, USA, 396p.

Sezgin F. E., 2008, *Mechanical behavior and modeling of honeycomb cored laminated fiber/polymer sandwich structures*, Yüksek Lisans Tezi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Shea A., Lawrence M., Walker P., 2012, Hygrothermal performance of an experimental hemp–lime building, *Construction and Building Materials*, 36 (2012), 270–275.

Solmaz M. Y., Kaman M. O., Turan K., Turgut A., 2010, Petek yapılı kompozit levhaların eğilme davranışlarının incelenmesi, *Fırat Üniv. Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22 (1), 1-11.

Solmaz M.Y., Kaman M.O., 2010, Petek yapılı sandviç yapılarda köpük dolgusunun kritik burkulma yüküne etkisi, *e-Journal of New World Sciences Academy*, 5 (1), 24-34.

Sönmez M.E., 2017, Bal peteği çekirdekli sandviç yapıların özelliklerinin geliştirilmesi ve optimizasyonu, Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Stocchi A., Colabella L., Cisilino A., Alvarez V., 2014, Manufacturing and testing of a sandwich panel honeycomb core reinforced with natural-fiber fabrics, *Materials and Design*, 55, 394–403

Subaşı S., Çetin V., Şamandar A., 2017, Kompozit panellerde CTP levha ve çekirdek kalınlığının mekanik özelliklere etkisi, *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, 4 (2), 135-145.

Sun Z., Chen H., Song Z., Liu H., Cui R., Guo X., Shi S., 2021, Three point bending properties of carbon fiber/honeycomb sandwich panels with short-fiber tissue and carbon-fiber belt interfacial toughening at different loading rate, *Composites: Part A*, 143 (2021), 106289.

Takagi K. ve He J., 2017, Compression characteristics of honeycomb sandwich panels to improve their impact resistances, *Materials Science and Engineering*, 269 (2017), 1-5,

Tan C. Y. ve Akil H. MD., 2012, Impact response of fiber metal laminate sandwich composite structure with polypropylene honeycomb core, *Composites, Part B*, 43 (2012), 1433–1438.

Toradmal K. P., Waghmare P. M., Sollapur S. B., 2017, Three Point Bending Analysis of Honeycomb Sandwich Panels: Experimental Approach, *International Journal of Engineering and Techniques*, 3 (5), 189-193.

TS 825, Binalarda Isı yalıtım Kuralları, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, (2013).

TS EN 12664, Yapı malzemeleri ve mamulleri- ısıl direncin, korumalı tablalı ısıtıcı ve ısı akı ölçerin kullanıldığı metotlarla tayini- ısıl direnci orta ve düşük seviyede olan kuru ve rutubetli mamuller, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, (2009).

TS EN 13986+A1, Yapılarda kullanılan ahşap esaslı levhalar-Karakteristikler, uygunluğun değerlendirilmesi ve işaretleme, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, (2015).

TS EN 319, Yonga levhalar ve lif levhalar-Levha yüzeyine dik çekme dayanımı tayini, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, (1999).

TS EN 322, Ahşap esaslı levhalar-rutubet miktarının tayini, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, (1999).

TS EN 323, Ahşap esaslı levhalar-birim hacim ağırlığı tayini, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, (1999).

TS EN 438-2, Dekoratif lamine levhalar- (hpl)- Yüksek basınçta sıkıştırılmış- Termoset reçine esaslı bölüm 2: Özelliklerinin tayini, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, (2016).

TS EN ISO 10534-2, Akustik-Empedans borularındaki ses absorpsiyon katsayısının ve empedansın tayini-Bölüm 2: Aktarım fonksiyonu metodu, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, (2003).

Wahl L., Maas S., Waldmann D., Zürbes A., Fre`res P., 2012, Shear stresses in honeycomb sandwich plates: Analytical solution, finite element method and experimental verification, *Journal of Sandwich Structures and Materials*, 14(4), 449–468.

Wang D., Xie S., Feng Z., Liu X., Li Y., 2020, Investigating the effect of dimension parameters on sound transmission losses in nomex honeycomb sandwich, *Applied Sciences*, 10 (3109), 1-16.

Wang H., Ramakrishnan K., R., Shankar K., 2016, Experimental study of the medium velocity impact response of sandwich panels with different cores, *Materials and Design*, 99(2016), 68-82.

WHB (Wood handbook), 2010, *Wood Handbook– wood as an engineering material*, Forest Products Laboratory, General Technical Report FPL – GTR – 190, United State Department of Agriculture, Forest Service, Madison, WI, USA, 509 p.

Zaoutsos S. P., 2017, Mechanical behavior of aluminum honeycomb sandwich structures under extreme low temperature conditions, *Materials Science and Engineering*, 700(01), 1-10.

Zhang X., Zhang H., Wen Z., 2013, Experimental and numerical studies on the crush resistance of aluminum honeycombs with various cell configurations, *International Journal of Impact Engineering*, 66 (2014), 48-59.

EKLER

|

