



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

KARAÇAM (*Pinus nigra* Arnold.) KABUKLARININ
İZOLASYON LEVHASI ÜRETİMİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ

İSMAİL ÖZLÜSOYLU

DANIŞMAN

PROF. DR. ABDULLAH İSTEK

BARTIN-2022



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KARAÇAM (*Pinus nigra* Arnold.) KABUKLARININ İZOLASYON LEVHASI
ÜRETİMİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

İsmail ÖZLÜSOYLU

BARTIN-2022

BEYANNAME

Bartın Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Prof. Dr. Abdullah İSTEK danışmanlığında hazırlamış olduğum “KARAÇAM (*Pinus nigra* Arnold.) KABUKLARININ İZOLASYON LEVHASI ÜRETİMİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ” başlıklı doktora tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

08.08.2022

İsmail ÖZLÜSOYLU

ÖNSÖZ

Tez danışmanlığımı üstlenerek tezimin hazırlanması ve yürütülmesinde her zaman desteğini gördüğüm sadece bilimsel değil, aynı zamanda insani olarak da değerli katkıları olan Prof. Dr. Abdullah İSTEK hocama teşekkür ederim. Değerli bilgi ve birikimlerini benimle paylaşarak tez çalışmasına katkı sunan jüri üyeleri Prof. Dr. Saim ATEŞ, Prof. Dr. Ahmet TUTUŞ, Doç. Dr. Ayhan GENÇER ve Dr. Öğr. Üyesi S. Murat ONAT hocalarıma şükranlarımı sunarım.

Emek yoğun olarak ilerleyen ve tamamlanan bu tez çalışmasında farklı kurumlarda görev yapan kişilerin katkısı olmuştur. Öncelikle Bartın Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği bölümündeki kıymetli hocalarım ve mesai arkadaşlarımdan; kimyasal analizlerde yardımlarını gördüğüm Prof. Dr. Ayben KILIÇ PEKGÖZLÜ, Doç. Dr. Sezgin Koray GÜLSOY, Arş. Gör. Esra CEYLAN, lisansüstü öğrencilerimiz Yüksek Orman Endüstri Mühendisleri Aysun KÜÇÜLE ve Ülkü Burcu GİTTİ, istatistiksel analizlerde destek veren Doç. Dr. Rıfat KURT ve Öğr. Gör. Dr. Erol İMREN, laboratuvar çalışmalarında yardımlarını gördüğüm Doç. Dr. Ahmet CAN, Doç. Dr. Eser SÖZEN ve Arş. Gör. Hasan KESKİN'e teşekkür ederim. Isı iletim katsayı ölçümlerinin yapılmasını sağlayan K.T.Ü Orman Endüstri Mühendisliği öğretim üyesi Prof. Dr. İsmail AYDIN, ısı iletim katsayısı ölçümleri ve yanma deneylerini gerçekleştiren K.S.Ü öğretim üyeleri Doç. Dr. Ertuğrul ALTUNTAŞ ve Doç. Dr. Ferhat ÖZDEMİR'e şükranlarımı sunarım. Ses iletim kaybı ölçümlerinde desteğini gördüğüm DEÜ Makine Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Prof. Dr. Abdullah SEÇGİN ve Dr. Öğr. Üyesi Murat KARA (BAİBÜ) teşekkür ederim. Başta hammadde tedariği olmak üzere, farklı ihtiyaçlarımızda bizlere her zaman destek veren Kastamonu Entegre Kastamonu Yonga Levha Fabrikası işletme müdürü Ufuk AYDIN, kıdemli AR-GE yöneticisi Aziz BİÇER ve diğer KEAS çalışanlarına teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemizde çok büyük emekleri olan annem Gülser ÖZLÜSOYLU, eğitim hayatım boyunca her zaman desteğini gördüğüm ablam Yasemin ÇELEBİ ve abim Musa ÖZLÜSOYLU'ya teşekkür ederim. Tez çalışması boyunca gerek manevi, gerekse bizzat laboratuvar çalışmalarında desteğini gördüğüm eşim ve meslektaşım Yüksek Orman Endüstri Mühendisi Şeyma ÖZLÜSOYLU, hayatımıza girdiği andan itibaren bize kendimizi özel hissettiren oğlum Kerim Alp ÖZLÜSOYLU'ya teşekkür ederim. Son olarak hayatta her türlü zorlukla her koşulda mücadele edip ayakta kalmayı öğreten, bir işi severek yapmanın

güzelliğini ve o iş için katlanılabilecek fedakarlıkları bizzat yaşayarak ve yaşatarak gösteren, tez çalışmasının son döneminde kaybettiğim kıymetli babam Naim ÖZLÜSOYLU'ya teşekkür ederim. Bu tez çalışması TÜBİTAK tarafından 116O028 nolu proje ile desteklenmiştir. Desteklerinden ötürü TÜBİTAK'a şükranlarımı sunarım.

İsmail ÖZLÜSOYLU



ÖZET

Doktora Tezi

KARAÇAM (*Pinus nigra* Arnold.) KABUKLARININ İZOLASYON LEVHASI ÜRETİMİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ

İsmail ÖZLÜSOYLU

Bartın Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Abdullah İSTEK

Bartın-2022, sayfa: 144

Isı ve ses yalıtımı sağlamak amacıyla yapılarda kullanılan malzemeler teknolojik yeniliklere de bağlı olarak gelişmekte olup, son on yıllarda çevreci ve ekolojik malzeme kullanımı önem kazanmıştır. Odun hammaddesi kabukları soyularak kullanıldığından kabuk veya kabuklu odun atık ve artıkları oluşmaktadır. Bu çalışmada karaçam (*Pinus nigra* Arnold.) ağaç kabuklarından polimerik metilen difenil di-izosiyanat (P-MDI) katkılı üre formaldehit (ÜF) tutkallı kullanılarak ısı ve ses yalıtımına uygun izolasyon levhaları üretilmiştir. Üretilen izolasyon levhalarının yüzeyleri ahşap kaplamalarla kaplanarak dekoratif levhalar hazırlanmıştır. Ham ve kaplanmış levhaların bazı fiziksel, mekanik özellikleri ile ısı ve ses iletim özellikleri belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde levha yüzeylerinin kaplanmasıyla en yüksek yoğunluk artışı 20 mm ve 30 mm levha kalınlıkları için sırası ile %18,75 ve %6,06 olarak gerçekleşmiştir. Levha yoğunluğunun 100 kg/m³ artmasından kaynaklı en yüksek yoğunluk artışı ise %37,50 (20 mm) ve %33,33 (30 mm) olarak belirlenmiştir. İzolasyon levhaların üretiminde genel olarak tutkal karışımında P-MDI oranının artmasıyla 2 ve 24 saatlik su alma (WA) ve kalınlığına şişme (TS) değerlerinin azaldığı belirlenmiştir. Doğrusal olmayan bu azalma özellikle TS değerleri için %7 ÜF'ye farklı oranlarda (%1, %2 ve %3) P-MDI

ilave edilen levha gruplarında en yüksek seviyeye ulaşmış, en düşük TS değerleri elde edilmiştir. 20 mm kalınlıkta üretilen levhalar için 300 kg/m³ ve 400 kg/m³ yoğunluklarda elde edilen en düşük 24 saat TS değerleri sırası ile %5,16 ve %6,41 olarak %7ÜF+%3 P-MDI levha grubunda elde edilmiştir. 30 mm kalınlıkta üretilen levhalar için elde edilen en düşük 24 saat TS değerleri ise %5,37 (300 kg/m³) ile %7ÜF+%3 P-MDI, %5,68 (400 kg/m³) ile %7 ÜF+%2 P-MDI levha gruplarında tespit edilmiştir.

Levha gruplarının mekanik özellikleri incelendiğinde ham levhalar için 300 kg/m³ yoğunlukta en yüksek eğilme direnci (BS) ve eğilmede elastikiyet modülü (MOE) değerleri sırası ile 0,88 N/mm² ve 378,04 N/mm² ile %7 ÜF+%3 P-MDI tutkalı kullanımında elde edilmiştir. 400 kg/m³ yoğunlukta üretilen levha gruplarında ise en yüksek BS ve MOE sırası ile 2,03 N/mm² ve 286,72 N/mm² olarak hesaplanmıştır. Levha yüzeylerine yapılan kaplama işlemi mekanik özellikleri iyileştirmiş, levha yüzeylerinin kaplanması ile en yüksek BS ve MOE değerleri sırası ile 15,44 N/mm² ve 3905,63 N/mm² olarak elde edilmiştir. Yüzeye dik çekme direnci (IB) değerleri ise yoğunluğun artması ile artış göstermiş en yüksek IB değerleri 400 kg/m³ yoğunlukta, 20 mm kalınlıkta üretilen levha grubu için 0,14 N/mm², 30 mm kalınlık için ise 0,18 N/mm² olarak hesaplanmıştır.

En iyi tutkal varyasyonu olarak belirlenen %7 ÜF+%3P-MDI ile farklı oranlarda odun kabuk karışımı kullanılarak üretilen levhalarda kabuk kullanım oranının artması ile mekanik özelliklerde azalma, boyutsal kararlılık ve yalıtım özelliklerinde iyileşme olduğu tespit edilmiştir. %100 odun yongası ile üretilen levha grubunda %9 olarak hesaplanan 24 saat TS değeri, kabuk yonga karışımı (%75 kabuk+%25 odun yongası) levha grubunda %7,48 olarak hesaplanmıştır. Aynı levha grupları için ısı iletim katsayısı değerleri ise 0,07505 W/mK (%100 odun yongası) ve 0,06648 W/mK (%75 kabuk+%25 odun yongası) olarak ölçülmüştür.

Vermikülit kullanımı ile fiziksel ve mekanik özelliklerde azalma tespit edilirken, sıcaklıkla kütle kaybının azaldığı, ısı yalıtım özelliklerinin ise olumlu yönde etkilendiği belirlenmiştir. Vermikülit ilave edilmeyen (%100 kabuk) levha grubunda %7,95 olan 24 saat TS değeri, %15 vermikülit ilavesi ile artmasına rağmen (%8,16), vermikülit ilavesiz %100 odun yongası ile üretilen levha grubunun 24 saat TS değerinden (%8,28) daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Yanma deneyi sonucuna göre vermikülit ilave edilmeyen kabuk kontrol grubunda alev kaynaklı yanma (AKY) için %16,7, kendi kendine yanma (KKY) için ise %19 olan

ağırlık kayıpları, %15 vermikülit ilavesi ile %6 (AKY) ve %9,8 (KKY) olarak ölçülmüştür. Üretilen kabuk izolasyon levhalarının en düşük ısı iletim katsayısı değeri 4% P-MDI tutkalı ile üretilen levhalarda 0,06360 W/mK bulunmuştur. Kaplanmış levhalar için ise en düşük ısı iletim katsayısı değeri 0,0671 W/mK ile %3 P-MDI kontrol grubunda elde edilmiştir. Levha yoğunluğunun ısı iletim katsayısını önemli oranda etkilediği tespit edilmiş, 100 kg/m³ yoğunluk artışı ile ısı iletim katsayısındaki ortalama artış 20 mm kalınlığındaki levhalar için 0,012 W/mK, olurken 30 mm kalınlık için 0,011 W/mK olarak hesaplanmıştır.

Yüzey kaplama işlemi ve yoğunluk artışı ile ses yalıtım özelliğinin iyileştiği belirlenmiştir. Ortalama ses iletim kaybı 300 kg/m³ yoğunlukta 11,21 dB, 400 kg/m³ yoğunlukta ise 17,02 dB olarak gerçekleşirken, aynı kalınlık ve yoğunlukta ham ve kaplanmış levhalarda ise sırasıyla 11,21 dB ve 28,08 dB olarak hesaplanmıştır. İncelenen özellikler bakımından elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde karaçam kabuklarından belirli yoğunluklarda üretilecek izolasyon levhaların ısı ve ses yalıtım amacıyla kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ağaç kabuğu, ekolojik izolasyon levha, ısı ve ses yalıtımı, karaçam, P-MDI

Bilim Alanı Kodu: 502.06.01

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

EVALUATION OF BLACK PINE (*Pinus nigra* Arnold.) BARKS IN THE PRODUCTION OF INSULATION BOARD

İsmail ÖZLÜSOYLU

Bartın University

Graduate School

Department of Forest Industry Engineering

Thesis Advisor: Prof. Abdullah İSTEK

Bartın-2022, pp: 144

Materials used in buildings to provide heat and sound insulation are developing depending on technological innovations, and in recent years the use of environmental and ecological materials has gained importance. Waste tree bark obtained by debarking of tree trunks are generally used in energy production. In this study, insulation boards suitable for heat and sound insulation were produced by using polymeric methylene diphenyl di-isocyanate (P-MDI) urea formaldehyde (UF) resin from black pine (*Pinus nigra* Arnold.) bark. Decorative boards were prepared by coating the surfaces of the produced insulation boards with wood veneers. Some of the physical, mechanical, heat and sound conductivity properties were determined for veneer coated and uncoated boards.

When the results obtained are evaluated, the highest increase in the density values with the coating of the board surfaces was calculated as 18.75% and 6.06% for the 20 mm and 30 mm thicknesses, respectively. The highest density-increase due to the 100 kg/m³ increase in the board density was 37.50% (20 mm) and 33.33% (30 mm). In the production of insulation boards, it was determined that the water absorption (WA) and thickness swelling (TS) values of 2 and 24 hours decreased with the increased P-MDI ratio in the glue mixture in general. This non-linear decrease, especially for TS values, reached the highest level in the board groups in which P-MDI was added at different rates (1%, 2%, and 3%) to 7% UF, and the lowest TS values were obtained.

The lowest 24-hour TS values obtained at 300 kg/m³ and 400 kg/m³ densities for 20 mm thick boards were obtained from 7%UF+3% P-MDI board group at 5.16% and 6.41%, respectively. The lowest 24-hour TS values obtained for 30 mm thick boards are 5.37% (300 kg/m³) with 7%ÜF+3% P-MDI and 5.68% (400 kg/m³) with 7%ÜF+2% P-MDI detected in board groups.

When the mechanical properties of the board groups were examined, the highest BS and MOE values of 300kg/m³ density for raw boards were obtained as 0.88 N/mm² and 378.04 N/mm², respectively, in the use of 7% UF+3% P-MDI glue. In the 400kg/m³ density board groups, the highest BS and MOE were obtained as 2.03 N/mm² and 286.72 N/mm², respectively. The coating process on the board surfaces improved the mechanical properties, and the highest BS and MOE values were obtained with the coating of the board surfaces as 15.44 N/mm² and 3905.63 N/mm², respectively. The IB values increased with the increase in density, and the highest IB values were calculated as 0.14 N/mm² for the board group produced at 400 kg/m³ density and 20 mm thickness and 0.18 N/mm² for the 30 mm thickness.

It has been determined that the mechanical properties decrease, but water absorption, thickness swelling, and insulation properties are improved with the increase in the use of bark in the boards produced by using 7%UF+3%P-MDI and wood bark mixture at different rates, which is determined as the best glue variation. The 24-hour TS value, which was calculated as 9% in the board group produced with 100% wood chips, was calculated as 7.48% in the board group with a bark chip mixture of 75% bark + 25% wood chips. The heat transmission coefficient values for the same board groups were measured as 0.07505 W/mK (100% wood chips) and 0.06648 W/mK (75% bark + 25% wood chips).

With the use of vermiculite, a decrease in physical and mechanical properties was observed; It was determined that the mass loss at elevated temperatures decreased, and the thermal insulation properties were positively affected. Although the 24-hour thickness swelling value of 7.95% in the board group without vermiculite added (100% bark) increased with the addition of 15% vermiculite (8.16%), it was found that this value was lower than the 24-hour thickness swelling value (8.28%) of the board group produced with 100% wood chip without vermiculite addition. According to the results of the combustion test, weight losses

of 16.7% for flame-caused combustion (FCC) and 19% for self-combustion (SC) were measured in the bark control group without vermiculite added, and it was found as 6% (FCC) and 9.8% (SC) with the addition of 15% vermiculite.

The lowest heat transmission coefficient value of the bark insulation boards was 0.06360 W/mK in the boards produced with 4% P-MDI glue. For the coated boards, the lowest heat transfer coefficient value was obtained with 0.0671 W/mK and 3% P-MDI control group. It has been determined that the density of the board affects the heat transmission coefficient significantly; the heat transmission coefficient increases with the increase in the density. Therefore, increase in density of 100 kg/m³, the average increase in heat transmission coefficient was calculated as 0.012 W/mK for 20 mm thick boards, and 0.011 W/mK for 30 mm thickness. It was determined that the sound insulation property improved with the surface coating process and the increase in density.

While the average sound transmission loss (STL) was 11.21 dB at 300 kg/m³ density and 17.02 dB at 400 kg/m³ density, it was calculated as 11.21 dB and 28.08 dB for uncoated and coated boards with the same thickness and density. When the results obtained in terms of the examined properties are evaluated, it is concluded that the insulation boards produced from black pine bark at specific densities can be used for heat and sound insulation purposes.

Keywords: Bark, ecological insulation board, heat and sound insulation, black pine, P-MDI

Scientific Field Code: 502.06.01

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY.....	ii
BEYANNAME	iii
ÖNSÖZ	iv
ÖZET	vi
ABSTRACT	ix
İÇİNDEKİLER.....	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiv
TABLolar DİZİNİ.....	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xviii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2 Kabuk ve Yapısı	2
1.3 Isı ve Ses Yalıtımı.....	5
1.4 Kabuk Levhalar	7
1.5 Çalışmanın Amacı ve Özgün Değeri	14
2. MATERYAL VE METOT	16
2.1 Karaçam Kabuğu ve Odun Yongası	16
2.2 Ahşap Kaplama.....	18
2.3 Üre Formaldehit (ÜF) Tutkalı.....	18
2.4 P-MDI Tutkalı.....	18
2.5 Vermikülit.....	19
2.6 Kabuğun Kimyasal Analizi	20
2.7 İzolasyon Kabuk Levha Üretimi	21
2.7.1 Hammadde Hazırlama ve Ön İşlemler	22
2.7.2 Hammaddelerin Hazırlanması.....	22
2.7.3 Tutkallama İşlemi ve Levha Taslağının Hazırlanması.....	25
2.7.4 Sıcak Presleme.....	26
2.7.5 Yüzey Kaplama İşlemleri	27
2.7.6 Fiziksel ve Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi	27
2.7.7 Isı İletkenlik Katsayısının Belirlenmesi	28
2.7.8 Ses İletim Kayıplarının Belirlenmesi.....	28

2.7.9 Yanma Özelliklerinin Belirlenmesi	29
2.7.9.1 ASTM-E69 Yanma Deneyi	30
2.7.9.2 TGA Analizi	30
2.7.10 Kabuk Odun Yongası Karışımı Levha Üretimi	31
2.7.11 Vermikülit Katkılı Levha Üretimi	31
2.7.12 Formaldehit Emisyonun Belirlenmesi	32
2.7.13 İstatistiksel Değerlendirme ve En iyi Levha Grubunun Belirlenmesi	32
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	34
3.1 Karaçam Kabuğunun Kimyasal Analizi	34
3.2 Levhaların Fiziksel Özellikleri	35
3.2.1 Rutubet Değerleri	35
3.2.2 Yoğunluk Değerleri	36
3.2.3 Su Alma ve Kalınlığına Şişme Değerleri	41
3.3 Levhaların Mekanik Özellikleri	46
3.3.1 Eğilme Direnci ve Eğilmede Elastikiyet Modülü	47
3.3.2 Yüzeye Dik Çekme Direnci	51
3.4 Levhaların Isı İletim Özellikleri	54
3.4.1 20 mm Levha Gruplarının Isı İletim Özellikleri	54
3.4.2 30 mm Levha Gruplarının Isı İletim Özellikleri	59
3.5 Levhaların Ses İletim Kaybı Özellikleri	71
3.6 Kabuk-Odun Yongası Karışımı Levha Özellikleri	84
3.7 Vermikülit İlaveli Levha Özellikleri	88
3.7.1 Vermikülit İlaveli Levhaların Yanma Özellikleri	91
3.7.1.1 TGA Analizi	91
3.7.1.2 Yanma Deneyi	92
3.8 Formaldehit Emisyonu	94
3.9 Maliyet Analizi	96
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	99
KAYNAKLAR	107
BİBLİYOGRAFYA	119
ÖZGEÇMİŞ	120

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Sayfa No
1.1: Gövde kesitinde kabuk ve odun kısımları	3
1.2: Kabuk ve odun anatomisi dokuları	4
2.1: Karaçamın Türkiye'deki yayılışı.....	16
2.2: Karaçam kabuğunun mikroskop görüntüsü	17
2.3: Çalışmada kullanılan kabuk ve odun yongaları	17
2.4: Vermikülit yapısı.....	19
2.5: Vermikülit genel görünüşü.....	20
2.6: Kimyasal analizde kullanılan karaçam kabukları.....	21
2.7: İzolasyon kabuk levha üretim iş akışı	21
2.8: Boyutlandırma ve eleme öncesi kabuklar.	22
2.9: Kabukların kurutma fırınında uygun rutubete getirilmesi.....	23
2.10: Kabukların eleme işlemi	23
2.11: Yüzey (a) ve orta tabaka (b) kabuk yongaları	24
2.12: Kabuk yongaların tutkallama işlemi	25
2.13: Kabuk levha taslak oluşumu (a) ve ön presleme (b)	26
2.14: Sıcak presleme işlemi.....	26
2.15: Kaplama malzemesi (a) ve yüzeyleri kaplanmış levhalar (b)	27
2.16: Fiziksel ve mekanik testler için hazırlanan numuneler	28
2.17: Lasercomp Fox-314 ısı iletkenlik ölçüm cihazı (a), deney numuneleri (b)	28
2.18: Empedans tüpü	29
2.19: Ses iletim kaybı deney örnekleri	29
2.20 Yanma deney düzeneği.....	30
3.1: Kaplama ve 100 kg/m ³ yoğunluk artışının etkisi ile % yoğunluk değişimi (20 mm)	40
3.2: Kaplama etkisi ve 100 kg/m ³ karşılık gelen yoğunluk artışları (30 mm).....	40
3.3: Tutkal tipi ve oranının 24 saat KŞ üzerine etkisi	45
3.4: Tutkal tipi ve yoğunluğun IB direnci değişimine etkisi	53
3.5: Yoğunluk değişiminin ısı iletim katsayısı üzerine etkisi	65
3.6: Yoğunluğun 100 kg/m ³ artışı ile ısı iletim katsayısındaki değişim (20 mm).....	66
3.7: Yoğunluğun 100 kg/m ³ artışı ile ısı iletim katsayısındaki değişim (30 mm).....	66
3.8:Kaplama işleminin ısı iletim katsayısı üzerine etkisi (300 kg/m ³).....	67

3.9: Kaplama işleminin ısı iletim katsayısı üzerine etkisi (400 kg/m^3).....	68
3.10: Kaplama ve 100 kg/m^3 lük yoğunluk artışının ısı iletim katsayısı üzerine etkisi	69
3.11: Kalınlığın ısı iletim katsayısı üzerine etkisi (300 kg/m^3).....	70
3.12: Kalınlığın ısı iletim katsayısı üzerine etkisi (400 kg/m^3).....	70
3.13 20 mm kalınlıkta ve 300 kg/m^3 yoğunlukta üretilen ham ve kaplanmış numunelere ait ses iletim kayıpları	72
3.14 Farklı levha gruplarının ortalama ses iletim kayıpları.....	72
3.15: Yoğunluk değişiminin ses iletim kaybı üzerine etkisi	73
3.16 Sabit ÜF miktarına farklı oranlarda P-MDI ilavesinin ses iletim kaybı üzerine etkisi	74
3.17 Sabit P-MDI miktarına farklı oranlarda ÜF ilavesinin ses iletim kaybı üzerine etkisi	75
3.18: Farklı tutkal kullanımının ses iletim kaybına etkisi ($20 \text{ mm}-300 \text{ kg/m}^3$)	76
3.19: Farklı tutkal kullanımının ses iletim kaybına etkisi ($30 \text{ mm}-400 \text{ kg/m}^3$)	76
3.20: Tutkal tipi ve yoğunluk değişiminin ses iletim kaybı üzerine etkisi.....	77
3.21: Farklı kalınlıklarda üretilen levhalara ait ses iletim kayıpları.....	79
3.22: Kalınlık ve yoğunluk değişiminin ses iletim kaybı üzerine etkisi	80
3.23: Odun kabuk karışımı levhaların 2 ve 24 saat TS değerleri	85
3.24: Odun kabuk karışımı levhaların ısı iletim katsayısı ve ısı direnç değerleri	86
3.25: Vermikülit ilaveli ve ilavesiz levha gruplarının 2 ve 24 saat TS-WA değerleri	89
3.26: Vermikülit ilaveli ve ilavesiz levha gruplarının ısı iletim katsayıları ve ısı direnç değerleri.....	90
3.27: TG kütle kaybı grafiği.....	91
3.28: Yanma deneyi levha gruplarının ağırlık kaybı ve O_2 değerleri.....	93
3.29: Kabuk odun karışımı levhaların formaldehit emisyonu değerleri.....	96

TABLÖLER DİZİNİ

Tablo No	Sayfa No
1.1: Kabuk ve odunda bulunan temel bileşenler	3
1.2: Çeşitli ısı yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayıları.....	6
2.1: ÜF tutkalının özellikleri	18
2.2: Cosmonate M-200 P-MDI tutkalının özellikleri	18
2.3: Kimyasal analiz metotları.....	20
2.4: Deney levhaları üretim şartları.....	24
2.5: Kabuk izolasyon levha üretiminde kullanılan tutkal varyasyonları	25
2.6: Levhaların fiziksel ve mekanik özellikleri için standart test metotları	27
2.7: Odun kabuk karışımı deney varyasyonları.....	31
2.8: Vermikülit katkılı deney varyasyonları.....	32
3.1: Karaçam kabuğunun kimyasal analizine ilişkin bulgular	34
3.2: Deney levhalarının üretim sonrası ortalama rutubet değerleri	35
3.3: Deney levhalarının ortalama kalınlık ve yoğunlukları (20 mm-300 kg/m ³).....	37
3.4: Deney levhalarının ortalama kalınlık ve yoğunlukları (20 mm-400 kg/m ³).....	37
3.5: Deney levhalarının ortalama kalınlık ve yoğunlukları (30 mm-300 kg/m ³).....	38
3.6: Deney levhalarının ortalama kalınlık ve yoğunlukları (30 mm-400 kg/m ³).....	39
3.7: 20 mm-300 kg/m ³ levhaların 2 ve 24 saatlik su alma ve kalınlığına şişme değerleri	41
3.8: 20 mm-400 kg/m ³ levhaların 2 ve 24 saatlik su alma ve kalınlığına şişme değerleri	42
3.9: 30 mm-300 kg/m ³ levhaların 2 ve 24 saatlik su alma ve kalınlığına şişme değerleri	43
3.10: 30 mm-400 kg/m ³ levhaların 2 ve 24 saatlik su alma ve kalınlığına şişme değerleri.....	43
3.11: Ortalama eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü direnci değerleri.....	47
3.12: Ortalama eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü direnci değerleri (20 mm-400 kg/m ³)	48
3.13: Ortalama eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü direnci değerleri (30 mm-300 kg/m ³)	49
3.14: Ortalama eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü direnci değerleri (30 mm-400 kg/m ³)	50

3.15: Ortalama yüzeye dik çekme direnci değerleri (20 mm).....	52
3.16: Ortalama yüzeye dik çekme direnci değerleri (30 mm).....	52
3.17: Levha gruplarının ortalama ısı iletim katsayısı ve ısı direnç değerleri (20 mm- 300 kg/m ³).....	55
3.18 Farklı tutkal karışım oranlarına ait ortalama ısı iletim katsayıları (20 mm-300 kg/m ³).....	56
3.19: Levha gruplarının ortalama ısı iletim katsayısı ve ısı direnç değerleri (20 mm- 400 kg/m ³).....	57
3.20 Farklı tutkal karışım oranlarına ait ortalama ısı iletim katsayıları (20 mm-400 kg/m ³).....	58
3.21 Yoğunluk ve ısı iletim katsayılarına ilişkin regresyon analiz sonuçları (20 mm).....	59
3.22 Levha gruplarının ortalama ısı iletim katsayısı ve ısı direnç değerleri (30 mm- 300 kg/m ³).....	59
3.23 Farklı tutkal karışım oranlarına ait ortalama ısı iletim katsayıları (30 mm-300 kg/m ³).....	60
3.24 Levha gruplarının ortalama ısı iletim katsayısı ve ısı direnç değerleri (30 mm- 400 kg/m ³).....	61
3.25 Farklı tutkal karışım oranlarına ait ortalama ısı iletim katsayıları (30 mm-400 kg/m ³).....	62
3.26 Yoğunluk ve ısı iletim katsayılarına ilişkin regresyon analiz sonuçları (30 mm).....	63
3.27: Kabuk odun yongası karışımı ile üretilen levhaların özellikleri	84
3.28: Vermikülit ilaveli levhaların özellikleri	88
3.29: Yanma deney sonuçlarına ait bulgular	93
3.30: Formaldehit emisyon değerleri.....	95
3.31: Kabuk izolasyon levhasının endüstriyel üretim maliyeti analizi	957
3.32: Kabuk izolasyon levhasının tez çalışmasında kullanılan tutkal varyasyonlarına göre maliyeti analizi.....	957
3.33: Kabuk izolasyon levhası ile alternatif yalıtım malzemelerinin maliyet karşılaştırması	958

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

°C	: derece santigrat
cm ³	: santimetreküp
cps	: santipuaaz
dB	: desibel
g	: gram
Hz	: hertz
kg	: kilogram
m ³	: metreküp
mK	: metre Kelvin
mm	: milimetre
W	: watt
λ	: ısı iletim katsayısı
m ³	: metreküp
m ²	: metrekare
R	: ısı direnç
mm ²	: milimetrekare
ha	: hektar
m	: metre
mg	: miligram
dk	: dakika
ml	: mililitre
mj	: milijoule
N	: Newton

KISALTMALAR

A.Ş	: Anonim Şirketi
AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AKY	: Alev Kaynaklı Yanma
ANOVA	: Analysis of Variance

ASTM	: American Society for Testing and Materials
BAİBÜ	: Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi
BS	: Eğilme Direnci
CH ₃ COOH	: Asetik Asit
CH ₃ OH	: Metanol
CH ₄	: Metan
CNC	: Computer Numerical Control
CO	: Karbonmonoksit
CO ₂	: Karbondioksit
DEÜ	: Dokuz Eylül Üniversitesi
EN	: European Norm
FAO	: Food and Agriculture Organization
FF	: Fenol Formaldehit
HDF	: Yüksek Yoğunluklu Lif Levha
IB	: Yüzeye Dik Çekme Direnci
ICB	: İzolasyon Mantar Levhası
ISO	: International Organization for Standardization
İYA	: İğne Yapraklı Ağaçlar
KKY	: Kendi Kendine Yanma
KSÜ	: Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi
KTÜ	: Karadeniz Teknik Üniversitesi
LOI	: Limit Oksijen İndeksi
MDF	: Orta Yoğunluklu Lif Levha
MDI	: Metilen Difenil Di-İzosianat
MF	: Melamin Üre Formaldehit
MOE	: Eğilmede Elastikiyet Modülü
MÜF	: Melamin Üre Formaldehit
NaOH	: Sodyum Hidroksit
OSB	: Oriented Strand Board (Yönlendirilmiş Yonga Levha)
P-MDI	: Polimerik Metilen Difenil Di-İzosianat
PS	: Pamuk Sapı
PVC	: Polivinil Klorür
SAW	: Simple Additive Weighting

SPSS	: Statistical Package for the Social Sciences
TAPPI	: Technical Association of The Pulp and Paper Industry
TGA	: Termogravimetrik Analiz
TS	: Kalınlığına Şişme
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
TS-EN	: Türk Standartları- European Norm
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
ÜF	: Üre Formaldehit
WA	: Su Alma
YA	: Yapraklı Ağaç



1. GİRİŞ

1.1. Giriş

Son yıllarda fosil yakıtların tüketim miktarlarını düşürme ihtiyacı, daha sağlıklı yaşam ortamlarının oluşturulması, doğal çevrenin korunması ve gürültü gibi olumsuz etkenlerin azaltılması amacıyla yaşanan ortamlarda ısı ve ses yalıtımı zorunlu hale gelmiştir. Sanayide farklı üretim alanlarında kullanılan odun hammaddesi çoğunlukla kabuğu soyularak kullanılmaktadır. Kabukların soyulması ile hacim olarak %15, ağırlık olarak ise %7-%10 civarında kayıp olmaktadır. Odundan soyularak elde edilen bu kabuklar çoğunlukla enerji üretimi için yakılmaktadır. Oysa kabuk yüksek porozitesi ve düşük yoğunluğu nedeniyle düşük ısı iletkenliğine sahip olup, ısı yalıtım uygulamalarında tercih edilebilecek bir malzemedir.

Bu tez çalışması üç ana aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada, karaçam (*Pinus nigra* Arnold.) ağaç kabuklarından polimerik metilen difenil di-izosiyanat (P-MDI) ve üre formaldehit (ÜF) tutkalları kullanılarak ısı ve ses yalıtımı amaçlı kabuk izolasyon levhaları üretilmiştir. Üretilen izolasyon levhalarının yüzeyleri ahşap kaplama ile kaplanıp, fiziksel, mekanik özellikler ile ısı ve ses yalıtım özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirilip, üretilen levhaların ısı ve ses yalıtımı açısından sahip olduğu özellikler belirlenmiştir. İkinci aşamada, üretilen levha grupları içerisinde en uygun sonuçları veren varyasyon belirlenmiş ve bu tutkal varyasyonu ile farklı oranlarda odun kabuk karışımı levhalar üretilmiştir. Elde edilen levhalara birinci aşamada uygulanan tüm fiziksel ve mekanik testler yapılarak farklı oranlarda odun yongası ve kabuk kullanımının özellikler üzerine etkileri belirlenmiştir. Üçüncü aşamada ise, levhaların sıcaklık karşısındaki davranışını geliştirmek amacıyla farklı oranlarda yanmayı geciktirici vermikülit ilavesi yapılarak levha üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen levhalara daha önceki aşamalarda uygulanan fiziksel ve mekanik testlerin yanı sıra ASTM E-69 yanma testi ve TGA analizi yapılarak sıcaklıkla kütle kaybı ve diğer yanma özellikleri belirlenmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlarla ağaç kabuklarının değerlendirildiği yeni kullanım alanlarının oluşması, üretilen dekoratif izolasyon levhalarının iç mekanlarda kullanılabilmesi ve daha etkin bir şekilde ekonomiye kazandırılması hedeflenmiştir. Ayrıca iç mekanlarda yalıtım özelliği aranan dekoratif duvar ve tavan kaplamalarında diğer izolasyon levhalarına alternatif bir

malzeme elde edilmesi de amaçlanmıştır.

1.2 Kabuk ve Yapısı

Ağaç gövde ve dallarının en dış tabakası olan kabuk ağacı dış etkilere karşı korumaktadır. Kabuk canlı floem hücrelerinden oluşan iç kabuk ve ölü hücrelerden meydana gelen dış kabuk olarak iki kısımda incelenebilir. Anatomik ve kimyasal olarak karmaşık bir yapıya sahip olan kabuğun oduna oranla ekstraktif madde ve lignin oranları yüksek, lif boylarının küçük olmasından dolayı sanayi üretimlerinde odundan uzaklaştırılarak kullanılması söz konusu olmaktadır. Uzaklaştırılan bu kabuğun önemli bir kısmı enerji üretiminde kullanılmaktadır (Eroğlu ve Usta, 2000). Ülkemizde yaklaşık 2 milyon m³ atık ağaç kabuğu potansiyeli olduğu ve bunların büyük kısmının levha endüstrisinde enerji kaynağı olarak kullanıldığı belirtilmektedir (Hamad vd., 2019). Kabuğun fırın kurusu halde yakıt değeri 18,6 – 25,6 mJ/kg aralığındadır. Kabuğun kül miktarı ise yapraklı ağaçlar (YA) için %1-%6, iğne yapraklı ağaçlar (İYA) için ise %0,5-%4 arasındadır. Kabuk özellikle dış kabuk karbonlu dikarboksilik poliestерlerinden oluşan süberin ve kütin olarak isimlendirilen mumsu maddeler içerir. Lignin ve diğer polifenolik bileşikler biribirinden ayırt etme her zaman mümkün olmayabilir. Çok az ağaç türünün kabuğunda yüksek miktarlarda ekstraktif ve polifenolik bileşen bulunmakta olup, tanen eldesi için kullanılmaktadır (Wiedenhoeft, 2010).

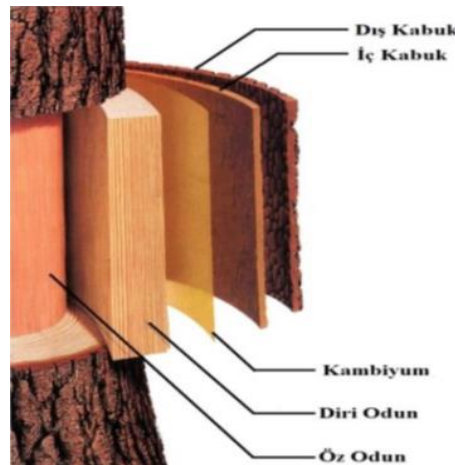
Kabuğun kimyasal bileşim analizinin 4 ana grupta incelenebileceği bunların polisakkaritler (selüloz, hemiselüloz ve pektik maddeler), lignin-polifenoller, hidroksi asit kompleksleri (süberin) ve ekstraktifler (yağlar, fitosteroller, reçine asitleri, mumlar, tanenler, terpenler, flavonoidler vb.) olduğu belirtilmiştir (Rowell ve Pettersen, 2012; Kain, 2016). Orhon ve Altın (2020) kabuğun esas olarak selüloz ve süberinden oluştuğunu bildirmiştir. Başka bir çalışmada ise, kabuk ile odunun kimyasal bileşimindeki en büyük farkın polifenoller ve süberinin kabukta daha yüksek oranda bulunması olduğu vurgulanmıştır (Gönültaş ve Uçar, 2017). Süberin bileşimi farklı ağaç türlerinde değişkenlik gösterdiği ve çoğunlukla yaygın çözücülerde çözünmediği, yoğun inorganik asitlerde de hidrolize olmadığı belirtilmiştir (Filippou, 2014). Süberin kompozit bir polimerik madde olup alifatik, hidroksi-alifatik ve fenolik asitlerin polyesterlerinden oluşmaktadır. Birçok türün kabuğunun %1-40 arasında değişen yüzdelerde süberin içerdiği ve genellikle yumuşak ağaç türlerinde süberin oranının sert ağaçlara göre %5 kadar daha düşük olduğu belirtilmiştir (Argyropoulos, 2001).

Kabuk çoğunlukla 0,40 – 0,65 g/cm³ arasında bir özgül kütleyle sahiptir. Kimyasal olarak, yaklaşık (ekstraksiyon yöntemin ve türe göre bağlı olarak) %10 – 30 ekstraktif madde, %15 – 45 selüloz, %15 – 40 lignin, tanen ve diğer karbonhidratlardan oluşmaktadır (Eroğlu ve Usta, 2000). Kabuk oranının, ağaç türü ve yaşı, yetiştirme ortamı koşullarına bağlı olarak %8- %22 arasında değişebildiği (FAO, 1990; Harkin ve Rowe, 1971; Kantay ve Köse, 2006), ülkemizdeki ortalama ağaç kabuk oranının ise %12,5 olduğu belirtilmektedir. Ayrıca birincil ve ikincil orman ürünleri sanayisinde 2 milyon m³ atık kabuğun elde edilebileceği vurgulanmaktadır (Kurt ve Mengeloğlu, 2006). Gövdeyi, dalları ve kökü çevreleyen kambiyumun dış tabakası olan kabuk, karmaşık ve heterojen özelliğe sahiptir. Anatomik olarak bütün bitkisel dokularda bulunmaktadır. Odun ve kabuktaki temel bileşenler Tablo 1.1’de görülmektedir (Howard, 1971; Harkin ve Rowe, 1971).

Tablo 1.1: Kabuk ve odunda bulunan temel bileşenler (Harkin ve Rowe, 1971)

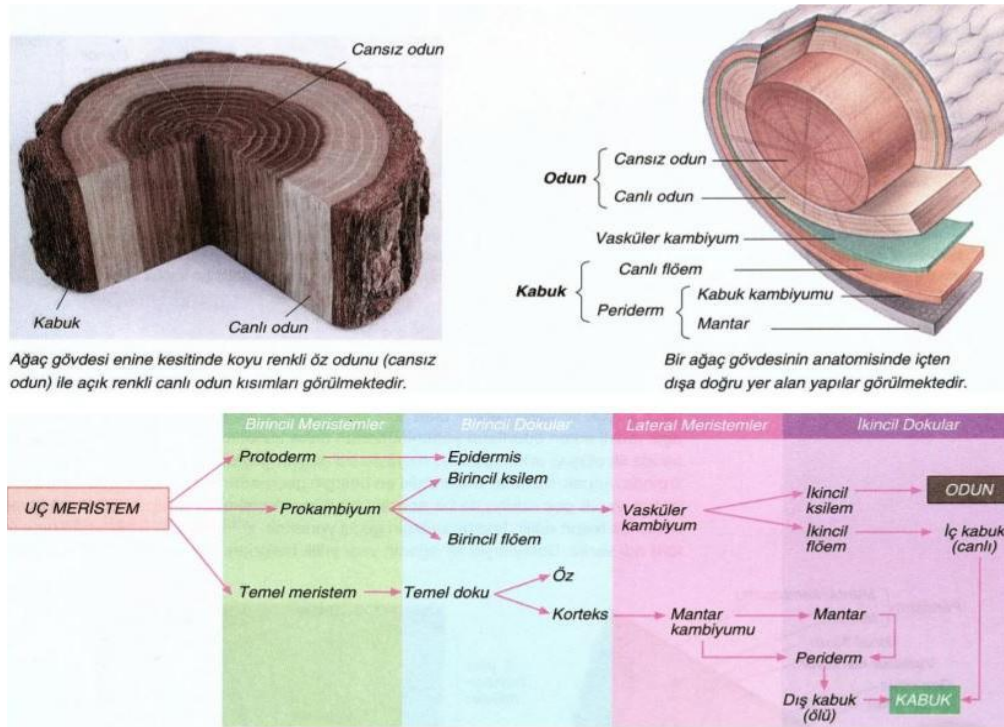
Kimyasal Bileşik	İğne Yapraklı Ağaçlar		Yapraklı Ağaçlar	
	Odun	Kabuk	Odun	Kabuk
Lignin (%)	25-30	40-55	18-25	40-50
Polisakkaritler (%)	66-72	30-48	74-80	32-45
Ekstraktifler (%)	2-9	2-25	2-5	5-10

Enine kesitte gövde; öz, odun ve kabuk olarak 3 kısma ayrılır. Odun ve kabuk arasında yalnız mikroskopla görülebilen kambiyum adı verilen bir doku vardır. Kambiyum iç tarafa doğru odunu, dış tarafa doğru ise kabuğu oluşturur (Şekil 1.1).



Şekil 1.1: Gövde kesitinde kabuk ve odun kısımları (Kozłowski, 1971; Kantay ve Köse, 2006’dan)

Yapı olarak oduna kıyasla daha karmaşık olan kabuk, hücre tipleri olarak önemli farklılıklar göstermektedir. Kabuk, canlı iç kabuk (floem) ve ölü hücrelerden oluşan dış kabuk (rhytidom) olmak üzere iki kısımda incelenebilir. Kabuk yapısında bulunan maddeler birincil (primer) ve ikincil (sekonder) büyüme ile meydana gelmektedir. Embriyonal hücrelerin gövdenin yetiştirme yerlerinde direk olarak üretilmesi ile açıklanabilen birincil gelişmeye, epidermis, korteks ve primer floem, örnek gösterilebilir. İki özel meristemden oluşan sekonder dokulardan ilki, sekonder floemin üretildiği vasküler kambiyum, diğeri ise peridermin üretildiği mantar kambiyumu (fellojen)'dir. İç ve dış kabuk arasında bir sınır görevi üstlenen periderm olgunlaşmış bir ağaç kabuğunda oluşan son yapıdır (Sjöström 1981; Dönmez ve Dönmez, 2013'ten). Periderm; fellem, fellogen ve felloderm olmak üzere 3 tabakadan meydana gelir. Fellogen orta tabaka olup, gövdenin merkezine doğru felloderm hücrelerini ve gövdenin dış tarafı istikametinde fellem hücrelerini üretir. Oluştuktan kısa süre sonra canlılıklarını kaybeden peridermdeki fellem hücreleri fellogen tabakası faaliyetini durdurur. Odunu çevreleyen kabuğun makroskopik görünümü türlere ve yaşa bağlı olarak farklılık göstermektedir. Kabuktaki büyüme tabakaları, odundaki büyüme halkaları gibi makroskopik olarak görülemezler. Yaşlı ağaç kabuklarında açık renkli iç kabuk ve koyu renkli mantarimsı dış kabuk olarak iki kısım görülür. İç kabuğun dış kısımları yavaş yavaş dış kabuğa dönüşür. Kabuk kalınlığı yaşla birlikte artarken, gövde yüksekliği ile azalmaktadır (Tsoumis, 1968; Özdemir 2010'dan). Şekil 1.2'de kabuk ve odun anatomisi dokuları görülmektedir.



Şekil 1.2: Kabuk ve odun anatomisi dokuları (URL-4; Hamad, 2019'dan)

1.3 Isı ve Ses Yalıtımı

Kışın ısınmak, yazın da serinlemek için harcanan enerjinin azaltılması ve daha konforlu ortamlarda yaşam sürmek amacıyla binaların cephe duvarları, cam ve doğramaları, çatıları, döşemeleri ve tesisatlarında, ısı geçişini azaltan önlemlerin alınması işlemine ısı yalıtımı denir (Kulaksızoğlu, 2006). Başka bir deyişle, sağlıklı yaşam koşulları oluşturmak, yakıt tüketimlerini ve hava kirliliğinin azaltmak, binayı iç ve dış etkenlerden koruyarak ömrünü uzatmak, yapı bileşenlerinin sıcaklık farkı bulunan iki ortam arasındaki ısı geçişini azaltmak için yapılan işlemlerdir (Anon., 2004). Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre Türkiye’de 11,6 milyon bina olup, bunların yaklaşık 10 milyonu konut niteliğindedir. Bugün ülkemizde toplam binaların yaklaşık %80’inde ısı yalıtım uygulamaları olmadığı belirtilmektedir. Bu binalarda uygulanması hiçbir teknolojik zorluk arz etmeden herkesin kolaylıkla uygulayabileceği basit yalıtım uygulamaları ile ısınma için harcanan enerjinin asgari %50 'sini geri kazanmak mümkün görünmektedir (Kulaksızoğlu, 2006). Ülkemizde kişi başına 0,07 m³ olan yalıtım malzemesi tüketimi, Avrupa’da 0,4 m³, Amerika’da ise 1 m³ düzeyindedir. Kişi başına ısı yalıtım ürünleri tüketimi bakımından yapılan kıyaslama; Türkiye’nin, Almanya’nın 11 kat (0,8 m³/kişi), Fransa’nın ise 5,7 kat (0,4 m³/kişi) gerisinde kaldığını göstermektedir. Aynı kriterde Türkiye; İtalya, İspanya ve Portekiz’in 2,8 kat (0,2 m³/kişi) gerisindedir (Anon., 2010). Günümüzde, yakıt tüketiminden tasarruf yapmak, doğal çevrenin korunarak daha sağlıklı yaşam alanlarının oluşturulması ve gürültü gibi zararlı etkenlerden korunmak için yaşanan ortamlarda ısı ve ses yalıtımının zorunluluk haline geldiği görülmektedir. Isı ve ses yalıtımı farklı özellikteki yalıtım malzemeleriyle ve farklı yöntemlerle yapılabilmektedir. Yalıtım malzemeleri için üç temel sınıflandırma yapılabilir. Bunlar;

- 1) Sentetik içerikli malzemeler (Polistiren, poliüretan vb.)
 - 2) İnorganik malzemeler (Cam yünü, kaya yünü vb.)
 - 3) Doğal kökenli yenilenebilir malzemeler (Odun talaşı, odun kabuğu vb.) (Kain vd. 2014).
- Bu sınıflandırma içerisinde yer alan bazı malzemelerin ısı iletim katsayıları Tablo 1.2’de verilmiştir.

Tablo 1.2: Çeşitli ısı yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayıları

Yalıtım malzemesi	Isı iletkenlik katsayısı (W/mK)	Kaynak
Odun kabukları	0,061-0,076	(Pasztory ve Ronyecz, 2013)
Odun talaşı	0,09-0,15	
Taş yünü	0,04	
Cam yünü	0,04	
Extrude polistren köpük (XPS)	0,028-0,031	(URL-1, 2021)
Expanded polistren köpük (EPS)	0,04	
Poliüretan	0,035	
Cam köpüğü	0,052	
Fenol köpüğü	0,04	
Mantar levhalar	0,04-0,055	

Diğer lignoselülozik maddelerde olduğu gibi odun özellikle de kabuk serbest elektronların bulunmayışı ve porozitelerinin yüksek olması nedeniyle düşük ısı iletimine sahiptir. Birçok farklı özelliğinde olduğu gibi odunun termal özellikleri de kesitlerine göre farklı özellikler göstermektedir. Radyal yöndeki ısı iletkenliği, tanjansiyel yöne göre %5-%6 kadar daha büyük olabilmektedir (Shida ve Okuma, 1980). Lignoselülozik odun, yıllık bitkiler ve tarımsal atıklar gibi yenilenebilir özellikteki alternatif kaynaklar önemli potansiyele sahiptir (Güler ve Akgül, 2001). 20. yüzyıl itibari ile yalıtıma yönelik çalışmalar gelişim içerisinde olup, artan bir eğilimdedir. Özellikle 1970’li yıllar petrol krizi ile dönüm noktasına ulaşan ve uygulamanın hızlandığı kritik döneme denk gelmektedir. Bu dönemlerde enerjiden tasarruf için, ısı yalıtımının önemi anlaşılmış, sosyal ve ekonomik anlamda büyük yol alınmıştır. Küresel ısınma, iklim değişikliği gibi konularda bilim insanlarının uyarıları ve tehlikelerin gözle görünür hale gelmesi konunun sürekli güncel kalmasını ve yalıtım sektörünün yeniden yapılanmasını sağlamaktadır (Bayülken ve Kütükoğlu, 2009).

Yenilenebilir kaynaklar içerisinde ağaç kabukları, odun elyafları, yün, kenevir, saman ve geri kazanılmış selüloz yumakları değerlendirilebilir. Kereste üretiminde de bir yan ürün olma özelliğine sahip ağaç kabuğu, ağacı patojenler, nem, aşırı sıcak ve soğuk, mekanik hasarlar gibi her türlü dış etkiye karşı korumaktadır. Çoğunlukla yüksek değerli ürünler için kullanılmayan kabuk esas olarak fabrikalarda ısı ve enerji için yakılmaktadır. Endüstriyel amaçlara yönelik küresel tomruk hasadının 1,6 milyar m³, ortalama kabuk oranı ağaç başına %10 kabul edilirse dünyada 160 milyon m³/yıl kabuk atığından söz edilebileceği belirtilmektedir (Kain vd., 2014).

Yapıların kışın ısınma, yazın soğutma ihtiyacı enerji sarfiyatlarını arttırmaktadır. Isı yalıtımı ile hem enerji maliyetlerini düşürmek hem de günümüzün önemli sorunlarından olan karbon emisyonlarını azaltarak çevreye katkı sunmak mümkündür. Yapılan yeni standart düzenlemeler binaların ısı performansları konusunda yaptırımlar getirmekte ve ısı yalıtımını hem mevcut hem de yeni binalar için kapsayıcı hale getirmektedir (Kleinhempel 2005). Enerji uzmanlarına göre dünyada 35 yıl öncesine kıyasla %30 daha fazla enerji tüketilmektedir. Yapılan tahminlere göre 2030'lu yıllarda enerji ihtiyacı bugünkünden %60 daha fazla olacaktır. Bu durum yalıtımın önemini gün geçtikçe artırmaktadır. Zira enerjinin tasarrufu, verimli kullanımı ile başa baş bir eğilim sürdürmektedir (Bayülken ve Kütükoğlu, 2009).

Çoğunlukla ısı ve ses yalıtımının beraber yapılması istenmekte ve yalıtıma konu olan malzemeler çoğunlukla bu iki özelliği taşımaktadır. Fiziksel bir olay olan ses, insan kulağında işitme duyusunu uyaran, titreşim yapan bir kaynağın hava basıncında oluşturduğu dalgalanmalarla meydana gelir. İnsan sesleri 250-500-1000-2000 Hz'lik frekanslarda yer alır. Ses dalgası geliş güzel bir spektrumda ise ya da diğer bir deyişle istenmeyen bir ses ise "gürültü" olarak adlandırılmaktadır. İnsan sağlığı ve konforu üzerinde birçok olumsuz etkisi olan gürültü, işitme hasarlarının yanı sıra, vücut aktivitesinde kan basıncının artması, kasların istem dışı kasılması gibi fizyolojik etkiler ile huzursuzluk, sinirlilik gibi psikolojik tesirler meydana getirmektedir. Ayrıca iş veriminin düşmesi gibi olumsuz etkiler oluşturmaktadır (Anon., 2009). Yaşadığımız konut, okul, işyeri vb. binalar ile çevreyi istenmeyen seslerden yalıtarak gürültünün zararlı etkilerinden korumak; kayıt stüdyoları, sinema, konser salonu vb. mekânları gibi alanlarda gerekli kullanım koşullarını oluşturmak; jeneratör, hidrofor, kalorifer vb. gürültülü ortamları yalıtarak çevreye yaydıkları gürültüyü azaltmak amacı ile yapılan uygulamalara ses yalıtımı denir. Bir malzemenin ses yalıtım özelliği üzerinde gözeneklilik, hava akışı, ses dalgaları, yoğunluk ve elastikiyet modülü gibi özellikler etkilidir (URL-2, 2021). Ses absorpsiyonunun levha kalınlığı, porozite ve yoğunluğa bağlı olarak değiştiği, özellikle levha kalınlığının artmasıyla iyileştiği vurgulanmaktadır (Kawasaki vd.,1998).

1.4 Kabuk Levhalar

Genel olarak ağaç kabuklarından yonga levhaların üretilmesinde iki temel yaklaşım geliştirilmiştir. İlk yaklaşımda, 1960'ta Burrows, 1971 ve 1973 de Wellons ve Krahmer,

tarafından, kabukların yüksek lignin ve ekstraktif madde içeriğinden faydalanılarak, herhangi başka bir ilave yapıştırıcı kullanılmadan, yüksek pres sıcaklığında direkt üretimin yapılabileceği çalışmalar yapılmıştır. Bu temel düşünceden hareketle değişik kabuklar üzerine elde edilen sonuçlardan kabuk parçaları arasındaki yapışmanın, yüksek sıcaklık etkisi ile ligninin plastikleşmesi ve ekstraktiflerin polimerizasyonu sonucu oluştuğu açıklanmıştır. Diğer ikinci yaklaşımda ise, kabuk parçalarının ÜF, FF ve melamin formaldehit (MF) gibi ilave bazı sentetik yapıştırıcılarla birlikte kullanılarak panel levha üretilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmalarla ilgili olarak 1971' de Dost, 1972' de Deppe ve Hoffmann, 1977' de Blankenhorn vd. sentetik yapıştırıcı ilavesi ile değişik türdeki ağaç kabuklarından panel levha üretmişlerdir. 1971' de Dost, kızıl ağaç kabuk ve odun yongalarını değişik oranlarda karıştırarak ürettiği panellerin performans özelliklerinin, kabuk miktarının artışına bağlı olarak olumsuz yönde değiştiğini açıklamıştır (Blanchet vd., 2000).

Ahşap esaslı levha ürünlerinde kullanım yerinde istenilen fiziksel ve mekanik özellikleri sağlamak amacıyla farklı özelliklerde tutkallar kullanılmaktadır. Günümüzde ahşap esaslı levha üretiminde en fazla kullanılan tutkal grubu formaldehit esaslı sentetik tutkallardır. Maliyet ve performans açısından optimum sonuçları veren ÜF tutkalı en yaygın kullanılan tutkal tipidir. Dünya levha üretiminin yaklaşık %90'ı ÜF tutkalı ile yapılmaktadır (Maloney, 1993). ÜF tutkalı ekonomik olmasının yanı sıra yüksek reaktivitesi, düşük pres süresi ile yeterli sertleşmeye ulaşması, temiz tutkal hattı vermesi ve levhaya ekstra yanıcı özellik kazandırmaması gibi avantajlara sahiptir. Bu avantajlarına rağmen, ÜF tutkalının dezavantajı ortama yaydığı formaldehit emisyonudur (Hematabadi vd., 2012). Levha üretiminde kullanılan P-MDI tutkalı ise daha çok fenol formaldehit (FF) tutkalına alternatif olarak kullanılmaktadır. P-MDI tutkalı FF'ye göre daha pahalı olmasına rağmen, FF'den daha hızlı sertleşmesi, rutubete karşı toleransı daha yüksek olması ve daha düşük dozlarda kullanılması nedeniyle tercih edilmektedir. Yonga esaslı kompozitlerde, bu iki tutkalın birlikte kullanıldığı bazı durumlarda, orta tabakalarda P-MDI kullanılırken, yüzey tabakalarında daha yavaş sertleşen FF kullanılabilir. P-MDI, üretim esnasında zararlı kimyasal etkilere neden olduğundan özel korunma önlemleri gerektirse de üretim sonrasında sağlık açısından herhangi bir riski taşımamaktadır (Stark vd., 2010). P-MDI, suya karşı direnç sağlayan levhaların üretiminde kullanılan bir bağlayıcı türü olup, yönlendirilmiş yonga levha (OSB) üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Fenol formaldehite ikame olarak kullanılmakla birlikte, FF odunla ağırlıklı olarak mekanik bağlar yaparken, P-MDI

güçlü ve daha stabil olan kovalent bağlar yapma yeteneğine sahiptir. Ayrıca P-MDI odun yapısında çokça bulunan OH gruplarıyla reaksiyona girip üretan bağları oluşturabilen izosiyanat ($-N=C=O$) grupları içerir. Polar olmayan aromatik yapısı ve çapraz bağlanmış ağ yapısının bir parçası olarak üretan bağlarının mevcudiyeti gibi faktörlerin bir araya gelmesi sertleşmiş P-MDI tutkalının hidrolize karşı direnç göstermesine yardımcı olur. P-MDI, pahalı olmasına rağmen üretim sürecinde sağladığı birçok fayda sayesinde, avantajlı yönlerinin maliyetinden ağır bastığı kanıtlanmıştır. Yüksek iç yapışma direnci, daha iyi eğilme ve kopma direnci, emisyon salınımına sebebiyet vermemesi ve rutubete karşı dirençliliği sahip olduğu avantajlarından. P-MDI'nın 25°C'de yoğunluğu 1,23 g/cm³ tür. P-MDI yüksek sıcaklıkları tolere edebilmesi ve parlama noktasının 200°C'nin üzerinde olmasından dolayı alevlenme riski düşük olarak kabul edilir. 230°C üzerinde yapısı ayrışarak bozulmalar görülebilmektedir (Tan, 2012). Düşük yoğunluklu lif levha ve yonga levha üretimi için en uygun yapıştırıcının izosiyanat tutkalı olduğu belirtilmektedir (Kawai vd. 1986; 1988). Kawai (1996)'e göre izolasyon levha üretiminde lif kullanımının yongalara göre tercih edildiği, liflerden düşük yoğunluklu levha üretiminin daha kolay olmasından kaynaklandığı belirtilmektedir.

Dziurka ve Mirski, (2010) yaptıkları çalışmada %2,5-%10 arasında değişen oranlarda P-MDI ilave edilmiş ÜF tutkalı ile ürettikleri yonga levhaların fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre artan P-MDI oranı ile levhaların direnç özellikleri ve suya karşı arttığı görülmüştür. Ayrıca P-MDI ilave edilmiş ÜF ile üretilen levhalar, daha kısa pres süresinde daha iyi fiziksel ve mekanik özellik göstermiştir. Wang vd. (2004) yonga levhalardan yayılan formaldehit emisyonunu azaltmak amacıyla ÜF ile MDI tutkallarını karışım şeklinde kullanılmıştır. Sonuç olarak düşük emisyonlu ve ilgili standartlardaki değerleri karşılayacak düzeyde fiziksel ve mekanik özelliklere sahip yonga levhalar üretilmiştir. Ayrıca sertleştirici olarak kullanılan amonyum klorür ilavesinin ÜF ile MDI arasındaki reaksiyonu engellediği, bu durumun da tutkal karışımının hazırlanması ve uygulanması noktasında belirleyici olduğu vurgulanmıştır. Mansouri vd. (2006), ÜF tutkalının suya karşı direncini arttırmak amacıyla ÜF tutkalı içine ağırlıkça %10-%15 arasında değişen oranlarda P-MDI ilave ederek kontrplak üretmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre P-MDI ilavesi, ÜF tutkalının kaynayan suya karşı direncini arttırmıştır. Yapılan başka bir çalışmada çam ve ladin odunu kabuklarından üretilen yonga levhalarda fenolik tutkalların çam kabuğu ile bağlanmasının zor olduğu onun yerine izosiyanat kullanılabileceğini belirtmiştir (Muszynski ve McNatt, 1984). Wang vd. (2007) yaptıkları

çalışmada iç ortam koşullarında kullanmak üzere P-MDI ve FF tutkallarını kullanarak geri kazanılmış atık odun yongalarından düşük formaldehit emisyonlu yonga levha üretip, P-MDI/FF oranının formaldehit emisyonu ve mekanik özellikleri üzerine etkisini araştırmıştır. Sonuçlar P-MDI/FF oranı artışı ile formaldehit emisyonu salınımının doğrusal olarak azaldığını göstermiştir. Ayrıca çalışmada P-MDI/FF oranı 50:50 olan örneklerde emisyon değerinin E0 standardında olduğu vurgulanmıştır.

Yalıtım levhalarının üretimi için ağaç kabuklarının uygunluğunun değerlendirildiği bir çalışmada çam (*Pinus sylvestris* L.) kabuğu ÜF reçinesi ile yapıştırılmış nispeten hafif panellerin (500 kg/m^3) preslenmesinin mümkün olduğu ve ortaya çıkan ısı iletkenliği ($0,06\text{--}0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$) değerlerinin mevcut izolasyon levhalar ile rekabet edebilir durumda olduğu görülmüştür (Kain vd., 2012). Ağaç kabuklarından üretilen izolasyon levhalarının mekanik özelliklerinin araştırıldığı diğer bir çalışmada ise üretilen levhaların yalıtım amaçlı kullanımlar için yeterli olduğu belirtilmiştir (Kain vd., 2013a).

Kain vd. (2014) kabuğun izolasyon amaçlı kompozit paneller ve pelet üretimine uygun bir hammadde olup olmadığını belirlemeye yönelik yaptıkları çalışmada, farklı kalınlıktaki kabuklardan değişik yoğunluklarda levhalar üretmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre üretilen levhaların mekanik özelliklerinin ilgili standartları karşıladığı, yalıtım özelliklerinin de yeterli düzeyde olduğu sonucuna varılmıştır. Aynı çalışma da küresel ölçekte endüstriyel amaçlar için hasat edilen tomruk miktarının kabaca 1,6 milyar m^3 , doğrudan yakılan miktarın ise %43 olduğunu, Avrupa Birliği'nde ise bu miktarın yaklaşık 310 milyon m^3 olduğu ve yaklaşık %80'ini oluşturduğunu belirtmişlerdir. Bir ağacın ortalama kabuğu içeriği yaklaşık olarak %10 olarak düşünüldüğünde, kabuk kullanımı ile dünya ölçeğinde yaklaşık 160 milyon m^3 ilave hammadde sağlanmış olurken, (Xing vd., 2007) Avrupa birliğinde (AB) bu değer yaklaşık 31 milyon m^3 olduğu vurgulanmıştır. (Barbu, 2011).

Günümüzde konuyla ilgili yapılan çalışmalarda yalıtım malzemelerinin kalitesinin artırılması ve doğal malzemelerden üretilmesine yönelik çalışmalara odaklanılmıştır. Farklı türdeki yapraklı ve iğne yapraklı ağaç kabuklarının ısı yalıtım kapasitesinin incelendiği bir araştırmada 5 farklı ağaç türü geleneksel yalıtım malzemeleri ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada yalancı akasya, kavak klonu, karaçam, ladin ve sarıçam türleri incelenmiş olup sonuç olarak, ağaç kabuklarının ısı yalıtım kapasitelerinin cam yünü gibi geleneksel yalıtım malzemeleri ile karşılaştırılabilir olduğu sonucuna varılmıştır. İlaveten ağaç kabuklarının

üretimi için gerekli enerji, geleneksel yalıtım malzemelerine göre daha düşük olduğundan, ağaç kabuklarının kullanımı, karbon depolama ve CO₂ döngüsü açısından da avantaj sağlamaktadır. Aynı çalışmada nem içeriğinin farklı türdeki ağaç kabuklarının ısı yalıtım kapasitelerini etkilediği sonucuna varılmıştır (Pasztery ve Ronyecz, 2013). Kain vd. (2013b) tarafından yapılan kabuğun ısı izolasyon malzemesi olarak kullanımı çalışmasında ladin kabukları ahşap çatkılı duvarda izolasyon amacıyla iç ve dış ortam sıcaklıkları arasındaki farkı yansıtacak bir ortam simülasyonu oluşturularak değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda kabuk tabakaların düşük ısı difüzyonuna sahip olmalarından dolayı ısıyı daha yavaş ilettiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca iç ve dış ortam arasındaki buhar basıncı farkı su buharı yayılımına neden olduğundan malzemenin rutubetinde artış olmuştur. İki farklı iğne yapraklı ağaç odun lifi ile yapıştırıcı tip ve köpük tipi izosiyanat kullanılarak (0,05 g/cm³-0,50 g/cm³) düşük yoğunlukta lif levhalar üretilmiştir. Yapıştırıcı tip izosiyanat tutkalı kullanılarak üretilen izolasyon levhaların köpük tipi levhalara göre daha yüksek fiziksel ve mekanik özellikler sahip olduğu belirtilmektedir. Aynı çalışmada ısı iletkenliği tutkal tipi ve lif uzunluğundan daha çok levha yoğunluğuna bağlı olarak değiştiği belirtilmektedir. 0,2 g/cm³'ten düşük yoğunluktaki levhaların ısı iletkenliği hemen hemen polistiren köpük ve taş yünü izolasyon levhalarına eşit olduğu belirtilmektedir (Kawasaki vd., 1998). Diğer bir çalışmada kabuk levhaların polistiren ya da mineral yün gibi çok düşük ısı iletkenliğine [0,03–0,045 W/(m*K)] sahip olmadığı belirtilmektedir. Kabuğun ısı yalıtım malzemesi olarak uygulandığında kışın hızlı soğumayı ve yazın aşırı ısınmayı önleyen ısı elemanı davranışı gösterdiği de belirtilmektedir (Kain vd., 2013b).

İki çeşit tarımsal atığın (buğday ve arpa samanları) kavak odun yongalarının karışımıyla izolasyon levha üretimine uygunluğu araştırılmıştır. Saman türü/kavak yongası oranları %0-%100, %10-%90, %20-%80 ve %30-%70 alınarak elde edilen levhaların özgül ağırlıkları da 0,20 g/cm³, 0,40 g/cm³ ve 0,60 g/cm³ olarak belirlenmiştir. Yapıştırıcı olarak ÜF tutkalı kullanılmış ve elde edilen levhaların ses absorpsiyon katsayıları dört frekansta (250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz ve 4000 Hz) ölçülmüştür. Sonuçlar, ses absorpsiyonunun frekans 2000 Hz'e ulaşıncaya kadar frekans artışına paralel olarak arttığını, fakat 4000 Hz'de ses absorpsiyon katsayısının azaldığını göstermiştir. Üretim parametreleri arasında saman çeşidinin ses absorpsiyon katsayıları üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığı görülmüştür. 1000 Hz frekansta ses dalgalarının absorpsiyonu için en iyi yoğunluk %30'luk saman oranıyla 0,4 g/cm³ olmuştur. 1000 Hz'den yüksek frekanstaki ses dalgalarında en iyi yoğunluk ise %30'luk saman oranıyla 0,2 g/cm³ olarak tespit edilmiştir (Saadatnia vd., 2008).

Ayçiçeği saplarının izolasyon levhası üretimine uygunluğu araştırılmış ve elde edilen levhaların ısı iletim katsayıları ölçülmüştür. İki farklı metotla üretilen izolasyon levhalarının ısı iletim katsayıları da iki farklı metotla ölçülmüştür. Birinci ölçüm sonuçlarına göre yatay tasarımlı levhaların ortalama ısı iletim katsayısı 0,045 W/mK, dikey tasarımlı levhaların ortalama ısı iletim katsayısı 0,036 W/mK ve kontrol levhalarının ortalama ısı iletim katsayısının 0,059 W/mK olduğu belirlenmiştir. İkinci metotla yapılan ölçümlerde ise yatay tasarımlı levhalarda ortalama 0,0602 W/mK, dikey tasarımlı levhalarda ortalama 0,0760 W/mK ve kontrol levhalarında ortalama 0,0651 W/mK olarak bulunmuştur. Aynı çalışmada yapılan ses izolasyonu ölçüm sonuçlarına göre, dikey tasarımlı levhadan yapılan kutu modelin sesi 16 dB, yatay tasarımlı levhadan yapılan kutu modelin 15,5 dB ve kontrol levhasından yapılan kutu modelin 13,5 dB absorbe ettiği tespit edilmiştir. Buna göre dikey tasarımlı levha ile yatay tasarımlı levhadan oluşturulan kutu modelinin ses izolasyon oranları sırasıyla %20 ve %19,37 olup birbirine yakın ölçülürken; kontrol levhasından oluşturulan kutu modelinin ses izolasyon oranı %16,77 ile daha düşük gerçekleşmiştir. Bu değerlerin dikkate değer olduğu ve bu tip levhaların başta ses yalıtımının önem taşıdığı mekânlarda ve durumlarda endüstriyel olarak üretilip kullanılabileceği vurgulanmıştır (Efe, 2011).

Panyakaew ve Fotios (2011) çalışmalarında, herhangi bir kimyasal bağlayıcı kullanmadan hindistan cevizi kabuğu ve şeker kamışı küspesinden 250 kg/m³-450 kg/m³ aralığında izolasyon levhası üretimi gerçekleştirmiş, üretilen levhaların mekanik özelliklerinin yoğunluk, pres süresi ve sıcaklık ile arttığını belirtmişlerdir. Binici vd. (2013), yaptıkları çalışmada ayçiçeği sapı, anız ve tekstil atıkları birlikte değerlendirerek bir yalıtım malzemesi üretmiştir. Elde edilen sonuçlar seçilen malzemeleri epoksi ile karıştırarak yeterince izole gereçler üretmenin mümkün olduğunu göstermiştir. Yonga levha üretiminde pamuk saplarının (PS) kullanılabilirliğinin araştırıldığı bir çalışma, PS'den üretilen düşük yoğunluktaki levhaların mekanik özelliklerinin düşük olduğu, fakat yapılarda izolasyon malzemesi olarak kullanılabileceğini göstermiştir (Güler ve Özen, 2004). Diğer bir çalışmada ısı yalıtımında kullanılabilecek plastik lifler, saman, polistiren kumaş ve toprak materyallerinin karışımından çamur briket üretimi yapılmıştır. Yapılan kutu modelli ısı izolasyon testi sonuçlarına göre, duvarları lifle güçlendirilmiş çamur briketle yapılan evin yaz mevsiminde beton briketle yapılan evden %56,3 daha serin ve kışın %41,5 daha sıcak olduğu belirlenmiştir (Binici vd., 2007). Binici vd. (2014) mısır koçanı katkılı ısı yalıtım malzemesi üretiminde mısır koçanını toz haline getirip, bağlayıcı olarak epoksi ve çimento alçı karışımı kullanmıştır. Üretilen yalıtım malzemesinde ısı iletim katsayısı ve ultrasonik

ses geçirgenliği ölçümleri sonuçlarından, ısı ve ses iletkenliğinin kullanılan hammadde ve bağlayıcı türüne göre farklılık gösterdiği sonucuna varılmıştır.

Mimoza, quebracho ve radiata çam kabuğundan çıkarılan yoğunlaştırılmış tanenlerin, diizosiyanat, ÜF, melamin üre formaldehit (MÜF) ve FF gibi sentetik yapıştırıcılarla endüstriyel yonga levha üretimi için karışım halinde kullanılabileceği belirtilmektedir (Pizzi, 1982;1994). Diğer bir çalışmada Kain vd. (2014) tanen hekzamin reçinesi kullanılarak odun kabuklarından üretilen izolasyon levhalarının özellikleri ve yoğunlukları arasındaki yüksek derecede ilişki olduğunu belirlemiştir. Mantar meşesinin budanmış dallarından çıkarılan kış mantarı ve diğer düşük kaliteli mantar parçaları izolasyon mantar levhası (ICB) üretiminde kullanılmaktadır. Düşük yoğunluklu ICB akustik düzenlemelerde kullanılırken yüksek yoğunluktaki ICB ise özel amaçlı ısı izolasyonu ya da titreşimlerin yalıtımında kullanılmaktadır. Ülkemizde yalancı sahlı meşe kabuklarından daha ziyade izolasyon levhası yapımında yararlanılmaktadır (Alma ve Şen, 2001).

Mikanın doğal aşınmasıyla oluşmuş magnezyum alümino silikat kil minerali olan vermikülit, volkanik magma kayaçlarından elde edilen bir mineral olup yüksek sıcaklıklarda genleştirilerek hacmi ve geçirgenliği arttırılmaktadır. Hacim ağırlığı değeri belirgin bir şekilde düşerek şekil değiştirmektedir (Toksoy, 1997). Vermikülit iyi ses ve ısı yalıtım özelliğine sahip olup, farklı yüzeylere tutunma özelliğine de sahiptir. Yanmayı geciktirici olarak kullanıldığında, açığa çıkan duman ve gazlar toksik olmayıp çevre sağlığı için tehlike oluşturmaz (Crawford vd., 1990). Genişletilmiş vermikülit 80 kg/m³ ile 120 kg/m³ arasında yoğunluğa 0,04 W/mK ile 0,12 W/mK ısı iletim katsayısına ve 1240 °C- 1430 °C gibi yüksek erime noktasına sahiptir. Ayrıca kimyasal olarak inert, stabil ve çevre açısından güvenli bir malzemedir (Suvorov ve Skurikhin, 2003; Nguyen vd., 2013; Wang vd., 2016a).

Yapılan farklı çalışmalarda selülozik esaslı kompozitlerin yanma dayanımını arttırmak amacıyla vermikülit kullanılabileceği belirtilmiştir. Atık gazete kağıdından yalıtımı malzemesi üretilen bir çalışmada vermikülit, perlit, çinko boraks ve alçı gibi malzemeler tek başlarına ve karışım halinde kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre vermikülit kullanımının ısı iletkenliği ve yanma dayanımı üzerine olumlu etkisi olduğu ve en yüksek yanma dayanımının vermikülit kullanımında görüldüğü belirtilmiştir (Binici vd., 2015). Benzer bir çalışmada atık mukavva, alçı, pomza, perlit, vermikülit ve zeolit ile yapılan kompozitlerin yanmaya karşı direnci araştırılmış, vermikülitin tek başına ve diğer mineraller

ile karışım halinde kullanıldığında yanmaya karşı dayanım sağladığı görülmüştür (Binici, 2016; Aksoğan vd., 2018). Yapılan başka bir çalışmada lignoselülozik-mineral esaslı levha üretiminde vermikülit kullanılması ile alevlenmenin azaldığı ve yanmaya karşı dayanımın arttığı belirtilmiştir (Kozłowski vd., 1999). Vermikülit ilave edilmiş üre formaldehit tutkalı ile üretilen kontrplakların termal bozunumu ve yanma performansı incelendiği çalışmada vermikülit kullanımı ile limit oksijen indeksi (LOI) değerinin arttığı sonuç olarak yanma performansının iyileştiği tespit edilmiştir. Ayrıca vermikülitin pirolizi yavaşlatan ve kömürleşmeyi arttıran bir termal yalıtkan özelliği gösterdiği belirtilmiştir (Wang vd., 2016b). Ayrıca vermikülit, yapı elemanlarının yanmaya karşı dayanımını arttırmak amacıyla kullanılan levhaların üretiminde kullanılabildiği gibi taşıyıcı elemanlara koruma katmanı olarak uygulanan püskürtme sıvanın içeriğinde de kullanılabilmektedir (Arpacıoğlu, 2004).

1.5 Çalışmanın Amacı ve Özgün Değeri

Literatür incelendiğinde ağaç kabuklarının ahşap esaslı levha üretiminde kullanılmasına yönelik çalışmalar mevcuttur. Bu tez çalışmasında literatürden farklı olarak karaçam türüne ait ağaç kabukları izolasyon amacına yönelik, sentetik yapıştırıcılar kullanılarak, geleneksel yonga levha iş akışına uygun tabakalı izolasyon levhası üretiminde kullanılmıştır. Ayrıca üretimden sonra yüzeyleri ahşap kaplama ile kaplanarak dekoratif özellik kazandırılması hedeflenmiştir.

Tez çalışmasında atık olarak ortaya çıkan karaçam ağaç kabuklarının iç ortamlarda ısı ve ses izolasyonu amacına yönelik levha üretimine uygunluğunun belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik üretilen levhaların bazı fiziksel, mekanik özellikleri ile ısı iletim katsayıları ve ses iletim kayıpları belirlenmiştir. Ayrıca yanma özelliklerini iyileştirmeye yönelik yanmayı geciktirici vermikülit ilavesi yapılarak, üretilen levha gruplarının sıcaklık etkisi ile kütle kayıpları TGA analizi ile belirlenmiştir. Bu levha gruplarının alev kaynaklı yanma (AKY) ve kendi kendine yanma (KKY)'daki özellikleri de incelenmiştir. Bu amaç ve hedeflere ilave olarak izolasyon levha üretiminde kullanılan tutkal varyasyonları içerisinde optimum tutkal varyasyonu tespit edilmiştir. Bu tutkal varyasyonu ile kabuk ve odun yongası karışımı levhalar üretilerek bu levhaların bazı fiziksel, mekanik özellikleri ile ısı iletim katsayıları belirlenmiş, hammadde karışımı içerisinde kabuk miktarının özellikler üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir.

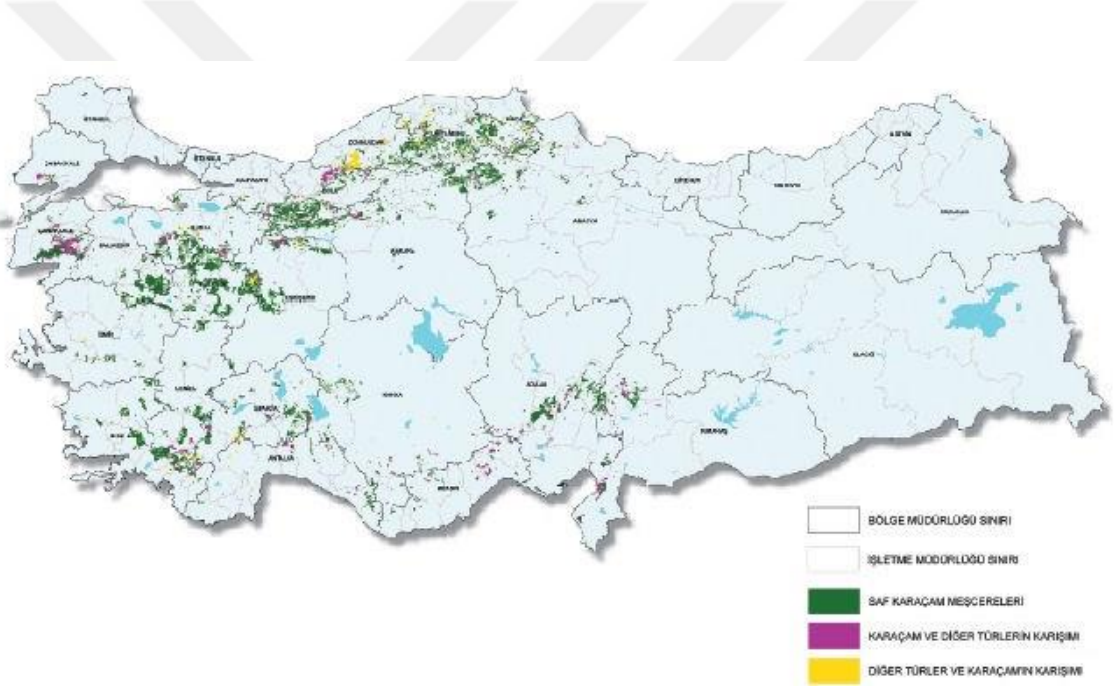
Çalışmadan elde edilecek sonuçlarla ağaç kabuklarının farklı kullanım alanlarında değerlendirmesi, elde edilen levhaların dekoratif özellikte ve yalıtım amacıyla iç mekân kullanımına uygun olması ve atık ağaç kabuklarının katma değer sağlayabilecek bir ürüne dönüşmesi hedeflenmiştir. Bu sayede iç ortamlarda tavan ve duvar gibi kısımlarda dekoratif ve yalıtım amaçlarıyla kullanılan malzemelere alternatif bir ürün elde edilmesi de amaçlanmıştır. Bunların yanında tez çalışması ile ulaşılması beklenen diğer hedefler ise şu şekildedir.

- Karaçam (*Pinus nigra* Arnold.) ağaç kabuklarının izolasyon amaçlı levha üretiminde hammadde olarak uygunluğunu belirlemek,
- Levha yoğunluğu ve yüzey kaplama işleminin ısı ve ses yalıtımı üzerine etkisini tespit etmek,
- Farklı tutkalların ve bunların farklı oranlardaki karışımlarının izolasyon levhaların özellikleri üzerine etkisini incelemek,
- Kabuk izolasyon levhalara dekoratif özellik kazandırmak,
- Odun kabuk karışımı ile üretilen levhaların özelliklerini belirlemek,
- Kabuk izolasyon levhalarda vermikülit ilavesinin yanma özellikleri üzerindeki etkisini tespit etmek,
- Odun yongası ve kabuk karışımı ile üretilen levhalarda kabuk miktarının formaldehit emisyonu üzerine etkisini değerlendirmek.

2. MATERYAL VE METOT

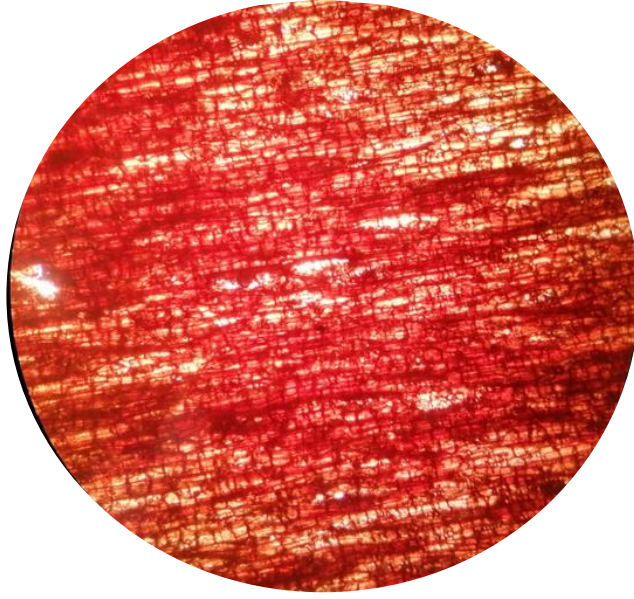
2.1 Karaçam Kabuğu ve Odun Yongası

Bu çalışmada hammadde olarak Karaçam (*Pinus nigra* Arnold.) ağaç kabukları kullanılmıştır. Ülkemizde varlığını gösteren Karaçam, Trakya, Kuzey, Güney, Batı ve Orta Anadolu bölgelerinde ve Karadeniz'in batı kısımlarında saf ve karışık ormanlar olarak yer almaktadır (Merev, 2003). Ülkemizde kızılçamdan sonra en geniş yayılış alanına (4.693.059,6 ha) sahip tür olan Karaçam (*Pinus nigra* Arnold.), 400-2100 m rakıma kadar çıkabilen, 40 m boy ve 1 m'den fazla çap yapabilen düzgün gövdeli bir türdür (Çakal, 2021). Şekil 2.1'de Karaçamın Türkiye'deki yayılış alanları görülmektedir.



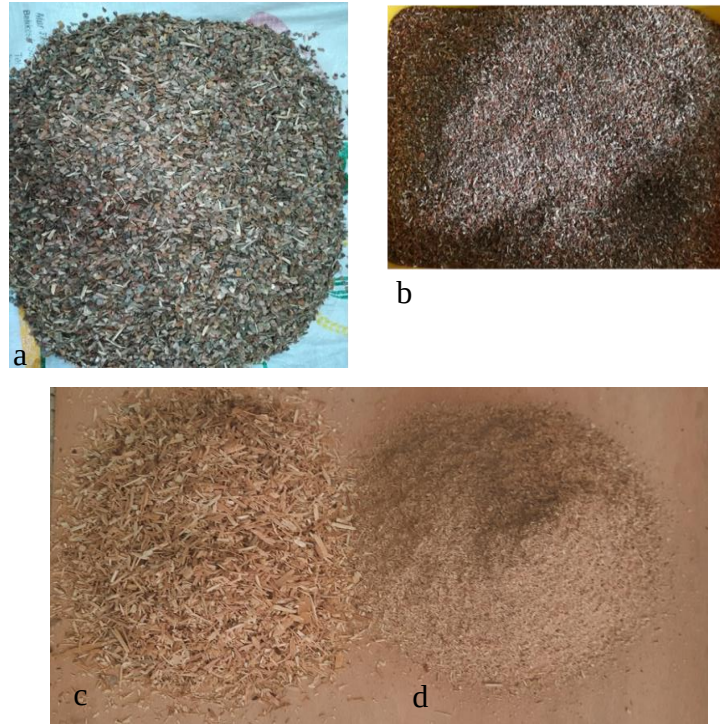
Şekil 2.1: Karaçamın Türkiye'deki yayılışı (OGM, 2014; Dutkuner ve Koparan, 2016'dan)

Tez çalışmasında bölgemize yakın konumlarda yoğun yayılış göstermesi ve aynı bölgelerde bulunan levha fabrikaları tarafından yonga eldesi amacıyla kullanılması sebebiyle karaçam türü tercih edilmiştir. Yonga levha üretimine hazırlık amacıyla yongalama işlemi öncesi tomruk kabuklarının soyulmasıyla ortaya çıkan kabuklar toplanarak laboratuvarımıza getirilmiş ve belirli ön işlemlerden sonra izolasyon levhası üretimine hazır hale getirilmiştir. Karaçam kabuklarının oduna göre daha düşük yoğunlukta ve poroz yapıda olması sebebiyle düşük yoğunlukta yalıtım levhaları üretilmesi hedeflenmiştir. Karaçam kabuğunun ışık mikroskobu altında görüntülenen yüzeysel yapısı Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.2: Karaçam kabuğunun mikroskop görüntüsü

Çalışmada odun yongası olarak ise iğne yapraklı (İYA) ve yapraklı ağaç (YA) odunu karışımlardan elde edilen yongalar kullanılmıştır. Ağaç kabukları ve odun yongaları Kastamonu Entegre Ağaç Sanayi (Kastamonu) A.Ş. den temin edilmiştir. Şekil 2.3'te çalışmada kullanılan ağaç kabukları ve odun yongaları görülmektedir.



Şekil 2.3: Çalışmada kullanılan kabuk ve odun yongaları (a-b: Orta- yüzey tabaka kabuk , c-d: Orta - yüzey tabaka odun yongaları

2.2 Ahşap Kaplama

Yüzeylerin kaplanması için kullanılan ahşap kaplamalar ortalama 1,75 mm kalınlığında olup, soyma yöntemiyle kayın tomruklarından elde edilmiştir. Kaplamalar Başoğlu Orman Ürünleri San. ve Tic. A.Ş.'den (Devrek/Zoguldak) temin edilmiştir.

2.3 Üre Formaldehit Tutkalı

Tez çalışmasında izolasyon levhaları üretiminde kullanılan ÜF tutkalı Kastamonu Entegre Ağaç Sanayi A.Ş. den temin edilmiş olup, özellikleri Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1: ÜF tutkalının özellikleri

Özellik	Değer
Çözelti (%)	60±1
Yoğunluk (g/cm ³)	1,25-1,27
pH (25 °C)	7,5-8,5
Viskozite (Dın/cPs 25°)	150-200
Jelleşme süresi (s, 100 °C)	28-33

2.4 P-MDI Tutkalı

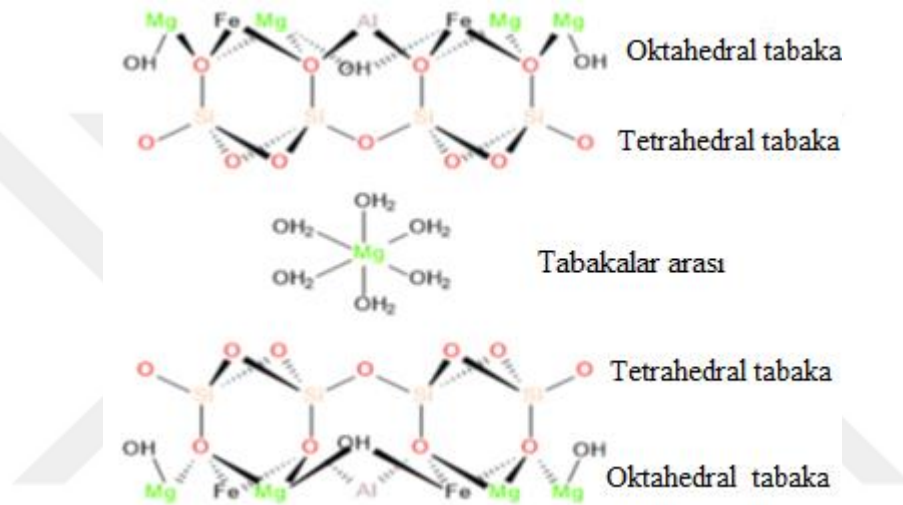
P-MDI tutkalının ticari ismi Cosmonate M-200 olup, Latro Kimya Dış Ticaret Ltd. Şirketinden (İstanbul) temin edilmiştir. Tablo 2.2'de bu çalışmada kullanılan P-MDI tutkalının özellikleri görülmektedir.

Tablo 2.2: Cosmonate M-200 P-MDI tutkalının özellikleri

Özellik	Değer
NCO içeriği (% ağırlık)	30-32
Viskozite (25°C) cps	150-250
Özgül ağırlık (25°C)	1,23-1,25
Kaynama noktası (°C)	200-208
Donma noktası (°C)	-20'nin altı
Alevlenme noktası (°C)	177-218
Dış görünüş	Kahverengi akışkan

2.5 Vermikülit

Vermikülit, genel olarak endüstriyel genişleme özelliği olan tüm mika grubu minerallerini (biotit, flogopit ve hidrobiotit) kapsayan bir terim olarak adlandırılırken, mineralojik olarak ise tek başına bir grubu temsil etmekte olup sulu magnezyum, alüminyum, demir silikat olarak da tanımlanmaktadır. Sarımsı kahve, yeşil bazen de siyah renkte olabilen vermikülit $\{Mg_x(H_2O)_n\}(Mg,Fe,Al)_3(Al,Si)_4O_{10}(OH)_2$ ($x:0,6-0,9$) genel formülü ile ifade edilmektedir (DPT, 2001; Ehsani, 2015). Şekil 2.4'te vermikülit yapısı görülmektedir.



Şekil 2.4: Vermikülit yapısı (Barczewski vd., 2021)

Vermikülitin, kısa sürede yüksek sıcaklıklara çıkartılmasıyla katmanlar arasında bulunan su, su buharına dönüşür ve vermikülit silikat katmanında oluşan hasar ile genişleme meydana gelir (Marcos ve Radriguez, 2011). Genleşmenin sonucunda, vermikülit yığın yoğunluğu yaklaşık $0,8 \text{ g/cm}^3$ 'ten $0,08 \text{ g/cm}^3$ 'e kadar azalmaktadır (Harmancı ve Kalem, 2022). Vermikülit cevheri veya konsantresinin kalsine edilmesiyle hazırlanan genişletilmiş vermikülit, 80 kg/m^3 ila 120 kg/m^3 arasında düşük kütle yoğunluğu, $0,04 \text{ W/mK}$ ile $0,12 \text{ W/mK}$ arasında ısı iletkenliği gibi farklı özellikler gösterir. Ayrıca yüksek erime noktası ($1240 \text{ }^\circ\text{C}$ ila $1430 \text{ }^\circ\text{C}$), kimyasal olarak inert, dayanıklı ve çevre açısından güvenli olması vermikülitin umut verici bir ısı yalıtım malzemesi olarak değerlendirilmesini sağlamaktadır (Toksoy, 1997; Suvorov ve Skurikhin 2003; Nguyen vd.,2013). Bu özelliklerinin yanında arayüzeylerinde fazlaca boşluk bulunması ve yüzeyindeki silanol gruplarının varlığı sebebiyle selüloz gibi biyopolimerlerdeki hidroksil grupları ile kolay ve güçlü hidrojen bağları kurabilmesi su absorplama özelliğini arttırmaktadır (Ghofrani, vd.,2017). Dünyada

ABD ve Güney Afrika Cumhuriyeti'nde önemli vermikülit rezervleri bulunmakta iken, ülkemizde ise çok yaygın olmamakla beraber belirli bölgelerde vermikülit oluşumlarına rastlanılmaktadır (Harmancı ve Kalem, 2022). Şekil 2.5'te vermikülitin genel görünüşü verilmiştir.



Şekil 2.5: Vermikülit genel görünüşü (URL-3, 2022)

Çalışmada kullanılan vermikülit Agrikal (Mersin) firmasından temin edilmiş olup, tane boyutu 0,35 mm-1 mm aralığında, yoğunluğu ise 100 kg/m³-140 kg/m³ arasındadır. Vermikülit kabuk izolasyon levhaların üretiminde yanma dayanımlarını arttırmak amacıyla farklı oranlarda kullanılmıştır.

2.6 Kabuğun Kimyasal Analizi

Hammadde olarak kullanılan Karaçam (*Pinus nigra* Arnold.) ağaç kabuklarının kimyasal analizinde Tablo 2.3'te belirtilen metotlar kullanılmıştır. Her bir özelliğin belirlenmesi 5 tekrar ile yapılmış ve elde edilen verilerin ortalama değerleri alınmıştır.

Tablo 2.3: Kimyasal analiz metotları

Analiz tipi	İlgili standart
Holoselüloz oranı	Wise' nin klorit metodu (Wise ve Karl,1962)
Lignin oranı	TAPPI T 222 om-21
Alfa selüloz oranı	TAPPI T 203 cm-22
Kül oranı	TAPPI/ANSI T 211 om-22
Metanol-su çözünürlük oranı	TAPPI T 204 cm-17
%1'lik NaOH ' de çözünürlük oranı	TAPPI/ANSI T 212 om-18
Soğuk ve sıcak suda çözünürlük oranı	TAPPI T 207 cm-08
pH değeri	

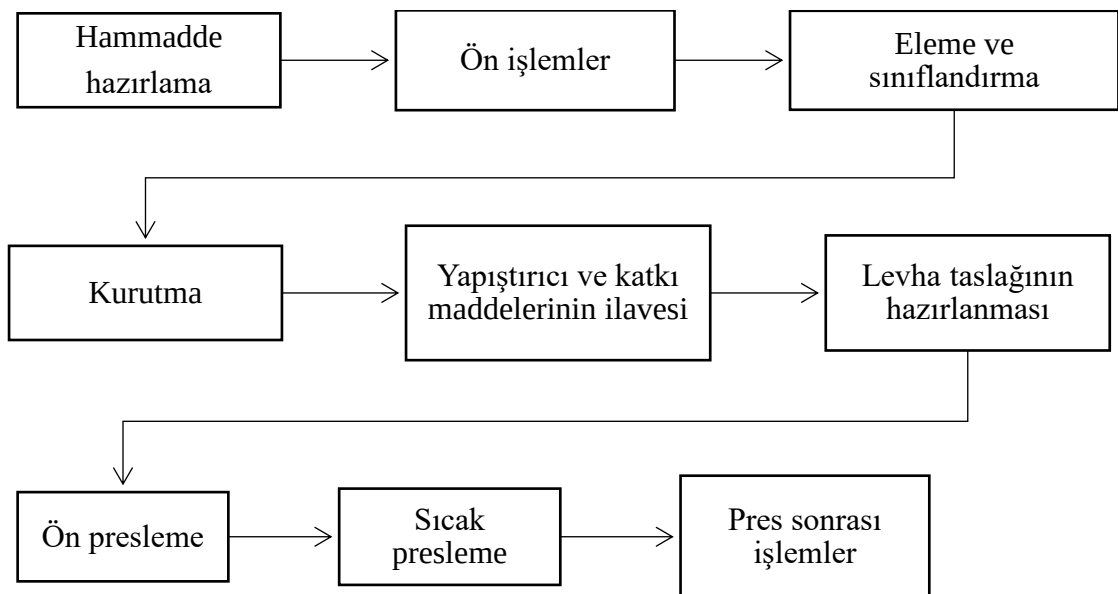
Şekil 2.6’da analizde kullanılan kabuk örnekleri görülmektedir. Wiley değirmeninde boyutları küçültülen kabuklardan 40mesh’lik elekten geçip 60 mesh’lik elek üzerinde kalan örneklere kimyasal analiz işlemleri uygulanmıştır.



Şekil 2.6: Kimyasal analizde kullanılan karaçam kabukları (a: Öğütme öncesi, b: Öğütme sonrası)

2.7 İzolasyon Kabuk Levha Üretimi

İzolasyon kabuk levha üretimi süreci geleneksel yonga levha üretim iş akışına göre yapılmış olup, Şekil 2.7’de gösterilmiştir.



Şekil 2.7: İzolasyon kabuk levha üretim iş akışı

Üretim sonrasında izolasyon levhalarının yüzeyleri ahşap kaplamalarla kaplanmış olup, elde edilen ham ve kaplanmış levhaların bazı fiziksel, mekanik, termal özellikleri ile ısı ve ses iletim özellikleri belirlenmiştir. İzolasyon levha üretiminde yapılan işlemler ve kullanılan metotlar aşağıda açıklanmıştır.

2.7.1 Hammadde Hazırlama ve Ön İşlemler

Karaçam kabukları temin edilmeden önce ilgili işletmede değirmenlerden geçirilerek kalınlıkları 1–10 mm, uzunlukları ise 2-30 mm olacak şekilde sınıflandırılmıştır. Odun yongaları ise işletmeden alındığı şekilde kullanılmıştır. Daha sonra laboratuvarımıza getirilen kabuk ve odun yongaları uygun şartlarda depolanmıştır. Şekil 2.8’de fabrikadan temin edilen kabuklar görülmektedir. Kabuklar boyutlandırma ve eleme işlemleri öncesi rutubetlerinin azaltılması için laboratuvar ortamında zemine serilerek bekletilmiştir. Tutkal olarak kullanılan P-MDI ve ÜF ise kullanıma hazır halde temin edilmiş olup, kullanım süresi boyunca uygun şartlarda saklanmıştır.



Şekil 2.8: Boyutlandırma ve eleme öncesi kabuklar

2.7.2 Hammaddelerin Hazırlanması

Yongalar halinde temin edilen ağaç kabukları yabancı maddelerden ayıklanıp kaba eleme işlemi yapıldıktan sonra, yonga kırıcı değirmende boyutları küçültülüp eleme-sınıflandırma işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra laboratuvarımızda bulunan 450 litre hacmindeki kurutucuda %1-%3 rutubete kadar kurutulmuştur (Şekil 2.9).



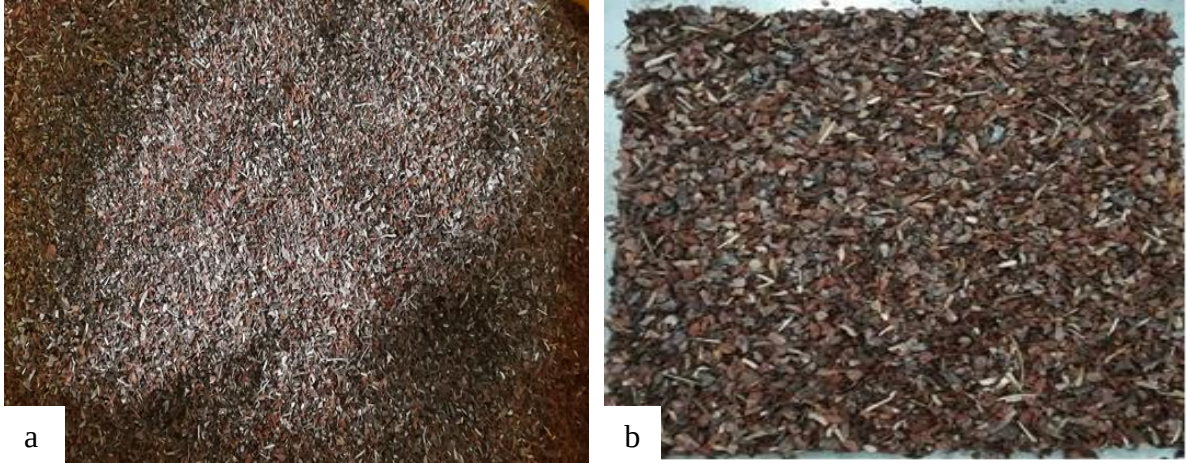
Şekil 2.9: Kabukların kurutma fırınında uygun rutubete getirilmesi

Kabuk yongalarının elenerek sınıflandırılma işlemi Şekil 2.10’da görülmektedir. Levhaların yüzey tabakalarında 0,0937 mesh (2,36 mm) elekten geçip 0,0394 mesh’lik (1,00 mm) elek üzerinde kalan kabuk yongaları kullanılmıştır (Şekil 2.11a). Yüzey tabakalarında kullanılacak yongaların miktarı toplam kuru yonga ağırlığına oranla %40 olarak belirlenmiştir.



Şekil 2.10: Kabukların eleme işlemi

Orta tabakada ise 2,36 – 10 mm aralığındaki yongalar kullanılmıştır (Şekil 2.11b). Bu yongaların oranı ise levha üretiminde kullanılan toplam kuru yonga ağırlığının %60’ını oluşturmaktadır.



Şekil 2.11: Yüzey (a) ve orta tabaka (b) kabuk yongaları

Üretilen izolasyon levhalarının kalınlık, yoğunluk ve sıcak pres parametrelerine ilişkin bilgileri içeren üretim şartları Tablo 2.4’te verilmiştir.

Tablo 2.4: Deney levhaları üretim şartları

Değişkenler	Üretim şartları
Tutkal varyasyonları	A, B, C, D, E, F gruplar
Levha kalınlığı	20 mm, 30 mm
Levha yoğunluğu	300kg/m ³ , 400kg/m ³
Pres sıcaklığı/basıncı	180±5 °C / 160±5 bar
Pres süresi	4 dakika (20 mm) /6 dk. (30 mm)
Hacim yoğunluk	Orta tabaka yongası
	Yüzey tabaka yongası
	0,192 g/cm ³
	0,220 g/cm ³

Tablo 2.5’te ise kabuk izolasyon levha üretiminde kullanılan tutkal varyasyonları görülmektedir. Çalışmada 3 farklı (%3, %5 ve %7) ÜF tutkal oranına, yine 3 farklı oranda (%1, %2 ve %3) P-MDI ilavesi yapılarak toplam tutkal oranları belirlenmiştir. Ayrıca ÜF için %8 ve %10, P-MDI için ise %3 ve %4 olmak üzere 4 farklı kontrol grubu oluşturulmuştur. Levha üretimleri toplamda 7 farklı tutkal varyasyonundan her bir varyasyon için 2 farklı yoğunluk (300 kg/m³ ve 400 kg/m³) ve 2 farklı kalınlık (20 mm ve 30 mm) olmak üzere 3 tekrarlı olacak şekilde yapılmıştır. Tüm varyasyonlar için üretilen toplam levha sayısı 156 adettir.

Tablo 2.5: Kabuk izolasyon levha üretiminde kullanılan tutkal varyasyonları

Levha Grupları	ÜF Tutkalı	P-MDI Tutkalı	Toplam tutkal kullanım oranı	Levha sayısı
A	%3	%1	%4	4 (3 tekrar)=12
		%2	%5	4 (3 tekrar)=12
		%3	%6	4 (3 tekrar)=12
B	%5	%1	%6	4 (3 tekrar)=12
		%2	%7	4 (3 tekrar)=12
		%3	%8	4 (3 tekrar)=12
C	%7	%1	%8	4 (3 tekrar)=12
		%2	%9	4 (3 tekrar)=12
		%3	%10	4 (3 tekrar)=12
D (Kontrol 1)	%8	%0	%8	4 (3 tekrar)=12
E (Kontrol 2)	%10	%0	%10	4 (3 tekrar)=12
F (Kontrol 3)	%0	%3	%3	4 (3 tekrar)=12
G (Kontrol 4)	%0	%4	%4	4 (3 tekrar)=12

2.7.3 Tutkallama İşlemi ve Levha Taslağının Hazırlanması

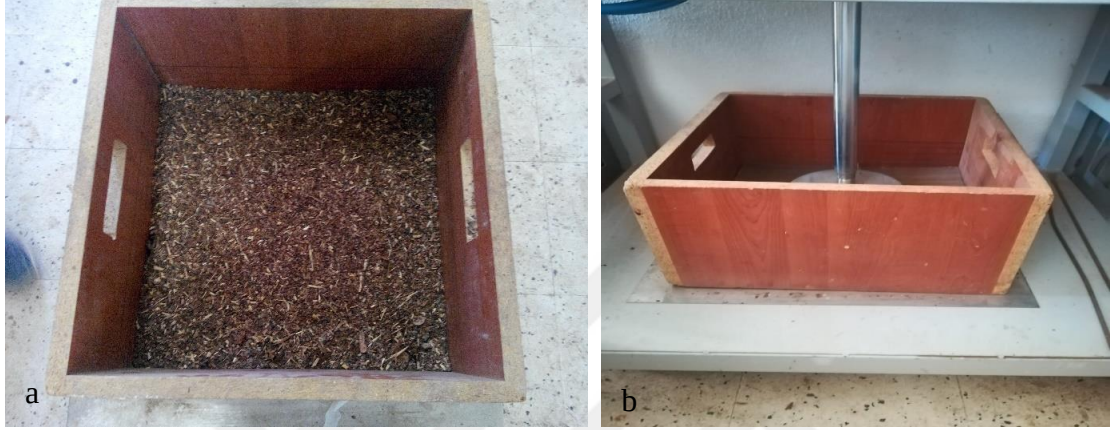
Kurutularak elenmiş kabuk yongaları laboratuvarımızda bulunan 110 litrelik mikser kullanılarak yüzey tabakaları ile orta tabakalar ayrı ayrı olmak üzere tutkallama işlemine tabi tutulmuştur (Şekil 2.12).



Şekil 2.12: Kabuk yongaların tutkallama işlemi

Üretimde tam kuru yonga ağırlığına oranla %3, %5 ve %7 ÜF tutkalı ve %1, %2 ve %3 oranlarında P-MDI tutkallarının karışımları ile tek başına %8 ve %10 ÜF, %3 ve %4 P-MDI tutkalları kullanılmıştır. Çalışmada 400 mm×400 mm×20 mm ve 400 mm×400 mm×30 mm

boyutlarında ve 300 kg/m^3 ve 400 kg/m^3 hedeflenen yoğunluklarda deney levhaları üretilmiştir. Üretimde levha kalınlık ve yoğunluklarına ve toplam kuru yonga ağırlıklarına göre hesaplanan orta ve yüzey tabaka yonga miktarları belirlenerek serme işlemi yapılmıştır. Deney levhaları $400 \text{ mm} \times 400 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$ boyutlarındaki ahşap şekillendirme kalıbı kullanılarak levha taslakları hazırlanmış ve ön presleme işlemine tabi tutulmuştur (Şekil 2.13a ve 2.13b).



Şekil 2.13: Kabuk levha taslak oluşumu (a) ve ön presleme (b)

2.7.4 Sıcak Presleme

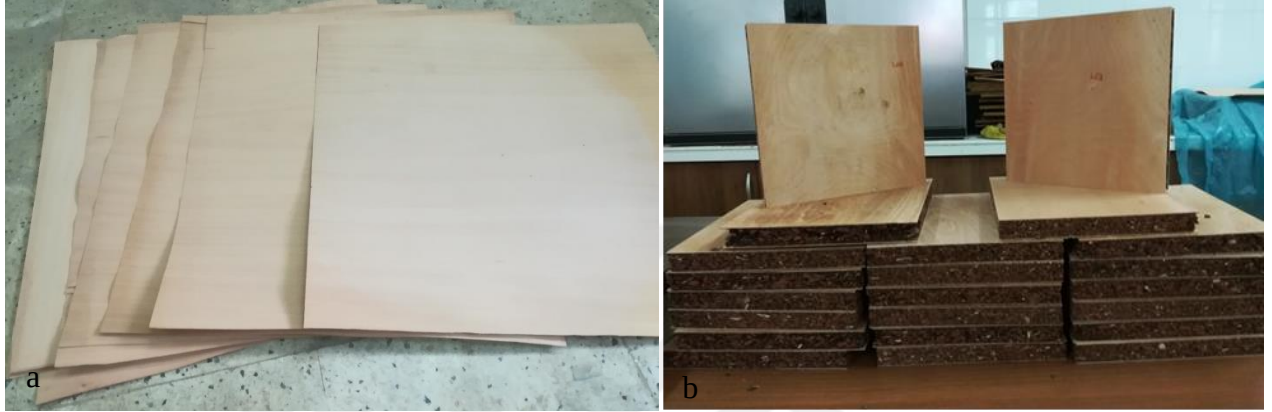
Levha taslağının prese taşınması için $500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm} \times 1,5 \text{ mm}$ boyutlarında 2 adet parlak yüzeyli sac kullanılmıştır. Öncelikle parlak sac bir tabla üzerine konularak üzerine şekillendirme kalıbı yerleştirilmiş, kalıp içerisine tutkallı ince kabuk yongalarının %20'si alt tabakaya %60'ı orta tabakaya ve yine %20'si üst tabakaya serilerek levha taslağı oluşturulmuştur. Üzerine diğer parlak sac ve bu iki sac arasına kalınlık çitaları konularak sıcak presleme işlemine tabi tutulmuştur (Şekil 2.14). Presleme işleminde sıcaklık $180 \pm 5^\circ\text{C}$, pres basıncı ise 160 ± 5 bar olarak uygulanmıştır, Pres süresi ise 20 mm levhalar için 4 dakika, 30 mm levhalar için ise 6 dakika olarak uygulanmıştır.



Şekil 2.14: Sıcak presleme işlemi

2.7.5 Yüzey Kaplama İşlemleri

Üretilen levha yüzeyleri ahşap kayın kaplamalar ile kaplanmıştır. Ahşap kaplamalar ortalama 1,75 mm kalınlığında olup, piyasadan hazır olarak temin edilmiştir. Kaplamalar levha yüzeylerine P-MDI katkılı ÜF tutkalı ile (üretimde kullanılan şartlarda) $110 \pm 5 \text{ g/m}^2$ olacak şekilde uygulanmıştır (Şekil 2.15a ve 2.15b).



Şekil 2.15: Kaplama malzemesi (a) ve yüzeyleri kaplanmış levhalar (b)

2.7.6 Fiziksel ve Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi

Üretilen deney levhalarının fiziksel, mekanik özellikleri ile formaldehit emisyonu Tablo 2.6’da verilen standartlar kullanılarak belirlenmiştir.

Tablo 2.6: Levhaların fiziksel ve mekanik özellikleri için standart test metotları

Deney numunelerinin hazırlanması	TS EN 326
Özgül kütle tayini	TS EN 323
Rutubet miktarı tayini	TS EN 322
Kalınlığına şişme ve su alma	TS EN 317/ ASTM D1037
Eğilme direnci	TS EN 310
Eğilmede elastikiyet modülü direnci	TS EN 310
Levha yüzeyine dik yönde çekme direnci	TS EN 319
Formaldehit Emisyonu	TS 4894 EN 120

Fiziksel ve mekanik testler Bartın Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği bölümü laboratuvarlarında yapılmıştır. Şekil 2.16’da fiziksel ve mekanik özelliklerin belirlenmesi için hazırlanan deney numuneleri görülmektedir.



Şekil 2.16: Fiziksel ve mekanik testler için hazırlanan numuneler

2.7.7 Isı İletkenlik Katsayısının Belirlenmesi

Isı iletkenlik katsayısı ölçümleri KTÜ ve KSÜ Orman Endüstri Mühendisliği bölümü laboratuvarlarında yapılmıştır. Isı iletim katsayılarının belirlenmesinde Lasercomp Fox-314 ısı iletkenlik ölçüm cihazı (Şekil 2.17a) kullanılmış olup, izolasyon levhaların ısı iletkenlik katsayısı değerleri ASTM C 518 & ISO 8301 (2004) standardına göre belirlenmiştir. Ölçüm yapılan levhaların ebatları 300x300xlevha kalınlığı (mm)' dir (Şekil 2.17b).



Şekil 2.17: Lasercomp Fox-314 ısı iletkenlik ölçüm cihazı (a), deney numuneleri (b)

2.7.8 Ses İletim Kayıplarının Belirlenmesi

Ses iletim kaybı ölçümleri “ASTM E2611 – 09 Transfer Matris Yöntemine Dayanarak “Akustik Malzemelerin Normal Geliş Açısındaki Ses İletiminin Ölçülmesi için Standart Test Yöntemi” standardına uygun olarak empedans tüpü (Şekil 2.18) kullanılarak Dokuz Eylül

Üniversitesi (D.E.Ü) Makine Mühendisliği Bölümü, titreşim ve ses laboratuvarında hizmet alımı yoluyla yaptırılmıştır. Ses iletim deneylerinde kullanılan her parametrenin etkisini belirleyecek şekilde numuneler seçilmiştir. Bu amaçla yüzey kaplaması, yoğunluk, kalınlık ve belirli oranlardaki tutkal karışımının etkisini belirlemek hedeflenmiştir. Elde edilen veriler karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 2.18: Empedans tüpü

Ölçümler 1/3 oktav band merkez frekanslarında 80-1000 Hz aralığı için üç adet 126 mm çaplı numune, 1000-5000 Hz frekans aralığı için üç adet 65 mm çaplı numune kullanılarak gerçekleştirilmiştir. (Şekil 2.19). Numune boyutlarının hassas olması önemli olduğundan deney örnekleri CNC makinasında hazırlanmıştır. Deney sırasında ortalama oda sıcaklığı 24,5 °C, nem miktarı ise %45 olarak ölçülmüştür.



Şekil 2.19: Ses iletim kaybı deney örnekleri

2.7.9 Yanma Özelliklerinin Belirlenmesi

Vermikülit ilavesinin yanma özellikleri üzerine etkisini belirlemek amacıyla ilgili levha gruplarına ASTM- E69 yanma deneyi ve TGA analizi uygulanmıştır.

2.7.9.1 ASTM-E69 Yanma Deneyi

Deney numunelerinin yanma dayanım özellikleri ASTM-E69 (2015) standardına göre belirlenmiştir (Özdemir, 2012). Deney öncesinde numuneler $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklık ve $\%65\pm 5$ bağıl nem şartlarında kondisyonlama işlemine tabi tutulmuştur. $19\text{ mm}\times 1016\text{ mm}\times 20\text{ mm}$ (genişlik $\times$ uzunluk $\times$ levha kalınlığı) boyutlarındaki numuneler yanma bacasının üst kısmından aşağı doğru sarkıtılarak deney gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneği (Şekil 2.20) alev yüksekliği 25 cm, sıcaklık 1000°C 'yi geçmeyecek şekilde hazırlanmış olup, her 30 saniyede bir ağırlık kaybı, sıcaklık değişimi ve O_2 , CO ve NO gazlarının ölçümü kaydedilmiştir. Deney süresi AKY (4dk.) ve KKY (6dk.) olmak üzere toplam 10 dk. olarak belirlenmiştir. Yanma dayanım deneyi Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.20 Yanma deney düzeneği

2.7.9.2 TGA Analizi

Vermikülit katkılı levhaların sıcaklık değişimine bağlı kütle kayıpları TGA analizi ile incelenmiştir. Analiz Bartın Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında yapılmıştır. TGA analizi $5\pm 0,2\text{ mg}$ 'lık numuneler üzerinden 20 ml/dk akış hızıyla nitrojen altında 10°C/dk ısıtma hızında 25°C 'den başlayıp 800°C 'ye kadar gerçekleştirilmiştir.

2.7.10 Kabuk Odun Yongası Karışımı Levha Üretimi

Farklı ağırlıklandırma oranlarına göre yapılan değerlendirmeler sonucunda %7ÜF+%3P-MDI tutkal varyasyonunun en uygun sonuçları verdiği belirlenmiştir. Belirlenen bu tutkal varyasyonu ile tez çalışmasında kullanılan üretim şartlarında ve aynı hammadde grubu ile farklı oranlarda kabuk-odun yongası karışımı kullanılarak 20 mm kalınlık ve 300 kg/m³ hedeflenen yoğunlukta levha üretimi yapılmış, elde edilen levhaların fiziksel özelliklerinden yoğunluk, 2 ve 24 saatlik TS ve WA ile mekanik özelliklerinden BS, MOE ve IB direnç değerleri belirlenmiştir. Ayrıca levhaların ısı iletim katsayısı ölçümleri yapılarak, ısı direnç değerleri hesaplanmış ve ısı yalıtım özelliği de incelenmiştir. Tablo 2.7’de levha üretiminde kullanılan odun kabuk karışım varyasyonları görülmektedir.

Tablo 2.7: Odun kabuk karışımı deney varyasyonları

Deney grubu	Kabuk yonga oranı (%)	Odun yonga oranı (%)	Levha sayısı
Kabuk kontrol	100	0	3
Odun-Yonga Kontrol	0	100	3
%25K+%75Y	25	75	3
%50K+%50Y	50	50	3
%75K+%25Y	75	25	3

K: Kabuk, Y: Yonga

2.7.11 Vermikülit Katkılı Levha Üretimi

Levhaların yanma özelliklerini iyileştirmek için farklı oranlarda vermikülit ilavesi yapılarak en iyi tutkal varyasyonu (%7ÜF+%3P-MDI) ile tez çalışmasında kullanılan üretim şartlarında ve aynı hammadde grubu ile 20 mm kalınlık ve 300kg/m³ hedeflenen yoğunlukta levha üretimi yapılmıştır. Levha üretiminde vermikülit ilavesi belirlenen oranlarda tutkal karışımı içerisine karıştırılarak uygulanmıştır. Üretilen levhaların fiziksel özelliklerinden yoğunluk, 2 ve 24 saatlik TS ve WA özellikleri ile mekanik özelliklerinden BS, MOE ve IB direnç değerleri belirlenmiştir. Ayrıca TGA analizi, ASTM E-69 yanma testi yapılmış, yalıtım özelliğini incelemek için de ısı iletim katsayıları ölçülerek ısı direnç değerleri hesaplanmıştır. Tablo 2.8’de deney varyasyonlarına ilişkin bilgiler görülmektedir.

Tablo 2.8: Vermikülit katkılı deney varyasyonları

Deney grubu	Vermikülit oranı (%)	Levha sayısı
%0 V	0	3
%5 V	5	3
%10 V	10	3
%15 V	15	3
%0 V (Odun yongası)	0	3

2.7.12 Formaldehit Emisyonunun Belirlenmesi

İzolasyon levha gruplarından seçilmiş varyasyonların formaldehit emisyonları TS 4894 EN 120 (1999) perforatör yöntemine ile belirlenmiştir. Bu yöntem ekstraksiyon ile levhadaki serbest formaldehitin suya geçmesi esasına dayanmakta olup, ekstraksiyon işlemi tolüen içerisinde kaynatma yapılmaktadır. Deneye başlamadan önce yaklaşık 23 ± 1 °C ve %40 bağıl nem şartlarında kondisyonlanmış, 100 g-120 g ağırlıkta ve 25 mm×25 mm boyutlarında deney numunesi perforatör cihazının cam balonu içine konularak üzerine 600 ml tolüen ilave edilmiştir. Ekstraksiyon süresi sonunda perforatör içindeki formaldehit su karışımı saf su ile 2000 ml tamamlanarak 3 ml numune alınmış ve ölçüm kiti ile karıştırılmıştır. 10dk'lık reaksiyon süresinden sonra spektrofotometre ölçümü yapılarak Eşitlik 1 yardımıyla formaldehit emisyonu hesaplanmıştır.

$$F.E=2 \cdot X_r / m_0 \times 100 \quad (1)$$

Burada;

F.E: Formaldehit emisyonu (mg/100g)

X_r : Cihazda okunan değer

m_0 : Tam kuru ağırlık

2.7.13 İstatistiksel Değerlendirme ve En iyi Levha Grubunun Belirlenmesi

Fiziksel ve mekanik özelliklere ait veriler SPSS programı kullanılarak istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Tek yönlü varyans analizi ile %95 güven aralığında gruplar arasında fark olup olmadığı tespit edilmiş, farklı gruplar DUNCAN testi ile belirlenmiştir. Levha yoğunluğunun ısı iletim katsayısı üzerine etkisi ise regresyon analizi ile değerlendirilmiştir.

Deney varyasyonları içerisinde en iyi sonuçları veren levha grubu farklı kriterler temel alınarak çok kriterli karar verme yöntemlerinden SAW (Simple Additive Weighting) yöntemi ile tespit edilmiştir. SAW yöntemi, ağırlıklı toplam model olarak da bilinmektedir. Basit bir method olması nedeniyle çok kriterli karar verme problemlerinde sıkça uygulanan bir yöntemdir. Isı iletim katsayısı ile diğer (fiziksel-mekanik) özelliklerin ağırlıklandırılması sırası ile %75-%25 ve %50-%50 olmak üzere iki farklı oranda değerlendirilmiştir. Kabuk izolasyon levhasında yalıtım özelliği daha önemli olduğu için ısı iletim katsayısı ağırlıklandırma oranı, fiziksel ve mekanik özelliklere göre daha yüksek olarak belirlenmiştir.



3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Karaçam Kabuğunun Kimyasal Analizi

Karaçam (*Pinus nigra* Arnold.) ağaç kabuklarının kimyasal analizine ilişkin bulgular Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1: Karaçam kabuğunun kimyasal analizine ilişkin bulgular

Bileşenler ve Çözünürlükler	Sonuçlar
Holoselüloz (%)	51,23±0,45
α – selüloz (%)	32,60±1,13
Lignin (%)	38,00*
Kül (%)	6,58±0,56
Metanol-Su (%)	5,93±0,13
%1’lik NaOH (%)	35,22±0,68
Soğuk su (%)	3,46±0,08
Sıcak su (%)	6,95±0,19
pH	5,86±0,03
*Metanol-su ekstraksiyonu ve %1’lik NaOH uygulanmış örnek üzerinden Klason lignini.	

Karaçam kabuk bileşenlerinden holoselüloz %51,23, lignin ise %38 olarak bulunmuştur. İğne yapraklı ağaçların kabuklarındaki lignin miktarının %40-55 arasında olduğu belirtilmektedir (Harkin ve Rowe, 1971). Ayrıca yapılan bazı çalışmalarda farklı çam türlerinin kabuklarındaki lignin miktarları karaçamda %48,07, sarıçamda %49,20 (Usta, 1993), karaçam iç ve dış kabuk sırası ile %31,5 ve %34,1 (Hafizoğlu ve Usta, 2005), kızılçam %17,83 (Durmaz vd., 2016), holoselüloz miktarları ise karaçam, sarıçam ve kızılçamda sırası ile %46,32, %43,70 ve %56,72, olarak bulunmuştur (Usta, 1993). Kül miktarı %6,58 olarak tespit edilmiş olup, yapılan farklı çalışmalara kıyasla daha yüksek olduğu anlaşılmıştır. Kül miktarının sarıçamda %4,6 (Hamad vd., 2019), karaçam iç ve dış kabukta sırası ile %2,2 ve %3,3 (Hafizoğlu ve Usta, 2005) olarak tespit edildiği belirtilmiştir. İncelenen kabuk örneğinin ağaçtan alındığı kısım, yetiştirme yeri ve yaşı, farklı kimyasal maddelerin yapısında bulunması gibi etkenlerin, kabuğun analizini ve elde edilecek sonuçları etkileyebileceği belirtilmektedir (Sjöström, 1981; Hafizoğlu, 1982; Fengel ve Wegener, 1984). Ayrıca kül miktarının yüksek bulunmasında toprak zeminden toplanarak temin edilen atık kabuklarda kum vb. yabancı maddelerin bulunmasının etkili olabileceği düşünülmektedir.

Kabuğun sahip olduğu yalıtım, hidrofobiklik, visko-elastisite, çok yönlülük gibi özelliklerinin yanı sıra geleneksel malzemelere kıyasla umut verici alternatif bir yapı ve yalıtım malzemesi olarak değerlendirilmesi süberin bileşeninden kaynaklandığı belirtilmiştir. Ancak yapısal kullanımlar için biyo-yalıtım uygulamalarında veya bu tür biyopolimerlerin diğer uygulamalarında ekstraktiflerin ve süberinin kullanımına ilişkin yeterli bilgi olmadığı vurgulanmıştır (Giannotas, 2021). Buna rağmen kabuk ve ahşabın yalıtım performansının bazı kimyasal işlemlerle iyileştirilebileceği belirtilmiştir. Yapılan bir çalışmada asit delignifikasyonu kullanılarak ağaç kabuğu kütlelerinin %44 azaltılması ile ısı iletkenlik katsayısının da %24'e kadar azalabildiği sonucuna varılmıştır (Vay vd., 2021).

3.2 Levhaların Fiziksel Özellikleri

Deney levhalarının fiziksel özelliklerinden rutubet, kalınlık, yoğunluk ve su alma-kalınlığına şişme özelliklerine ilişkin bulgular bu bölümde irdelenmiştir. 30 mm kalınlık için %3 P-MDI tutkalı ile levha üretimi gerçekleştirilmediğinden ilgili tablolarda F levha grubu (%3 P-MDI) yer almamaktadır.

3.2.1 Rutubet Değerleri

20 ve 30 mm kalınlıkta üretilmesi hedeflenen ham levha gruplarının ortalama denge rutubet değerleri Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2: Deney levhalarının üretim sonrası ortalama rutubet değerleri

Levha Grupları	Kalınlık	ÜF	P-MDI	Toplam tutkal	Ortalama Rutubet (%)
A	20 mm	%3	%1	%4	4,58
			%2	%5	4,73
			%3	%6	5,44
B	20 mm	%5	%1	%6	5,00
			%2	%7	5,31
			%3	%8	4,79
C	20 mm	%7	%1	%8	5,34
			%2	%9	4,71
			%3	%10	5,15
D (Kontrol 1)	20 mm	%8	%0	%8	5,31
E (Kontrol 2)		%10	%0	%10	6,00

Tablo 3.2: (devam ediyor)

F (Kontrol 3)		%0	%3	%3	5,11
G (Kontrol 4)		%0	%4	%4	4,79
A	%3		%1	%4	5,48
			%2	%5	5,70
			%3	%6	5,78
B	30 mm	%5	%1	%6	5,88
			%2	%7	5,84
			%3	%8	5,87
C	%7		%1	%8	6,12
			%2	%9	6,09
			%3	%10	6,40
D (Kontrol 1)		%8	%0	%8	6,02
E (Kontrol 2)		%10	%0	%10	7,41
G (Kontrol 4)		%0	%4	%4	5,06

Tablo 3.2 incelendiğinde denge rutubetlerinin %4 ile %7 arasında değiştiği görülmektedir. Benzer metotla üretilen yonga levhalarda aranan standart rutubet değerinin %5-%13 olması istenmektedir (TS EN 312, 2012). Elde edilen sonuçların levhaların kullanım yerleri için gerekli olan şartlara uygun olduğu söylenebilir. Tez çalışmasında elde edilen sonuçlara benzer şekilde Ninikas vd. (2021) kabuk levhaların rutubet içeriklerinin %5,40-%6,15 arasında değerler aldığını belirtmiştir. Yapılan farklı çalışmalardan kabuk izolasyon levhaların rutubet içeriklerinin %7,29 ile %15,6 arasında değerler aldığı anlaşılmıştır (Kain vd., 2014; Pásztor vd., 2019; Tsalagkas vd., 2019; Tudor vd., 2020). Kabuk levhaların 20 °C ve %65 bağıl nem şartlarındaki nem içeriğinin, odun levhalara göre %3 daha yüksek olabileceği belirtilmiştir (Kain vd., 2020). Farklı bir çalışmada ise tutkalların farklı absorplama özelliğine sahip olmasından dolayı levhaların ulaşacağı denge rutubeti üzerinde kullanılan tutkal türünün etkili olabileceği vurgulanmıştır (Tsalagkas vd., 2019).

3.2.2 Yoğunluk Değerleri

20 mm kalınlık ve 300 kg/m³ yoğunlukta üretilmesi hedeflenen ham ve kaplanmış levha gruplarının ortalama kalınlık ve yoğunluk değerleri Tablo 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.3: Deney levhalarının ortalama kalınlık ve yoğunlukları (20 mm-300 kg/m³)

Levha Grupları	ÜF	P-MDI	Toplam tutkal	Ham levha		Kaplanmış levha	
				Levha kalınlığı (mm)	Levha yoğunluğu (g/cm ³)	Levha kalınlığı (mm)	Levha yoğunluğu (g/cm ³)
A	%3	%1	%4	19,30	0,33	21,02	0,37
		%2	%5	19,34	0,32	21,38	0,38
		%3	%6	19,19	0,32	21,25	0,37
B	%5	%1	%6	19,10	0,34	21,32	0,39
		%2	%7	19,01	0,34	21,32	0,38
		%3	%8	18,98	0,33	21,51	0,39
C	%7	%1	%8	19,17	0,33	21,53	0,38
		%2	%9	18,95	0,33	21,47	0,39
		%3	%10	19,06	0,34	21,33	0,39
D (Kontrol 1)	%8	%0	%8	19,05	0,32	21,55	0,38
E (Kontrol 2)	%10	%0	%10	18,94	0,33	21,30	0,39
F (Kontrol 3)	%0	%3	%3	19,47	0,33	21,20	0,38
G (Kontrol 4)	%0	%4	%4	19,04	0,33	21,40	0,39

Tablo 3.3' e göre ortalama kalınlık ve yoğunluklarda hedeflenen miktarlardan sapmalar olduğu görülmekle birlikte elde edilen değerlerin yoğunluk ve kalınlık için standartta belirtilen tolerans sınırlarına uygun olduğu belirlenmiştir. Ham levhaların yüzeylerine uygulanan kaplama işlemi ile hem kalınlık hem de yoğunluk değerleri artmıştır. 20 mm kalınlık ve 400 kg/m³ yoğunlukta üretilmesi hedeflenen ham ve kaplanmış levha gruplarının ortalama kalınlık ve yoğunluk değerleri Tablo 3.4'te verilmiştir.

Tablo 3.4: Deney levhalarının ortalama kalınlık ve yoğunlukları (20 mm-400 kg/m³)

Levha Grupları	ÜF	P-MDI	Toplam tutkal	Ham levha		Kaplanmış levha	
				Levha kalınlığı (mm)	Levha yoğunluğu (g/cm ³)	Levha kalınlığı (mm)	Levha yoğunluğu (g/cm ³)
A	%3	%1	%4	19,21	0,44	21,65	0,48
		%2	%5	19,90	0,43	21,72	0,47
		%3	%6	19,65	0,44	21,84	0,49
B	%5	%1	%6	19,44	0,44	21,80	0,48
		%2	%7	19,34	0,43	21,70	0,47
		%3	%8	19,30	0,44	21,98	0,49
C	%7	%1	%8	19,22	0,44	21,83	0,47
		%2	%9	18,96	0,43	21,78	0,48
		%3	%10	19,05	0,44	21,63	0,47
D (Kontrol 1)	%8	%0	%8	19,38	0,42	21,72	0,46

Tablo 3.4: (devam ediyor)

E (Kontrol 2)	%10	%0	%10	19,13	0,43	21,80	0,47
F (Kontrol 3)	%0	%3	%3	19,26	0,42	21,52	0,47
G (Kontrol 4)	%0	%4	%4	19,46	0,44	21,91	0,46

Tablo 3.4 incelendiğinde yoğunluk değerlerinin hedeflenen üretim değerleri tolerans sınırlarına uygun olduğu, yüzeylerin kaplanmasıyla yoğunluk ve kalınlık değişiminin olağan bir artış gösterdiği anlaşılmıştır. 30 mm kalınlık ve 300 kg/m³ yoğunlukta üretilmesi hedeflenen ham ve kaplanmış levha gruplarının ortalama kalınlık ve yoğunluk değerleri Tablo 3.5'te verilmiştir.

Tablo 3.5: Deney levhalarının ortalama kalınlık ve yoğunlukları (30 mm-300 kg/m³)

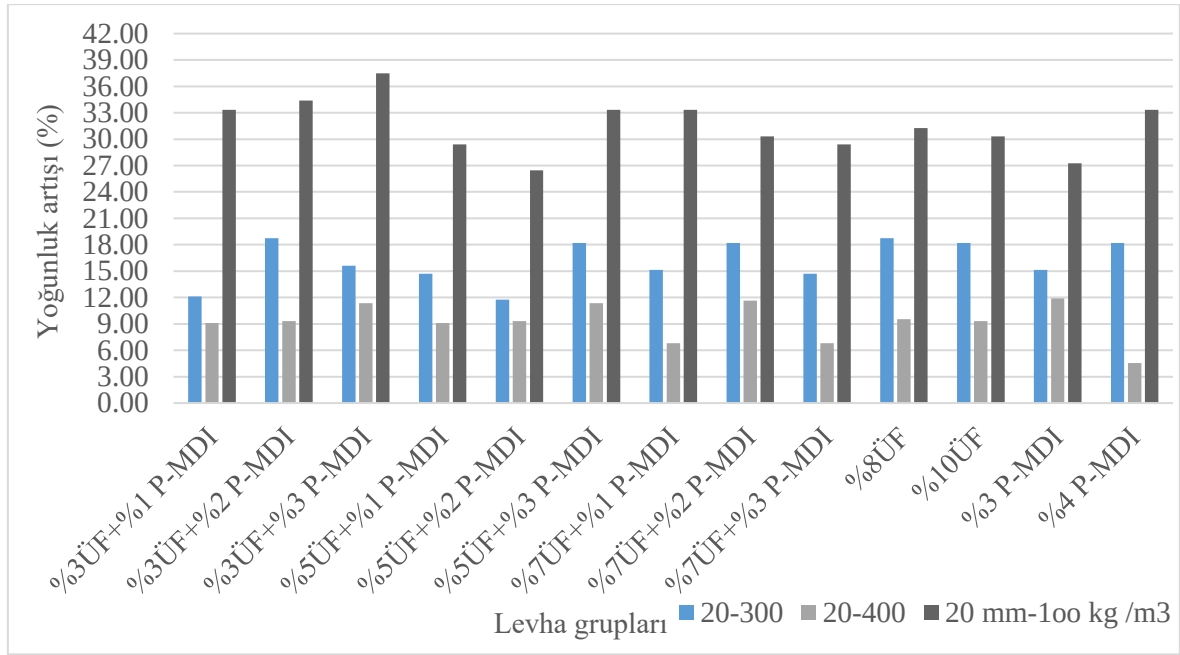
Levha Grupları	ÜF	P-MDI	Toplam tutkal	Ham levha		Kaplanmış levha	
				Levha kalınlığı (mm)	Levha yoğunluğu (g/cm ³)	Levha kalınlığı (mm)	Levha yoğunluğu (g/cm ³)
A	%3	%1	%4	28,50	0,34	31,50	0,36
		%2	%5	29,10	0,34	32,00	0,36
		%3	%6	28,57	0,34	31,96	0,36
B	%5	%1	%6	28,07	0,34	32,00	0,36
		%2	%7	28,44	0,34	31,87	0,35
		%3	%8	28,53	0,34	31,67	0,36
C	%7	%1	%8	28,46	0,34	31,38	0,35
		%2	%9	28,65	0,34	31,56	0,36
		%3	%10	28,00	0,33	31,55	0,35
D (Kontrol 1)	%8	%0	%8	29,22	0,34	31,44	0,36
E (Kontrol 2)	%10	%0	%10	28,00	0,33	30,76	0,35
G (Kontrol 4)	%0	%4	%4	29,50	0,33	31,94	0,35

Tablo 3.5 incelendiğinde ortalama kalınlık ve yoğunluklar için hedeflenen sonuçlarda standart sapma aralıklarında değişimler olduğu görülmektedir. Kaplanmış levhalardaki kalınlık ve yoğunluk değerlerindeki artış levhaların yüzeylerine yapılan kaplama işleminden kaynaklandığı anlaşılmaktadır. 30 mm kalınlık ve 400 kg/m³ yoğunlukta üretilmesi hedeflenen ham ve kaplanmış levha gruplarının ortalama kalınlık ve yoğunluk değerleri Tablo 3.6'da verilmiştir.

Tablo 3.6: Deney levhalarının ortalama kalınlık ve yoğunlukları (30 mm-400 kg/m³)

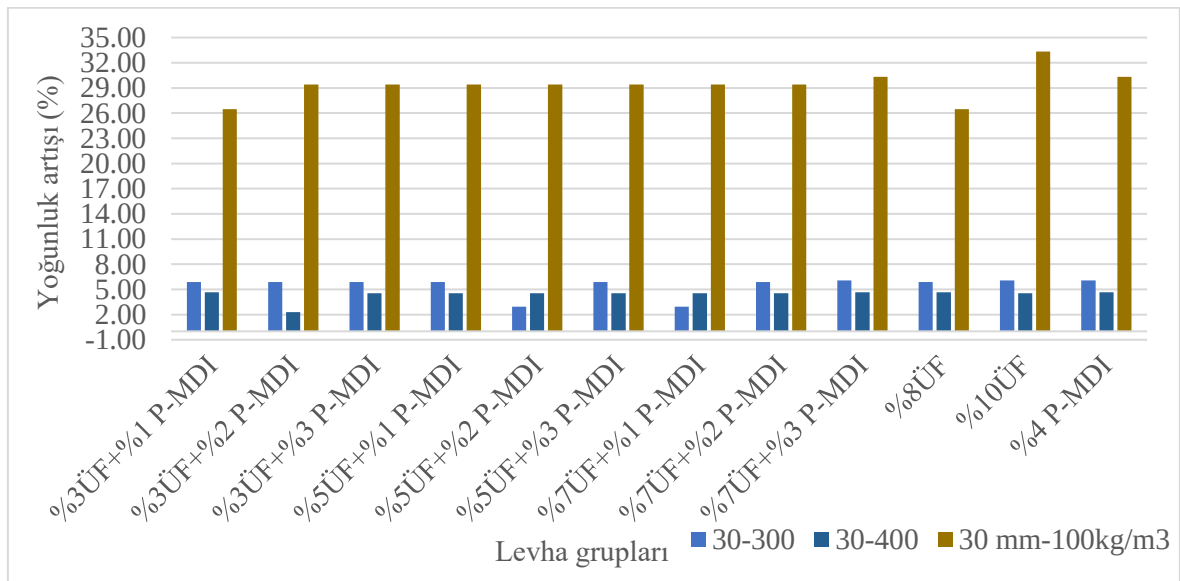
Levha Grupları	ÜF	P-MDI	Toplam tutkal	Ham levha		Kaplanmış levha	
				Levha kalınlığı (mm)	Levha yoğunluğu (g/cm ³)	Levha kalınlığı (mm)	Levha yoğunluğu (g/cm ³)
A	%3	%1	%4	29,20	0,43	32,50	0,45
		%2	%5	29,10	0,44	31,79	0,45
		%3	%6	28,95	0,44	32,10	0,46
B	%5	%1	%6	28,58	0,44	31,98	0,46
		%2	%7	28,80	0,44	32,30	0,46
		%3	%8	28,80	0,44	31,89	0,46
C	%7	%1	%8	28,50	0,44	31,28	0,46
		%2	%9	28,64	0,44	31,70	0,46
		%3	%10	28,43	0,43	31,64	0,45
D (Kontrol 1)	%8	%0	%8	28,56	0,43	31,52	0,45
E (Kontrol 2)	%10	%0	%10	28,17	0,44	31,16	0,46
G (Kontrol 4)	%0	%4	%4	28,84	0,43	32,01	0,45

Tablo 3.6’da görüldüğü gibi yoğunluk değerlerinin 300 kg/m³ hedeflenen yoğunluktaki levha özelliklerine benzer şekilde tolerans sınır değerlerine uygun olduğu ve yüzeylerin kaplanmasıyla kalınlık ve yoğunluk değerlerinde beklenen bir artış olduğu belirlenmiştir. Kalınlık ve yoğunluk verilerinde sırasıyla ortalama artış 20 mm-300 kg/m³ levha grubunda %12 ve %16, 20 mm-400 kg/m³ levha grubunda %13 ve %9, 30 mm-300 kg/m³ levha grubunda %11 ve %5, 30 mm-400 kg/m³ levha grubunda ise %11 ve %4 olarak gerçekleşmiştir. Bu artışlar incelendiğinde kalınlığın tüm levha grupları için yakın değerler aldığı ve ortalama artışın %11,75 olduğu, yoğunluktaki artışın ise yüksek levha yoğunluğu (400 kg/m³) ve kalınlığında (30 mm) daha az olduğu tespit edilmiş, ortalama değer ise %8,5 olarak gerçekleşmiştir. Şekil 3.1’de 20 mm kalınlık ve 300 kg/m³ ile 400 kg/m³ yoğunluklardaki levhalar için kaplama etkisi ve 100kg/m³’lük yoğunluk artışı ile levha yoğunluklarındaki yüzde artış gösterilmiştir. Şekil 3.1 incelendiğinde levhaların kaplanması ile meydana gelen yoğunluk artışının 300 kg/m³ yoğunluktaki levhalarda, 400 kg/m³ yoğunluğa göre daha fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca 100 kg/m³ yoğunluk artışı yüzeylerin kaplanmasına oranla daha fazla yoğunluk artışı sağlamıştır.



Şekil 3.1: Kaplama ve 100 kg/m³ yoğunluk artışının etkisi ile % yoğunluk değişimi (20 mm)

Şekil 3.2’de 30 mm kalınlık ve 300 kg/m³ ile 400 kg/m³ yoğunluklardaki levhalar için kaplama etkisi ve 100kg/m³’lük yoğunluk artışı ile levha yoğunluklarındaki yüzde artış gösterilmiştir. Şekil 4.2’ye göre 100kg/m³’lük yoğunluk artışı ile 20 mm kalınlıkta üretilen levha grubuna benzer oranlarda bir artış görülürken, kaplama etkisi ile % artışın daha sınırlı kaldığı anlaşılmaktadır. Bu durumda da 100kg/m³’lük yoğunluk artışı ve kaplama etkisi ile yoğunluk artışı arasındaki fark 20 mm kalınlığındaki levhalara göre daha fazla olmuştur.



Şekil 3.2: Kaplama etkisi ve 100 kg/m³ karşılık gelen yoğunluk artışları (30 mm)

Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde hedeflenen levha yoğunluklarından bir miktar sapma olduğu ve bu sapmanın en fazla %10 olduğu tespit edilmiştir. Yapılan bir çalışmada el ile yapılan ve yeterince homojen olmayan serme işlemi sonucunda hedeflenen levha yoğunluğundan %12 sapma olabileceği belirtilmiştir (Kain vd., 2014). Üretilen kabuk izolasyon levhalarının rutubet içerikleri, kalınlık ve yoğunluk verilerinin odun kompozit levhalarda aranan sınırlar içerisinde olduğu tespit edilmiştir (TS EN 312, 2012). Dolayısıyla bu özelliklerin odun kompozit levhalarda kuru şartlarda kullanılan genel amaçlı levhalar için aranan şartları karşıladığı anlaşılmıştır.

3.2.3 Su Alma ve Kalınlığına Şişme Değerleri

Levhaların su alma (WA) ve kalınlığına şişme (TS) özelliklerini belirlemek üzere 20 mm ve 30 mm kalınlığında, 300 kg/m³ ve 400 kg/m³ yoğunluklardaki numunelerin 2 saat ve 24 saatlik ölçümleri yapılmıştır. Tablo 3.7’de 20 mm kalınlık ve 300 kg/m³ yoğunlukta üretilen levhaların 2 ve 24 saatlik WA ve TS değerleri görülmektedir. Tablo 3.7 incelendiğinde en düşük 2 saat TS değeri %3,32 ile %7 ÜF+%2 P-MDI kullanımında, en düşük 24 saat TS değeri ise %5,16 ile %7 ÜF+%3 P-MDI kullanımında elde edilmiştir. Su alma değerleri incelendiğinde ise, en düşük 2 saat WA değeri %24,96 ile %7 ÜF+%3 P-MDI, en düşük 24 saat WA ise %59,61 ile %7 ÜF+%1 P-MDI kullanımında tespit edilmiştir.

Tablo 3.7: 20 mm-300 kg/m³ levhaların 2 ve 24 saatlik su alma ve kalınlığına şişme değerleri

Levha Grupları	ÜF	P-MDI	Toplam tutkal	2 Saat TS (%)	24 saat TS (%)	2 Saat WA (%)	24 Saat WA (%)
A	%3	%1	%4	4,43bcde	8,01de	42,88de	70,14bcde
		%2	%5	3,93abcd	6,86bc	32,19c	77,29ef
		%3	%6	5,66f	8,39e	39,47d	64,73abcd
B	%5	%1	%6	4,63cde	8,14e	31,38bc	71,48cde
		%2	%7	4,14abcd	6,89bcd	33,42c	82,50f
		%3	%8	3,49ab	6,07ab	34,33c	73,69def
C	%7	%1	%8	4,44bcde	6,55b	26,02ab	59,61a
		%2	%9	3,32a	7,91cde	26,49ab	63,75abc
		%3	%10	3,58abc	5,16a	24,96a	61,91ab
D (Kontrol 1)	%8	%0	%8	5,20ef	8,20e	49,65f	81,90f
E (Kontrol 2)	%10	%0	%10	4,80def	7,76cde	46,78ef	80,97f
F (Kontrol 3)	%0	%3	%3	3,99abcd	6,56b	29,63abc	70,00bcde
G (Kontrol 4)	%0	%4	%4	3,85abcd	6,58b	47,88ef	74,14ef

TS: Kalınlığına şişme miktarı, WA: Su alma miktarı; Aynı kolondaki aynı harfler istatistiksel olarak (p<0,05) anlamlı bir farklılığın olmadığını göstermektedir.

Tablo 3.8’de 20 mm kalınlık ve 400 kg/m³ yoğunlukta üretilen levhaların 2 ve 24 saatlik WA ve TS değerleri görülmektedir. Tablo 3.8 incelendiğinde en düşük 2 saat TS değeri %2,23 ile %4 P-MDI kullanımında, en düşük 24 saat TS değeri ise %6,41 ile %7 ÜF+%3 P-MDI kullanımında elde edilmiştir. En düşük 2 saat WA değeri %3 ÜF+%3 P-MDI kullanımında %11,04 olarak, en düşük 24 saat WA ise %7 ÜF+%2 P-MDI kullanımında %39,33 olarak tespit edilmiştir.

Tablo 3.8: 20 mm-400 kg/m³ levhaların 2 ve 24 saatlik su alma ve kalınlığına şişme değerleri

Levha Grupları	ÜF	P-MDI	Toplam tutkal	2 Saat TS (%)	24 saat TS (%)	2 Saat WA (%)	24 Saat WA (%)
A	%3	%1	%4	3,96cd	10,34f	14,36bcd	49,48bc
		%2	%5	2,94ab	7,52abc	16,08de	50,89bc
		%3	%6	2,63ab	7,65bcd	11,04a	39,92ab
B	%5	%1	%6	3,29bc	9,29ef	12,91abc	50,93bc
		%2	%7	2,77ab	7,58abc	16,67de	55,20c
		%3	%8	2,48ab	6,81ab	15,31cde	45,98abc
C	%7	%1	%8	3,12ab	8,90de	17,15e	54,63c
		%2	%9	2,57ab	7,35abc	12,24ab	39,33a
		%3	%10	2,97ab	6,41a	11,81a	40,35a
D (Kontrol 1)	%8	%0	%8	4,98e	9,20e	28,89g	72,01d
E (Kontrol 2)	%10	%0	%10	4,26de	8,42cde	26,58f	70,95d
F (Kontrol 3)	%0	%3	%3	2,91ab	7,36abc	15,77de	46,35abc
G (Kontrol 4)	%0	%4	%4	2,23a	6,54a	14,50bcd	51,93bc

TS: Kalınlığına şişme miktarı, WA: Su alma miktarı; Aynı kolondaki aynı harfler istatistiksel olarak (p<0,05) anlamlı bir farklılık olmadığını göstermektedir.

Tablo 3.9’da 30 mm kalınlık ve 300 kg/m³ yoğunlukta üretilen levhaların 2 ve 24 saatlik WA ve TS değerleri görülmektedir. Tablo 3.9 incelendiğinde en düşük 2 ve 24 saat TS değerleri sırası ile %3,87 ve %5,37 olarak %7 ÜF+%3 P-MDI kullanımında, en düşük 2 ve 24 saat WA değerleri ise sırasıyla %35,07 ve %60,08 olarak %4 P-MDI kullanımında elde edilmiştir.

Tablo 3.9: 30 mm-300 kg/m³ levhaların 2 ve 24 saatlik su alma ve kalınlığına şişme değerleri.

Levha Grupları	ÜF	P-MDI	Toplam tutkal	2 Saat TS (%)	24 saat TS (%)	2 Saat WA (%)	24 Saat WA (%)
A	%3	%1	%4	6,49ef	8,78e	43,56cde	65,05ab
		%2	%5	5,45cd	9,03e	37,11abc	72,50bc
		%3	%6	5,84de	6,87b	36,02ab	67,77ab
B	%5	%1	%6	5,93de	7,52c	47,97def	66,50ab
		%2	%7	5,21bcd	6,70b	49,93efg	71,81bc
		%3	%8	4,85bc	6,69b	36,02ab	60,18a
C	%7	%1	%8	4,83bc	6,68b	48,15def	76,76cd
		%2	%9	4,49ab	5,91a	51,30fg	85,68e
		%3	%10	3,87a	5,37a	42,47bcd	71,03bc
D (Kontrol 1)	%8	%0	%8	6,75f	8,15d	55,32g	89,11e
E (Kontrol 2)	%10	%0	%10	6,42ef	7,53c	45,90def	82,54de
G (Kontrol 4)	%0	%4	%4	4,56ab	7,20bc	35,07a	60,08a

TS: Kalınlığına şişme miktarı, WA: Su alma miktarı; Aynı kolondaki aynı harfler istatistiksel olarak (p<0,05) anlamlı bir farklılığın olmadığını göstermektedir.

Tablo 3.10’da 30 mm kalınlık ve 400 kg/m³ yoğunlukta üretilen levhaların 2 ve 24 saatlik WA ve TS değerleri görülmektedir. Tablo 3.10 incelendiğinde en düşük 2 saat TS değeri %3,27 ile %3 ÜF+%3 P-MDI, en düşük 24 saat TS değeri ise %5,68 ile %7 ÜF+%2 P-MDI kullanımında elde edilmiştir. En düşük 2 saat WA değeri %19,73 ile %3 ÜF+%2 P-MDI kullanımında gerçekleşirken, en düşük 24 saat WA ise %3 ÜF+%3 P-MDI kullanımında %39,95 olarak tespit edilmiştir.

Tablo 3.10: 30 mm-400 kg/m³ levhaların 2 ve 24 saatlik su alma ve kalınlığına şişme değerleri

Levha Grupları	ÜF	P-MDI	Toplam tutkal	2 Saat TS (%)	24 saat TS (%)	2 Saat WA (%)	24 Saat WA (%)
A	%3	%1	%4	4,10bcde	8,90d	25,48abc	56,49e
		%2	%5	4,13bcde	7,60c	19,73a	58,93ef
		%3	%6	3,27a	6,75b	21,45ab	39,95a
B	%5	%1	%6	3,90abcd	7,27bc	27,18bc	55,67de
		%2	%7	4,83ef	6,84b	26,23abc	53,57cde
		%3	%8	4,15bcde	7,43c	24,09abc	42,09ab
C	%7	%1	%8	4,69def	7,58c	30,34c	64,81f
		%2	%9	3,80abc	5,68a	25,32abc	52,12cde
		%3	%10	3,35ab	5,77a	23,62abc	47,89bc

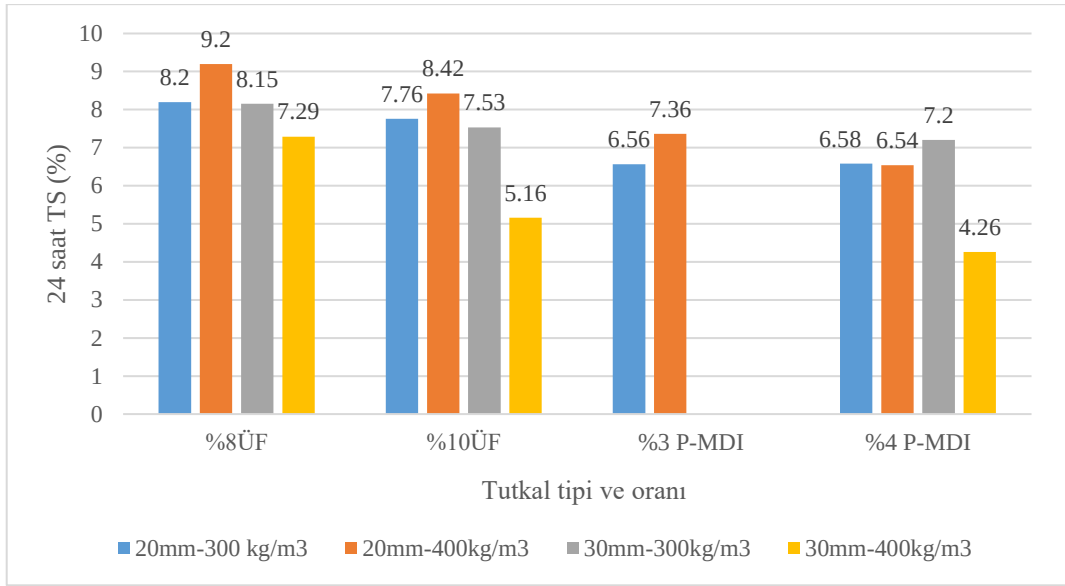
Tablo 3.10: (devam ediyor)

D (Kontrol 1)	%8	%0	%8	7,29g	8,50d	55,32d	86,92g
E (Kontrol 2)	%10	%0	%10	5,16f	6,86b	63,76e	82,73g
G (Kontrol 4)	%0	%4	%4	4,26de	7,11bc	29,96c	48,86bcd

TS: Kalınlığına şişme miktarı, WA: Su alma miktarı; Aynı kolondaki aynı harfler istatistiksel olarak ($p<0,05$) anlamlı bir farklılığın olmadığını göstermektedir.

Genel olarak ahşap esaslı levhaların fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde etkili olan faktörler tutkal, hammadde türü, üretim parametreleri ve ilave katkı maddeleri olarak sıralanabilir. Diğer özelliklerle beraber WA ve TS özellikleri de bu faktörler tarafından etkilenmektedir. Tutkal, ahşap esaslı levhaların üretiminde malzemenin kullanım yerindeki performansı üzerinde etkili olan faktörlerin başında gelmektedir. Kullanılan tutkalın türü, miktarı, katı madde oranı, pH ve viskozite gibi özellikler ile ÜF gibi formaldehit esaslı tutkallarda üre-formaldehit mol oranı gibi değişkenler tutkalın dolaylı olarak da levha ürününün göstereceği performansı etkilemektedir. Hammadde türü de özellikler üzerinde etkili olup, genel olarak lignoselülozik yapıdaki hammaddeler suyu sever özelliktedir. Ancak bazı türlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri sebebiyle normal oduna göre su ile alışverişleri daha sınırlı olabilir. Özellikler üzerinde tutkal ve hammadde kaynaklı faktörlerin yanında üretim faktörleri de etkilidir. Özellikle sıcak pres parametreleri tutkalın yeterli ve doğru zamanda sertleşip istenilen özellikte bağların oluşması bakımından önemlidir. Bunlara ilaveten levhaların boyutsal özelliklerini arttırmak amacıyla üretimde su itici ilave katkı maddeleri kullanılabilir. Tez çalışmasında ilave herhangi bir su itici kimyasal kullanılmamış deney levhaları sadece belirtilen tutkal varyasyonları ile yapılmıştır.

Su alma ve kalınlığına şişme özellikleri üzerinde kullanılan tutkal tipi önemli olup, tez çalışmasında P-MDI tutkalının ÜF tutkalına göre daha iyi sonuçlar verdiği anlaşılmıştır. Özellikle 2 saatlik su alma ve kalınlığına şişmenin, P-MDI tutkalı kullanılması ve kabuğun kimyasal özelliği nedeniyle beklenenden daha uygun olduğu belirlenmiştir. Şekil 3.3'te 20 mm ve 30 mm kalınlık ile 300 kg/m³ ve 400 kg/m³ yoğunluklarda farklı tutkal tipi ve oranlarında üretilen deney levhalarının 24 saat TS değerleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde aynı tutkal tiplerinin birbirine yakın değerler verdiği, P-MDI tutkalının ÜF tutkalına göre daha etkili olduğu görülmüştür. Ayrıca 20 mm kalınlıkta yoğunluğun 300 kg/m³'ten, 400 kg/m³'e çıkması ile artan TS değerlerinin, aynı durumda 30 mm için azaldığı anlaşılmıştır. Benzer durum %4 P-MDI dışında kalınlığın 20 mm'den 30 mm'ye yükselmesi durumunda da gözlemlenmiştir.



Şekil 3.3: Tutkal tipi ve oranının 24 saat TS üzerine etkisi

Deney levhalarının WA ve TS değerleri incelendiğinde 20 mm kalınlığındaki levhalar için genel olarak hem 300 kg/m³ hem de 400 kg/m³ yoğunlukta toplam tutkal miktarının artışı ile WA ve TS değerlerinde azalma olduğu tespit edilmiştir. En etkili tutkal varyasyonlarının %7 ÜF'ye farklı oranlarda P-MDI ilavesi ve tek başına %4 P-MDI tutkalı olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca tüm varyasyonlar için 400 kg/m³ yoğunluktaki deney levhalarının 300 kg/m³ yoğunluktaki levhalara göre özellikle 2 ve 24 saatlik WA ve 2 saat TS için daha düşük değerler verdiği görülmüştür. Bu durum daha fazla kabuk hammaddesi ile daha fazla tutkal kullanılması ve yoğunluk artışı ile daha kompakt bir levha yüzeyi elde edilmesi ile açıklanabilir. 30 mm kalınlığındaki levhalarda da 20 mm kalınlığındaki levhalara benzer şekilde genel olarak artan toplam tutkal miktarı ile daha düşük WA ve TS değerleri elde edilmiştir. Ayrıca 20 mm levhalardaki gibi tüm varyasyonlar için 400 kg/m³ yoğunluktaki deney levhalarının 300 kg/m³ yoğunluktaki levhalara göre 2 ve 24 saatlik WA ve 2 saat TS için daha düşük değerler aldığı tespit edilmiştir. 30 mm kalınlıkta levha grupları için en etkili tutkal varyasyonları 300 kg/m³ yoğunluktaki levhalarda 2 ve 24 saat TS için %7 ÜF+3 P-MDI, 2 ve 24 saat WA için ise %4 P-MDI tutkalı olmuştur. 400 kg/m³ yoğunluktaki levhalarda ise 2 ve 24 saat WA ve 2 saat TS için %3 ÜF'ye farklı oranlarda P-MDI ilavesi, 24 saat TS için ise %7 ÜF+2 P-MDI tutkal kullanımı olmuştur. Kain vd. (2018a) çalışmasında 376 kg/m³ yoğunlukta ürettikleri kabuk izolasyon levhalarının 24 saatlik WA oranının %45,50 ve TS değerinin ise %5,28 olduğu belirtilmektedir. Tez çalışmasında ise en düşük 24 saatlik WA oranı %39,33, TS oranı ise %5,16 olarak tespit edilmiştir. Farklı çalışmalarda kabukla üretilmiş izolasyon levhalarının 24 saatlik TS oranının %15'in altında

olduğu belirtilmiştir (Schwemmer, 2010; Kain, 2016). Kain vd. (2014) ise 24 saat TS'yi %15 in altında tutabilmek için en az %15 oranında tutkal kullanımına gerek olduğunu belirtmiştir. TS EN 312 (2012) standardında ise 20 mm ile 32 mm arasındaki yonga levhaların 24 saatlik TS değerinin en fazla %13 olması istenmektedir. Çalışmada tüm varyasyonlar için elde edilen 24 saatlik TS değerleri %13'ün altında olup, standarttaki şartları sağlamaktadır. Bu durum iki farklı nedenle açıklanabilir. Bunlardan ilki hammadde olarak oduna göre higroskopitesi düşük ekstraktif içeriği yüksek kabuk kullanılması suya karşı itici bir etki göstermektedir. İkinci neden ise P-MDI tutkalının suya karşı etkili bir tutkal olmasıdır. MDI içerikli tutkalların hem malzeme yapısındaki rutubet hem de lignoselülozik malzemeyi oluşturan hidroksil gruplarıyla reaksiyona girerek sadece mekanik bir bağ değil aynı zamanda çapraz bağlı, rutubet karşı dayanıklı bir kimyasal bağ oluşturduğu belirtilmektedir (Rowell ve Ellis, 1981; Papadopoulos vd., 2012). Farklı ligoselülozik materyallerle üretilen kompozitlerde bağlayıcı olarak ÜF-P-MDI karışımlarının kullanılmasıyla suya karşı dirençte önemli artışlar olduğu vurgulanmıştır (Wittmann, 1983; Grigoriou, 2000; Mansouri, 2006; Dziurka ve Mirski, 2010). Deney levhalarında bazı gruplarda WA ve TS oranlarının kullanılan toplam tutkal oranına göre beklenenden yüksek çıktığı gözlemlenmiştir. Bu durumun levha yoğunluklarındaki farklılıklar, boşlukların boyut ve şekli, kabuk kalınlıkları, anatomik özellikler, kabuk yongaların yüzey alanı ve en-boy oranı ile açıklanabileceği belirtilmektedir (Tsalagkas vd., 2019). Ayrıca karışımı ve uygulaması yeterli olmayan ÜF-P-MDI karışımlarının stabil hale gelmemiş bağların varlığı sebebiyle beklenen özellikleri veremeyeceği belirtilmektedir (Wang vd., 2004). Yemele vd. (2008) ise çalışmasında TS ve WA değerlerinin kaba kabuk partikülleri kullanıldığında önemli ölçüde azaldığını vurgulamıştır. Ayrıca TS ve WA değerlerinin parafin, mum gibi su itici maddeler yardımıyla daha düşük değerler alabileceği de belirtilmektedir (Paulitsch ve Barbu, 2015).

3.3 Levhaların Mekanik Özellikleri

Deney levhalarının mekanik özelliklerinden eğilme direnci (BS), eğilmede elastikiyet modülü (MOE) ve yüzeye dik çekme direnci (IB) değerlerine ilişkin bulgular bu bölümde irdelenmiştir. F kontrol grubu (%3 P-MDI) tutkalı ile 30 mm kalınlıkta levha üretiminde farklı pres koşullarında denemeler yapılmasına rağmen uygun levha oluşmadığından ilgili direnç değerlerine ait tablolarda bu levha grubuna ilişkin değerler yer almamaktadır. Tablolarda bulunan istatistik göstergelere ilişkin sonuçlar ham ve kaplanmış levhalar için ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

3.3.1 Eğilme Direnci ve Eğilmede Elastikiyet Modülü

20 mm kalınlık ve 300 kg/m³ yoğunlukta üretilmesi hedeflenen ham ve kaplanmış levha gruplarının ortalama eğilme direnci (BS) ve eğilmede elastikiyet modülü (MOE) değerleri Tablo 3.11’de verilmiştir.

Tablo 3.11: Ortalama eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü direnci değerleri (20 mm-300kg/m³)

Levha Grupları	ÜF	Ham levha				Kaplanmış levha	
		P-MDI	Toplam tutkal	BS (N/mm ²)	MOE (N/mm ²)	BS (N/mm ²)	MOE (N/mm ²)
A	%3	%1	%4	0,36abc	141,16a	6,63cd	1869,54bc
		%2	%5	0,41bc	151,13a	8,36d	2112,23bcd
		%3	%6	0,33abc	154,96a	7,79d	2010,32bcd
B	%5	%1	%6	0,41bc	156,69a	5,63bc	1691,84b
		%2	%7	0,39bc	265,77d	8,41d	2059,26bcd
		%3	%8	0,33ab	221,23bcd	5,23bc	2430,69de
C	%7	%1	%8	0,35abc	235,46cd	4,36b	2074,48bcd
		%2	%9	0,43c	163,35a	5,24bc	2283,99cde
		%3	%10	0,52d	192,24abc	5,26bc	2399,74de
D (Kontrol 1)	%8	%0	%8	0,33abc	176,36ab	5,69bc	2456,32de
E (Kontrol 2)	%10	%0	%10	0,37abc	220,23bcd	4,67b	1220,90a
F (Kontrol 3)	%0	%3	%3	0,29a	165,23a	2,26a	1112,36a
G (Kontrol 4)	%0	%4	%4	0,42bc	171,98ab	8,26d	2653,29e

Not: Aynı kolondaki aynı harfler istatistiksel olarak ($p<0,05$) anlamlı bir farklılığın olmadığını göstermektedir.

Tablo 3.11 incelendiğinde 20 mm kalınlık ve 300 kg/m³ yoğunlukta üretilmesi hedeflenen levhaların yüzeylerine yapılan kaplama işlemi ile BS ve MOE değerlerinde artış olduğu görülmektedir. Ham levhalar için en yüksek BS değeri %7 ÜF+%3 P-MDI ile üretilen levha grubunda 0,52 N/mm² olarak ölçülürken, kaplanmış levhalar için bu değer 8,41 N/mm² olarak %5 ÜF+%2 P-MDI kullanımında gerçekleşmiştir. En yüksek MOE değerleri ham levhalar için %5 ÜF+%2 P-MDI kullanımında 265,77 N/mm², kaplanmış levhalar için ise 2653,29 N/mm² olarak tespit edilmiştir. P-MDI oranı sabit tutulup, üre formaldehit kullanım oranı arttırıldığında, BS ve MOE değerlerinin genel olarak arttığı ancak artışın doğrusal bir eğri göstermediği tespit edilmiştir. Bu durum ÜF tutkalının sabit tutulup, P-MDI kullanım oranının artmasıyla da gözlemlenmiştir. C grubunda %7 ÜF+%3 P-MDI ile üretilen levhalarda BS değeri 0,52 N/mm² ile en yüksek olarak bulunmuş olup, istatistiksel olarak da diğer gruplardan anlamlı bir farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. 20 mm kalınlık ve 400

kg/m³ yoğunlukta üretilmesi hedeflenen ham ve kaplanmış levha gruplarının ortalama eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü direnci değerleri Tablo 3.12’de verilmiştir.

Tablo 3.12: Ortalama eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü direnci değerleri (20 mm-400kg/m³)

Levha Grupları	ÜF	P-MDI	Toplam tutkal	Ham levha		Kaplanmış levha	
				BS (N/mm ²)	MOE (N/mm ²)	BS (N/mm ²)	MOE (N/mm ²)
A	%3	%1	%4	0,76a	199,75bcd	11,20bc	2890,76b
		%2	%5	0,68ab	214,58bcd	13,30bcd	3021,56b
		%3	%6	1,82e	253,20de	14,42bcd	3789,63cde
B	%5	%1	%6	1,20bcd	168,25ab	13,90bcd	3022,42b
		%2	%7	1,24bcd	286,72e	15,44d	3905,63e
		%3	%8	1,11abcd	265,10de	14,81cd	3843,31de
C	%7	%1	%8	1,58de	187,65abc	12,62bcd	3219,00bcde
		%2	%9	2,03e	251,33cde	5,21a	2186,36a
		%3	%10	1,32cd	179,46ab	14,51bcd	3841,71de
D (Kontrol 1)	%8	%0	%8	1,03abc	212,36bcd	12,36bcd	3569,89bcde
E (Kontrol 2)	%10	%0	%10	1,01abc	132,75a	10,64b	3257,00bcde
F (Kontrol 3)	%0	%3	%3	0,76ab	186,18abc	7,00a	3090,87bc
G (Kontrol 4)	%0	%4	%4	1,17abcd	265,68de	14,43bcd	3145,04bcd

Not: Aynı kolondaki aynı harfler istatistiksel olarak ($p < 0,05$) anlamlı bir farklılığın olmadığını göstermektedir.

Tablo 3.12’deki mekanik özelliklere ilişkin bulgular incelendiğinde ham levhalar için en yüksek BS değeri %7 ÜF+%2 P-MDI ile üretilen levha grubunda 2,03 N/mm² olarak ölçülürken, kaplanmış levhalar için bu değer 15,44 N/mm² olarak %5 ÜF+%2 P-MDI kullanımında gerçekleşmiştir. MOE değerlerine bakıldığında en yüksek değerler ham ve kaplanmış levhalar için sırasıyla %5 ÜF+%2 P-MDI kullanımında 286,72 N/mm² ve 3905,63 N/mm² olarak tespit edilmiştir. ÜF ve P-MDI tutkallarının sabit olduğu durumlarda artan tutkal miktarına bağlı olarak BS ve MOE değerlerindeki değişim doğrusal değildir. Ham levhalarda BS değeri için %3 ÜF+%3 P-MDI grubunda elde edilen 1,82 N/mm² değeri ve %7 ÜF+%2 P-MDI ile üretilen levhalarda ölçülen 2,03 N/mm² değerinin diğer levha gruplarından istatistiksel olarak anlamlı şekilde farklı olduğu tespit edilmiştir. 30 mm kalınlık ve 300 kg/m³ yoğunlukta üretilmesi hedeflenen ham ve kaplanmış levha gruplarının ortalama eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü direnci değerleri Tablo 3.13’te verilmiştir.

Tablo 3.13: Ortalama eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü direnci değerleri (30 mm-300kg/m³)

Levha Grupları	ÜF	P-MDI	Toplam tutkal	Ham levha		Kaplanmış levha	
				BS (N/mm ²)	MOE (N/mm ²)	BS (N/mm ²)	MOE (N/mm ²)
A	%3	%1	%4	0,12a	-*	0,77ab	108,86a
		%2	%5	0,19ab	-*	0,65a	102,25a
		%3	%6	0,26bcd	89,92a	0,78ab	101,85a
B	%5	%1	%6	0,20abc	-*	1,05b	325,88c
		%2	%7	0,38de	242,35de	1,99d	332,86c
		%3	%8	0,40e	230,43de	1,79cd	491,39d
C	%7	%1	%8	0,67f	171,42c	1,50c	199,63b
		%2	%9	0,72f	251,90e	1,47c	583,11e
		%3	%10	0,88g	378,04f	1,89d	500,22d
D (Kontrol 1)	%8	%0	%8	0,30bcde	195,23cd	0,55a	202,65b
E (Kontrol 2)	%10	%0	%10	0,33cde	148,75bc	0,46a	195,55b
G (Kontrol 4)	%0	%4	%4	0,25abcd	101,32ab	0,49a	210,76b

*: Direnç değerlerinin hesaplanmasında maksimum kuvvet çok düşük olduğundan MOE değeri hesaplanamamıştır; Aynı kolondaki aynı harfler istatistiksel olarak ($p<0,05$) anlamlı bir farklılığın olmadığını göstermektedir.

Tablo 3.13'e göre en yüksek BS değeri ham levhalar için %7 ÜF+%3 P-MDI ile üretilen levha grubunda 0,88 N/mm² olarak ölçülürken, kaplanmış levhalardaki en yüksek BS değeri 1,99 N/mm² olarak %7 ÜF+%2 P-MDI grubunda elde edilmiştir. MOE değerleri incelendiğinde ham levhalardaki en yüksek değer 378,04 N/mm² ile %7 ÜF+%3 P-MDI kullanımında, kaplanmış levhalardaki en yüksek değer ise 583,11 N/mm² olarak, %7 ÜF+%2 P-MDI kullanılan levha grubunda ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar ışığında hem ÜF hem de P-MDI tutkal kullanım oranlarının artmasıyla BS ve MOE 'nin arttığı, bu artışların birçok grup arasında istatistiksel olarak ($p<0,05$) anlamlı olduğu tespit edilmiştir.

30 mm kalınlık ve 400 kg/m³ yoğunlukta üretilmesi hedeflenen ham ve kaplanmış levha gruplarının ortalama eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü direnci değerleri Tablo 3.14'te verilmiştir. Tablo 3.14 incelendiğinde 30 mm kalınlık ve 400 kg/m³ yoğunlukta üretilmesi hedeflenen ham levhalar için en yüksek BS değeri %7 ÜF+%2 P-MDI ile üretilen levha grubunda 1,73 N/mm² olarak ölçülürken, kaplanmış levhalar için bu değer 2,87 N/mm² olarak %10 ÜF kullanımında gerçekleşmiştir.

Tablo 3.14: Ortalama eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü direnci değerleri (30 mm-400kg/m³)

Levha Grupları	ÜF	Ham levha				Kaplanmış levha	
		P-MDI	Toplam tutkal	BS (N/mm ²)	MOE (N/mm ²)	BS (N/mm ²)	MOE (N/mm ²)
A	%3	%1	%4	0,45a	113,40a	1,28ab	194,60a
		%2	%5	1,36def	179,56e	1,86cd	189,88a
		%3	%6	1,11cde	123,19ab	2,18de	347,67c
B	%5	%1	%6	1,09cd	132,69abc	1,23ab	225,14ab
		%2	%7	0,86bc	115,89a	2,55ef	469,70d
		%3	%8	1,65fg	171,42cde	2,11de	323,70c
C	%7	%1	%8	1,09cd	136,67abcd	1,57bc	299,38c
		%2	%9	1,73g	157,21bcde	1,87cd	284,15bc
		%3	%10	1,43efg	215,46f	1,56bc	311,73c
D (Kontrol 1)	%8	%0	%8	0,70ab	175,36de	1,02a	201,65a
E (Kontrol 2)	%10	%0	%10	0,67ab	113,98a	2,87f	633,86e
G (Kontrol 4)	%0	%4	%4	1,17cde	141,02abcde	2,17de	435,65d

Not: Aynı kolondaki aynı harfler istatistiksel olarak ($p < 0,05$) anlamlı bir farklılığın olmadığını göstermektedir.

MOE direnci için en yüksek değerler ham levhalarda %7 ÜF+%3 P-MDI kullanımında 215,46 N/mm², kaplanmış levhalarda ise %10 ÜF kullanımında 633,86 N/mm² olarak tespit edilmiştir. Ayrıca bu değerlerin istatistiksel olarak diğer gruplara göre anlamlı bir farklılık gösterdiği anlaşılmıştır. BS ve MOE değerlerinin tamamı incelendiğinde kaplama işlemi ile direnç değerlerinin önemli oranlarda arttığı belirlenmiştir.

Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülüne ilişkin sonuçlar değerlendirildiğinde genel olarak artan tutkal kullanım oranı ile direnç değerlerinde artış olduğu görülmektedir. Ayrıca sadece P-MDI tutkalı kullanımının, ÜF tutkalına göre daha iyi sonuçlar verdiği, levha yoğunluğunun artması ve levha yüzeylerinin kaplanması ile direnç değerlerinin olumlu yönde etkilendiği değerlendirilmiştir. Yapılan farklı çalışmalarda ÜF tutkalına belirli oranlarda P-MDI tutkalı ilavesinin direnç değerlerini olumlu yönde etkilediği belirtilmektedir (Wang vd., 2004; Mansouri vd., 2006; Dziurka ve Mirski, 2010). Bununla beraber, kaplama işleminde kullanılan basınç, süre ve sıcaklık gibi faktörlerin kaplanmış levhaların mekanik direnç özellikleri üzerinde etkili olduğu farklı çalışmalarda belirtilmiştir (İstek vd., 2016; İstek ve Özlüsoylu, 2021).

Odun yongalarından elde edilen ahşap esaslı levhalarda olduğu gibi kabuk levhaların mekanik özellikleri üzerinde de kabuk yapısı, türü, tutkal çeşidi ve miktarı ile sıcak pres parametreleri gibi birçok farklı faktörün etkisi vardır. Kabuk yalıtım levhalarının fiziksel ve mekanik özelliklerine teknik olarak uygulanabilirliğin de etki yaptığı belirtilmektedir (Pfundstein vd., 2007; Thoemen, 2010). Özellikle düşük yoğunluktaki yalıtım panelleri daha yüksek yoğunluklu odun kökenli levhalara göre daha düşük mekanik dirençlere sahiptir (Yemele vd., 2008). Ayrıca kabuk levhaların düşük mekanik özellikleri, kabuğun düşük selüloz içeriği ile de açıklanmaktadır (Sakai, 2001). Nemli ve Çolakoğlu (2005) ise kabuğun gözenekli yapısı nedeniyle tutkalı emdiğini ve yongalar arasındaki yapışma miktarının düşük kalması ile mekanik özelliklerin azaldığını vurgulamıştır. Farklı tutkallar ile yapılan çalışmalar incelendiğinde %10 izosiyanat ile üretilen ve 250 kg/m³ ile 500 kg/m³ arasında yoğunluğa sahip kabuk yalıtım levhalarında MOE ve BS sırası ile 1000 N/mm² ile 2500 N/mm² ve 2,5 N/mm² ile 15 N/mm² aralığında tespit edilmiştir (Kawai vd., 1986). %5-%20 aralığında tanen tutkalı ile üretilen kabuk yonga levhalarda ise MOE ve BS'nin sırası ile 50 N/mm² -500 N/mm² ve 0,3 N/mm² -3 N/mm² aralığında olduğu belirtilmiştir (Kain, 2016). Kain vd. (2018a) yaptığı çalışmada 284 kg/m³ ile 364 kg/m³ yoğunluklarda üretilen kabuk izolasyon levhaların BS değerlerinin 0,24 N/mm² ile 0,54 N/mm², MOE değerlerinin ise 38,30 N/mm² ile 109,50 N/mm² olduğunu belirtmiştir. Bir başka çalışmada 300 kg/m³ yoğunlukta üretilen kabuk levhalardaki BS 345 N/mm², MOE 67,80 N/mm², 400 kg/m³ yoğunlukta üretilen kabuk bazlı yalıtım levhalarının BS değerlerinin 0,85 N/mm²-1,71 N/mm² arasında MOE değerlerinin ise 140,11 N/mm²-239,55 N/mm² arasında olduğu belirtilmiştir (Kain vd., 2014). Elde edilen sonuçlar incelendiğinde BS ve MOE değerlerinin literatürle uyumlu olduğu, bazı farklılıklarının kabuk türü, tutkal tipi ve miktarı ile levha yoğunluğu gibi faktörlerden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

3.3.2 Yüzeye Dik Çekme Direnci

20 mm kalınlıkta 300 kg/m³ ve 400 kg/m³ yoğunluklarda üretilmesi hedeflenen ham levha gruplarının ortalama yüzeye dik çekme direnci (IB) değerleri Tablo 3.15'te verilmiştir. Tablo 3.15'e göre en yüksek IB değeri 0,14 N/mm² ile %5 ÜF+%3 P-MDI ile üretilen 400 kg/m³ yoğunluktaki levha grubunda tespit edilmiştir. Kullanılan tutkal miktarına göre IB değerlerindeki değişim doğrusal olmayıp, bu değişkenlik üzerinde levha yoğunluğunun etkisi olduğu düşünülmektedir. Levha yoğunluğunun artması ile IB direnç değerinde artış olduğu belirtilmektedir (Thoemen, 2010; Kain vd., 2013a; Kain vd., 2014).

Tablo 3.15: Ortalama yüzeye dik çekme direnci değerleri (20 mm)

Levha Grupları	ÜF	P-MDI	Toplam tutkal	300 kg/m ³	400 kg/m ³
				IB (N/mm ²)	IB (N/mm ²)
A	%3	%1	%4	0,02a	0,09abc
		%2	%5	0,02a	0,06a
		%3	%6	0,04ab	0,08abc
B	%5	%1	%6	0,07b	0,07ab
		%2	%7	0,02a	0,12cd
		%3	%8	0,05ab	0,14d
C	%7	%1	%8	0,05ab	0,07ab
		%2	%9	0,08b	0,12bcd
		%3	%10	0,06b	0,12cd
D (Kontrol 1)	%8	%0	%8	0,05ab	0,09abcd
E (Kontrol 2)	%10	%0	%10	0,07b	0,05a
F (Kontrol 3)	%0	%3	%3	0,03a	0,07abc
G (Kontrol 4)	%0	%4	%4	0,02a	0,09abcd

Aynı kolondaki aynı harfler istatistiksel olarak (p<0,05) anlamlı bir farklılığın olmadığını göstermektedir.

30 mm kalınlıkta 300 kg/m³ ve 400 kg/m³ yoğunluklarda üretilmesi hedeflenen ham levha gruplarının ortalama yüzeye dik çekme direnci değerleri Tablo 3.16’da verilmiştir. Tablo 3.16 incelendiğinde en yüksek IB değeri 0,18 N/mm² ile %5 ÜF+%3 P-MDI ile üretilen 400 kg/m³ yoğunluktaki levha grubunda tespit edilmiştir.

Tablo 3.16: Ortalama yüzeye dik çekme direnci değerleri (30 mm)

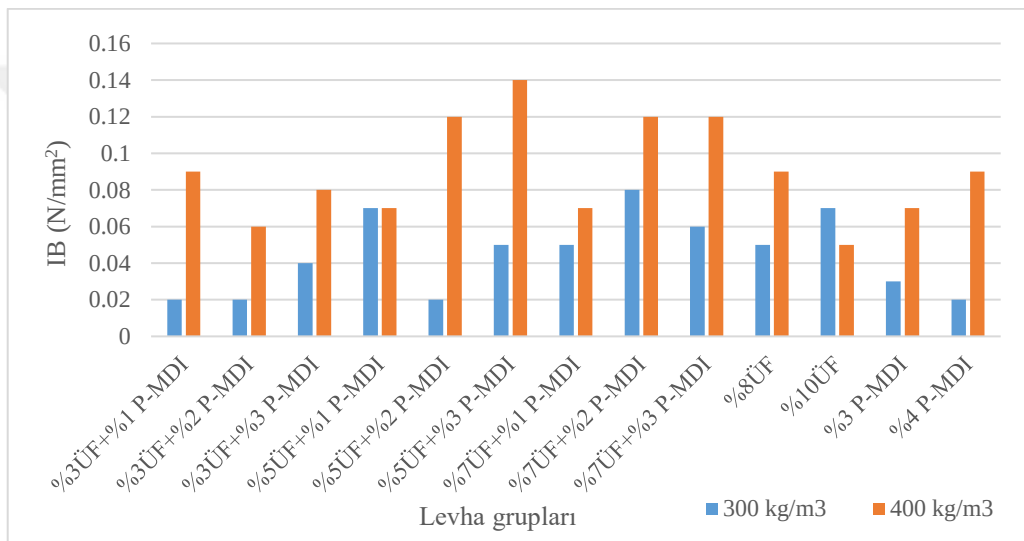
Levha Grupları	ÜF	P-MDI	Toplam tutkal	300 kg/m ³	400 kg/m ³
				IB (N/mm ²)	IB (N/mm ²)
A	%3	%1	%4	0,02a	0,08ab
		%2	%5	0,02a	0,09abc
		%3	%6	0,05bc	0,13c
B	%5	%1	%6	0,04ab	0,08ab
		%2	%7	0,04ab	0,11bc
		%3	%8	0,08c	0,18d
C	%7	%1	%8	0,03ab	0,13c
		%2	%9	0,04ab	0,11bc
		%3	%10	0,07c	0,12bc
D (Kontrol 1)	%8	%0	%8	0,04ab	0,09abc

Tablo 3.16: (devam ediyor)

E (Kontrol 2)	%10	%0	%10	0,07c	0,11bc
G (Kontrol 4)	%0	%4	%4	0,03ab	0,06a

Aynı kolondaki aynı harfler istatistiksel olarak ($p<0,05$) anlamlı bir farklılığın olmadığını göstermektedir

Şekil 3.4'te 20 mm kalınlıkta üretilen levha gruplarının 300 kg/m³ ve 400 kg/m³ yoğunluklardaki IB değerleri karşılaştırılmıştır. Şekil incelendiğinde genel olarak tutkal miktarının artması ile IB değerleri artış göstermiş, ayrıca 400 kg/m³ yoğunlukta elde edilen değerlerin, 300 kg/m³ yoğunluktakilere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3.4: Tutkal tipi ve yoğunluğun IB direnci değişimine etkisi

Farklı tutkallar ile yapılan çalışmalar incelendiğinde %10 izosiyanat tutkalı ile üretilen ve 250 kg/m³ ile 500 kg/m³ arasında yoğunluğa sahip kabuk yalıtım levhalarında IB değeri 0,2 N/mm²-0,6 N/mm² aralığında (Kawai vd., 1986), %5-20 tanen tutkallı levhalarda ise 0,1 N/mm²-0,3 N/mm² aralığında bulunmuştur (Kain, 2016). Kain vd. (2018a) yaptığı çalışmada 284 kg/m³ ile 364 kg/m³ yoğunluklarda üretilen kabuk izolasyon levhaların IB değerlerinin sırası ile 0,06 N/mm² ile 0,12 N/mm² olduğunu belirtmiştir. Bir başka çalışmada 300 kg/m³ yoğunlukta üretilen kabuk levhalarındaki IB değerinin 0,10 N/mm², 400 kg/m³ yoğunlukta üretilen kabuk bazlı yalıtım levhalarının IB değerlerinin ise 0,14 N/mm² ile 0,24 N/mm² arasında olduğu belirtilmiştir (Kain vd., 2014).

Tez çalışmasında özellikle 300 kg/m³ yoğunluktaki levhalarda bazı IB değerlerinin literatüre göre daha düşük çıkması hammadde, üretim faktörleri, kullanılan tutkal tipi ve miktarı gibi

birçok faktörle ilgili olabileceği değerlendirilmektedir. Kabuk levhalarda normal yonga levhanın aksine kaba kabuk yongalarla üretilen levhaların %33 daha fazla IB direnci verdiği belirtilmiştir (Kain, 2016). Yüzeye dik çekme direnci üzerinde tutkal kullanımı ve yoğunluk etkisinin önemli olduğu anlaşılmış olup, artan tutkal kullanımı ve yoğunluk ile yüzeye dik çekme direncinde artış olduğu sonucuna varılmıştır. Elde edilen değerler odun kompozit levhalarda istenen değerlerden düşük olmakla birlikte izolasyon levhaları için IB direnci ile ilgili TS 825 (2013) standardında herhangi bir kriter bulunmamaktadır.

3.4 Levhaların Isı İletim Özellikleri

Bir malzemenin ısı iletkenlik katsayısı (λ) ne kadar küçük ise, yalıtım özelliği o kadar iyi olmaktadır. Ancak ısı iletkenlik katsayısı ve malzeme kalınlığı beraber değerlendirildiğinde yalıtım özelliği ile ilgili sağlıklı bir sonuca ulaşılabilmektedir. Malzemenin ısı iletkenlik değeri düşük olsa bile, yeterli kalınlığa ulaşamıyorsa bu malzemeye iyi bir ısı yalıtımı yapılamaz. Isı yalıtımında ısı direnç (R) kavramı, kalınlığın ısı iletim katsayısına oranı olarak ifade edilir. Uygulamada malzemenin ısı iletkenlik katsayısı sabit olacağından, ısı direnci artırmak için malzemenin kalınlığını artırmak gerekir. Bu araştırmada üretilen kabuk izolasyon levha gruplarının ısı iletim özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan testler sonucu elde edilen ısı iletim katsayıları ve hesaplanan ısı direnç değerlerine ilişkin bulgular 20 mm ve 30 mm levha grupları için ayrı ayrı irdelenmiştir. 30 mm kalınlık için %3 P-MDI tutkalı ile levha üretimi gerçekleşmediğinden ilgili tablolarda F levha grubu (%3 P-MDI) yer almamaktadır. Tutkal türü ve miktarının ısı iletim katsayısı üzerindeki etkisi varyans analizi ile incelenmiş, aralarında istatistiksel olarak önemli fark olan gruplar ise DUNCAN testi ile belirlenmiştir. Yoğunluğun ısı iletim katsayısı değişimi üzerine etkisini belirlemek amacıyla da ham levha gruplarında regresyon analizi yapılmıştır.

3.4.1 20 mm Levha Gruplarının Isı İletim Özellikleri

20 mm kalınlık ve 300 kg/m³ yoğunlukta üretilmesi hedeflenen ham ve kaplanmış levha gruplarının ortalama ısı iletim katsayısı ve ısı direnç değerleri Tablo 3.17’de verilmiştir.

Tablo 3.17: Levha gruplarının ortalama ısı iletim katsayısı ve ısı direnç değerleri (20 mm 300 kg/m³)

Levha Grupları	ÜF	P-MDI	Toplam tutkal	Ham levha		Kaplanmış levha	
				(λ) (W/mK)	R (m ² K/W)	(λ) (W/mK)	R (m ² K/W)
A	%3	%1	%4	0,06718	0,287	0,07659	0,274
		%2	%5	0,06392	0,303	0,07526	0,284
		%3	%6	0,06648	0,289	0,07712	0,276
B	%5	%1	%6	0,06488	0,294	0,07340	0,290
		%2	%7	0,06369	0,298	0,07099	0,300
		%3	%8	0,06448	0,294	0,07128	0,302
C	%7	%1	%8	0,06663	0,288	0,07341	0,293
		%2	%9	0,06384	0,297	0,07041	0,305
		%3	%10	0,06427	0,297	0,07341	0,291
D (Kontrol 1)	%8	%0	%8	0,06560	0,290	0,07350	0,293
E (Kontrol 2)	%10	%0	%10	0,06551	0,289	0,07286	0,292
F (Kontrol 3)	%0	%3	%3	0,06417	0,303	0,06710	0,316
G (Kontrol 4)	%0	%4	%4	0,06360	0,299	0,07084	0,302

20 mm kalınlık ve 300 kg/m³ yoğunlukta üretilmesi hedeflenen ham ve kaplanmış levha gruplarının ortalama ısı iletim katsayısı değerleri incelendiğinde ham levhalar için %2 P-MDI ilavesinin en düşük ısı iletim katsayısı değerini verdiği anlaşılmıştır. Sadece ÜF ve P-MDI kullanılan kontrol gruplarında ise P-MDI tutkalı kullanılarak üretilen levhaların ısı iletim katsayıları ÜF'ye göre daha düşük bulunmuştur. Tüm ham levha grupları içerisinde en düşük ısı iletim katsayısı değeri 0,06360 W/mK ile %4 P-MDI kontrol grubunda, en yüksek ise 0,06718 W/mK ile %3 ÜF+%1 P-MDI kullanımında elde edilmiştir. Kaplanmış levhalar için ise en düşük ısı iletim katsayısı değeri 0,0671 W/mK ile %3 P-MDI kontrol grubunda elde edilmiştir. Ham levhalarda en yüksek ısı direnç değeri 0,303 m²K/W ile %3 P-MDI ve %3 ÜF+%2 P-MDI kullanımında elde edilirken, kaplanmış levhalarda ise en yüksek ısı direnç değeri 0,316 m²K/W ile %3 P-MDI kullanımında tespit edilmiştir.

Tutkal türü ve miktarının ısı iletim katsayısı üzerine etkisini belirlemek amacıyla her iki kalınlık (20 mm ve 30 mm) ve yoğunlukta (300 kg/m³ ve 400 kg/m³) ham levhalardan elde edilen ısı iletim katsayıları varyans analizi ile incelenmiştir. Analiz sonucunda %95 güven düzeyinde istatistiksel olarak önemli fark gösteren gruplar DUNCAN testi ile belirlenmiş olup, 20 mm kalınlık ve 300 kg/m³ yoğunlukta levhalara ait sonuçlar Tablo 3.18'de verilmiştir.

Tablo 3.18 Farklı tutkal karışım oranlarına ait ortalama ısı iletim katsayıları (20 mm-300 kg/m³)

Levha Grupları	Sabit ÜF'ye farklı oranlarda P-MDI etkisi			Sabit P-MDI'a farklı oranlarda ÜF etkisi		
	ÜF	P-MDI	(λ) (W/mK)	P-MDI	ÜF	(λ) (W/mK)
A	%3	%1	0,06718c	%1	%3	0,06718c
		%2	0,06392a		%5	0,06488a
		%3	0,06648b		%7	0,06663b
B	%5	%1	0,06488c	%2	%3	0,06392a
		%2	0,06369a		%5	0,06369a
		%3	0,06448b		%7	0,06384a
C	%7	%1	0,06663c	%3	%3	0,06648b
		%2	0,06384a		%5	0,06448a
		%3	0,06427b		%7	0,06427a
D (Kontrol 1)	%8	%0	0,06560c			
E (Kontrol 2)	%10	%0	0,06551c			
F (Kontrol 3)	%0	%3	0,06417b			
G (Kontrol 4)	%0	%4	0,06360a			

Aynı grup için kolondaki aynı harfler istatistiksel olarak ($p < 0,05$) anlamlı bir farklılığın olmadığını göstermektedir.

Tablo 3.18 incelendiğinde sabit ÜF oranlarına (%3, %5 ve %7) farklı oranlarda P-MDI ilavesi ile üretilen levhalarda en düşük ısı iletim katsayısı üç farklı ÜF oranının tamamı için %2 P-MDI ilavesinde elde edilmiştir. Ayrıca elde edilen bu değerlerin istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. Sabit P-MDI miktarlarına (%1, %2 ve %3) farklı oranlarda ÜF'nin etkisi incelendiğinde ise en düşük ısı iletim katsayısı %1 ve %2 P-MDI için %5 ÜF ilavesinde tespit edilmiştir. Ayrıca %1 P-MDI'a %5 ÜF ilavesi ile elde edilen ısı iletim katsayısı değeri istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık göstermiştir. Sadece ÜF ve P-MDI tutkalı ile üretilen levhaların ısı iletim katsayıları karşılaştırıldığında ise %4 P-MDI en düşük ısı iletim katsayısını vermiş olup, elde edilen değer istatistiksel olarak önemli bir farklılık göstermiştir. %8 ve %10 ÜF kullanımı ile üretilen levhaların ısı iletim katsayıları arasında ise önemli bir farklılık görülmemiştir. 20 mm kalınlık ve 400 kg/m³ yoğunlukta üretilmesi hedeflenen ham ve kaplanmış levha gruplarının ortalama ısı iletim katsayısı ve ısı direnç değerleri Tablo 3.19'da verilmiştir.

Tablo 3.19: Levha gruplarının ortalama ısı iletim katsayısı ve ısı direnç değerleri (20 mm-400 kg/m³)

Levha Grupları	ÜF	P-MDI	Toplam tutkal	Ham levha		Kaplanmış levha	
				(λ) (W/mK)	R (m ² K/W)	(λ) (W/mK)	R (m ² K/W)
A	%3	%1	%4	0,08157	0,236	0,08431	0,257
		%2	%5	0,07579	0,263	0,08516	0,255
		%3	%6	0,07502	0,262	0,08576	0,255
B	%5	%1	%6	0,07651	0,254	0,08345	0,261
		%2	%7	0,07755	0,249	0,08718	0,249
		%3	%8	0,07600	0,254	0,09036	0,243
C	%7	%1	%8	0,07448	0,258	0,08345	0,262
		%2	%9	0,08098	0,234	0,08360	0,261
		%3	%10	0,07880	0,242	0,08489	0,255
D (Kontrol 1)	%8	%0	%8	0,07750	0,250	0,08321	0,261
E (Kontrol 2)	%10	%0	%10	0,07512	0,255	0,08474	0,257
F (Kontrol 3)	%0	%3	%3	0,07555	0,255	0,07991	0,269
G (Kontrol4)	%0	%4	%4	0,07707	0,252	0,08437	0,260

20 mm kalınlık ve 400 kg/m³ yoğunlukta üretilmesi hedeflenen ham ve kaplanmış levha gruplarının ortalama ısı iletim katsayısı değerleri incelendiğinde artan yoğunlukla birlikte ısı iletim katsayısı değerlerinde de artış olduğu görülmektedir. Ham levha örnekleri için en düşük ısı iletim katsayısı %7 ÜF+%1 P-MDI kullanımında 0,07448 W/mK olarak elde edilirken, en yüksek değer 0,08157 W/mK ile %3 ÜF+%1 P-MDI ile üretilen levha gruplarında elde edilmiştir. Sadece ÜF ve P-MDI kullanılan kontrol gruplarında ise en düşük ısı iletim katsayısı %10 ÜF kullanımında 0,07512 W/mK olarak tespit edilmiştir. Yüzeyleri kaplanmış levha gruplarında ise en düşük ısı iletim katsayısı %3 P-MDI kullanımında 0,07991 W/mK olarak belirlenmiştir. Isıl direnç değerleri incelendiğinde ham levhalarda en yüksek ısı direnç değeri 0,258 m²K/W ile %7 ÜF+%1 P-MDI kullanımında, kaplanmış levhalarda ise 0,269 m²K/W ile %3 P-MDI kullanımında tespit edilmiştir.

20 mm kalınlık ve 400 kg/m³ yoğunlukta üretilmesi hedeflenen ham levhaların ısı iletim katsayısı üzerine tutkal türü ve miktarının etkisini belirlemek üzere yapılan varyans analizi sonucu elde edilen ortalama değerler ve DUNCAN homojenlik grupları Tablo 3.20’de verilmiştir.

Tablo 3.20 Farklı tutkal karışım oranlarına ait ortalama ısı iletim katsayıları (20 mm-400 kg/m³)

Levha Grupları	Sabit ÜF'ye farklı oranlarda P-MDI etkisi			Sabit P-MDI'a farklı oranlarda ÜF etkisi		
	ÜF	P-MDI	(λ) (W/mK)	P-MDI	ÜF	(λ) (W/mK)
A	%3	%1	0,08157c	%1	%3	0,08157c
		%2	0,07579b		%5	0,07651b
		%3	0,07502a		%7	0,07448a
B	%5	%1	0,07651b	%2	%3	0,07579a
		%2	0,07755c		%5	0,07755a
		%3	0,07600a		%7	0,08098b
C	%7	%1	0,07448a	%3	%3	0,07502a
		%2	0,08098c		%5	0,07600b
		%3	0,07880b		%7	0,07880c
D (Kontrol 1)	%8	%0	0,07750d			
E (Kontrol 2)	%10	%0	0,07512b			
F (Kontrol 3)	%0	%3	0,07555a			
G (Kontrol 4)	%0	%4	0,07707c			

Aynı grup için kolondaki aynı harfler istatistiksel olarak ($p<0,05$) anlamlı bir farklılığın olmadığını göstermektedir.

Tablo 3.20 incelendiğinde sabit ÜF oranlarına (%3, %5 ve %7) farklı oranlarda P-MDI ilavesi ile üretilen levhalarda en düşük ısı iletim katsayısı %3 ve %5 ÜF için %3 P-MDI, %7 ÜF için ise %1 P-MDI ilavesinde elde edilmiş olup, elde edilen değerler diğer oranlara göre istatistiksel olarak önemli farklılık göstermiştir. Sabit P-MDI miktarlarına (%1, %2 ve %3) farklı oranlarda ÜF'nin etkisi incelendiğinde ise en düşük ısı iletim katsayısı %1 P-MDI için %7 ÜF ilavesinde, %3 P-MDI için ise %3 ÜF ilavesinde gerçekleşmiş olup, elde edilen değerlerin istatistiksel olarak önemli farklılık gösterdiği anlaşılmıştır. %2 P-MDI için en düşük ısı iletim katsayısı %3 ve %5 ÜF ilavelerinde elde edilmiş olup, bu değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir. Sadece ÜF ve P-MDI tutkalı ile üretilen levhaların ısı iletim katsayıları karşılaştırıldığında ise en düşük ısı iletim katsayısı değerinin %3 P-MDI grubunda elde edildiği ve tüm gruplar (%8 ÜF, %10 ÜF, %3 P-MDI, %4 P-MDI) arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık olduğu belirlenmiştir.

Yoğunluk ile ısı iletim katsayısı arasındaki ilişkinin incelenmesi için yapılan regresyon analizi sonuçları Tablo 3.21' de özetlenmiştir. Tabloya göre 20 mm kalınlıkta üretilen tüm ham levhalar için korelasyon katsayısı 0,951, anlamlılık değeri p ise 0,00 ($p<0,05$) bulunmuş olup, bu değerler yoğunluk ve ısı iletim katsayısı arasında güçlü ve doğrusal bir ilişki

olduğunu göstermektedir.

Tablo 3.21 Yoğunluk ve ısı iletim katsayılarına ilişkin regresyon analiz sonuçları (20 mm)

Levha yoğunluğu (d)	Isı iletim katsayısı (λ)	
	Korelasyon katsayısı	0,951
	Anlamlılık değeri (p)	0,00
	Determinasyon katsayısı (R^2)	0,904
	Sabit değer	0,027
	Regresyon katsayısı	0,114

Tablodaki R^2 değeri incelendiğinde ısı iletim katsayısındaki değişimin %90'ının yoğunluk ile açıklanabileceği sonucuna varılmıştır. Sabit değer ve regresyon katsayıları dikkat alındığında ise elde edilen regresyon denklemi Eşitlik 2'de verilmiştir.

$$\lambda = 0,027 + 0,114 \times d \quad (2)$$

Yapılan farklı çalışmalarda levha yoğunluğunun ısı iletim katsayısını istatistiksel olarak önemli düzeyde etkilediği (Pasztory vd., 2019; Kain vd., 2012; Kain vd., 2013a), ve bu iki değişken arasında yapılan regresyon analizi sonucunda R^2 değerlerinin 0,90 (Kain vd., 2012; Kain vd., 2013a) ve 0,82 (Kain vd., 2014; Kain 2016) olarak tespit edildiği belirtilmiştir.

3.4.2 30 mm Levha Gruplarının Isı İletim Özellikleri

30 mm kalınlık ve 300 kg/m^3 yoğunlukta üretilmesi hedeflenen ham ve kaplanmış levha gruplarının ortalama ısı iletim katsayısı ve ısı direnç değerleri Tablo 3.22'de verilmiştir.

Tablo 3.22: Levha gruplarının ortalama ısı iletim katsayısı ve ısı direnç değerleri (30 mm- 300 kg/m^3)

Levha Grupları	ÜF	P-MDI	Toplam tutkal	Ham levha		Kaplanmış levha	
				(λ) (W/mK)	R ($\text{m}^2\text{K/W}$)	(λ) (W/mK)	R ($\text{m}^2\text{K/W}$)
A	%3	%1	%4	0,06596	0,432	0,07001	0,478
		%2	%5	0,06634	0,439	0,07337	0,482
		%3	%6	0,06761	0,423	0,07554	0,473

Tablo 3.22: (devam ediyor)

B	%5	%1	%6	0,06863	0,409	0,07248	0,466
		%2	%7	0,06972	0,408	0,07309	0,457
		%3	%8	0,06563	0,435	0,07473	0,483
C	%7	%1	%8	0,06713	0,424	0,07154	0,467
		%2	%9	0,06983	0,410	0,07482	0,452
		%3	%10	0,06831	0,410	0,07554	0,462
D (Kontrol 1)	%8	%0	%8	0,06875	0,425	0,07221	0,457
E (Kontrol 2)	%10	%0	%10	0,06890	0,406	0,07238	0,446
G (Kontrol 4)	%0	%4	%4	0,06667	0,442	0,07097	0,479

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde ısı iletim katsayısı değeri ham levhalar için en düşük %5 ÜF+%3 P-MDI ile üretilen levha grubunda 0,06563 W/mK, en yüksek ise %7 ÜF+%2 P-MDI grubunda 0,06983 W/mK olarak bulunmuştur. Kaplanmış levhalarda ise en düşük ısı iletim katsayısı %3 ÜF+%1 P-MDI kullanımında 0,07001 W/mK olarak tespit edilmiştir. 30 mm kalınlık ve 300 kg/m³ yoğunlukta üretilmesi hedeflenen levhaların ısı direnç değerleri incelendiğinde en yüksek değer ham levhalar için 0,442 m²K/W ile %4 P-MDI kullanımında, kaplanmış levhalar için ise 0,483 m²K/W olarak %5 ÜF+%3 P-MDI ile üretilen levha grubunda tespit edilmiştir.

30 mm kalınlık ve 300 kg/m³ yoğunlukta üretilmesi hedeflenen ham levhaların ısı iletim katsayısı üzerine tutkal türü ve miktarının etkisini belirlemek üzere yapılan varyans analizi sonucu elde edilen ortalama değerler ve DUNCAN homojenlik grupları Tablo 3.23'te verilmiştir.

Tablo 3.23 Farklı tutkal karışım oranlarına ait ortalama ısı iletim katsayıları (30 mm-300 kg/m³)

Levha Grupları	Sabit ÜF'ye farklı oranlarda P-MDI etkisi			Sabit P-MDI'a farklı oranlarda ÜF etkisi		
	ÜF	P-MDI	(λ) (W/mK)	P-MDI	ÜF	(λ) (W/mK)
A	%3	%1	0,06596a	%1	%3	0,06596a
		%2	0,06634b		%5	0,06863c
		%3	0,06761c		%7	0,06713b
B	%5	%1	0,06863b	%2	%3	0,06634a
		%2	0,06972c		%5	0,06972b
		%3	0,06563a		%7	0,06983b

Tablo 3.23: (devam ediyor)

C	%7	%1	0,06713a	%3	%3	0,06761b
		%2	0,06983c		%5	0,06563a
		%3	0,06831b		%7	0,06831c
D (Kontrol 1)	%8	%0	0,06875b			
E (Kontrol 2)	%10	%0	0,06890c			
G (Kontrol 4)	%0	%4	0,06667a			

Aynı grup için kolondaki aynı harfler istatistiksel olarak ($p < 0,05$) anlamlı bir farklılığın olmadığını göstermektedir.

Tablo 3.23 incelendiğinde sabit ÜF oranlarına (%3, %5 ve %7) farklı oranlarda P-MDI ilavesi ile üretilen levhalarda en düşük ısı iletim katsayısı %3 ve %7 ÜF için %1 P-MDI, %5 ÜF için ise %3 P-MDI ilavesinde elde edilmiş olup, bu değerler diğer oranlara göre istatistiksel olarak önemli farklılık göstermiştir. Sabit P-MDI miktarlarına (%1, %2 ve %3) farklı oranlarda ÜF'nin etkisi incelendiğinde ise en düşük ısı iletim katsayısı %1 ve %2 P-MDI için %3 ÜF ilavesinde, %3 P-MDI için ise %5 ÜF ilavesinde gerçekleşmiştir. Ayrıca elde edilen bu değerlerin istatistiksel olarak önemli farklılık gösterdiği anlaşılmıştır. Sadece ÜF ve P-MDI tutkalı ile üretilen levhaların ısı iletim katsayıları karşılaştırıldığında ise en düşük ısı iletim katsayısı değerinin %4 P-MDI grubunda elde edildiği ve bu değer istatistiksel olarak anlamlı farklılık gösterdiği belirlenmiştir. 30 mm kalınlık ve 400 kg/m^3 yoğunlukta üretilmesi hedeflenen ham ve kaplanmış levha gruplarının ortalama ısı iletim katsayısı ve ısı direnç değerleri Tablo 3.24'te verilmiştir.

Tablo 3.24: Levha gruplarının ortalama ısı iletim katsayısı ve ısı direnç değerleri (30 mm- 400 kg/m^3)

Levha Grupları	ÜF	P-MDI	Toplam tutkal	Ham levha		Kaplanmış levha	
				(λ) (W/mK)	R ($\text{m}^2\text{K/W}$)	(λ) (W/mK)	R ($\text{m}^2\text{K/W}$)
A	%3	%1	%4	0,07700	0,379	0,08083	0,402
		%2	%5	0,07936	0,367	0,08114	0,392
		%3	%6	0,07957	0,364	0,08621	0,372
B	%5	%1	%6	0,07987	0,358	0,08419	0,380
		%2	%7	0,07858	0,367	0,08394	0,385
		%3	%8	0,08060	0,357	0,08288	0,385
C	%7	%1	%8	0,07749	0,368	0,08312	0,376
		%2	%9	0,07919	0,362	0,08563	0,370
		%3	%10	0,08057	0,353	0,08425	0,376
D (Kontrol 1)	%8	%0	%8	0,08061	0,354	0,08550	0,369
E (Kontrol 2)	%10	%0	%10	0,08067	0,349	0,08562	0,364

Tablo 3.24: (devam ediyor)

G (Kontrol 4)	%0	%4	%4	0,07776	0,371	0,08125	0,394
---------------	----	----	----	---------	-------	---------	-------

Tablo 3.24'e göre ham levha grupları içinde en düşük ısı iletim katsayısı %3 ÜF+%1 P-MDI ile üretilen levha grubunda 0,07700 W/mK olarak bulunurken, en yüksek ısı iletim katsayısı %10 ÜF ile üretilen levha grubunda 0,08067 olarak tespit edilmiştir. Kaplanmış levha gruplarında ise en düşük ısı iletim katsayısı ham levha grubunda olduğu gibi %3 ÜF+%1 P-MDI kullanımında 0,08083 W/mK olarak bulunmuştur. En yüksek ısı direnç değerleri hem ham hem de kaplanmış levhalar için %3 ÜF+%1 P-MDI ile üretilen levha grubunda sırası ile 0,379 m²K/W ve 0,402 m²K/W olarak bulunmuştur.

30 mm kalınlık ve 400 kg/m³ yoğunlukta üretilmesi hedeflenen ham levhaların ısı iletim katsayısı üzerine tutkal türü ve miktarının etkisini belirlemek üzere yapılan varyans analizi sonucu elde edilen ortalama değerler ve DUNCAN homojenlik grupları Tablo 3.25'te verilmiştir.

Tablo 3.25 Farklı tutkal karışım oranlarına ait ortalama ısı iletim katsayıları (30 mm-400 kg/m³)

Levha Grupları	Sabit ÜF'ye farklı oranlarda P-MDI etkisi			Sabit P-MDI'a farklı oranlarda ÜF etkisi		
	ÜF	P-MDI	(λ) (W/mK)	P-MDI	ÜF	(λ) (W/mK)
A	%3	%1	0,07700a	%1	%3	0,07700a
		%2	0,07936b		%5	0,07987c
		%3	0,07957c		%7	0,07749b
B	%5	%1	0,07987b	%2	%3	0,07936c
		%2	0,07858a		%5	0,07858a
		%3	0,08060c		%7	0,07919b
C	%7	%1	0,07749a	%3	%3	0,07957a
		%2	0,07919b		%5	0,08060b
		%3	0,08057c		%7	0,08057b
D (Kontrol 1)	%8	%0	0,08061b			
E (Kontrol 2)	%10	%0	0,08067c			
G (Kontrol 4)	%0	%4	0,07776a			

Aynı grup için kolondaki aynı harfler istatistiksel olarak (p<0,05) anlamlı bir farklılığın olmadığını göstermektedir.

Tablo 3.25'e göre sabit ÜF oranlarına (%3, %5 ve %7) farklı oranlarda P-MDI ilavesi ile üretilen levhalarda en düşük ısı iletim katsayısı %3 ve %7 ÜF için %1 P-MDI, %5 ÜF için ise %2 P-MDI ilavesinde elde edilmiş olup, elde edilen değerler diğer oranlara göre istatistiksel olarak önemli farklılık göstermiştir. Sabit P-MDI miktarlarına (%1, %2 ve %3) farklı oranlarda ÜF'nin etkisi incelendiğinde ise en düşük ısı iletim katsayısı %1 ve %3 P-MDI için %3 ÜF ilavesinde, %2 P-MDI için ise %5 ÜF ilavesinde gerçekleşmiştir. Ayrıca elde edilen bu değerlerin istatistiksel olarak önemli farklılık gösterdiği anlaşılmıştır. Sadece ÜF ve P-MDI tutkalı ile üretilen levhaların ısı iletim katsayıları karşılaştırıldığında ise en düşük ısı iletim katsayısı değerinin %4 P-MDI grubunda elde edildiği ve bu değer istatistiksel olarak anlamlı farklılık gösterdiği belirlenmiştir.

30 mm kalınlıktaki levhalarda yoğunluk ile ısı iletim katsayısı arasındaki ilişkinin incelenmesi için yapılan regresyon analizi sonuçları Tablo 3.26'da özetlenmiştir. Tabloya göre 30 mm kalınlıkta üretilen tüm ham levhalar için korelasyon katsayısı 0,972 anlamlılık değeri p ise 0,00 ($p < 0,05$) bulunmuş olup, bu değerler yoğunluk ve ısı iletim katsayısı arasında güçlü ve doğrusal bir ilişki olduğunu göstermektedir.

Tablo 3.26 Yoğunluk ve ısı iletim katsayılarına ilişkin regresyon analiz sonuçları (30 mm)

Levha yoğunluğu (d)	Isı iletim katsayısı (λ)	
	Korelasyon katsayısı	0,972
	Anlamlılık değeri (p)	0,00
	Determinasyon katsayısı (R^2)	0,944
	Sabit değer	0,029
	Regresyon katsayısı	0,115

Tablodaki R^2 değerine göre ısı iletim katsayısındaki değişimin %94'nün yoğunluk ile açıklanabileceği sonucuna varılmıştır. Sabit değer ve regresyon katsayıları dikkat alındığında ise elde edilen regresyon denklemi Eşitlik 3'te verilmiştir.

$$\lambda = 0,029 + 0,115 \times d \quad (3)$$

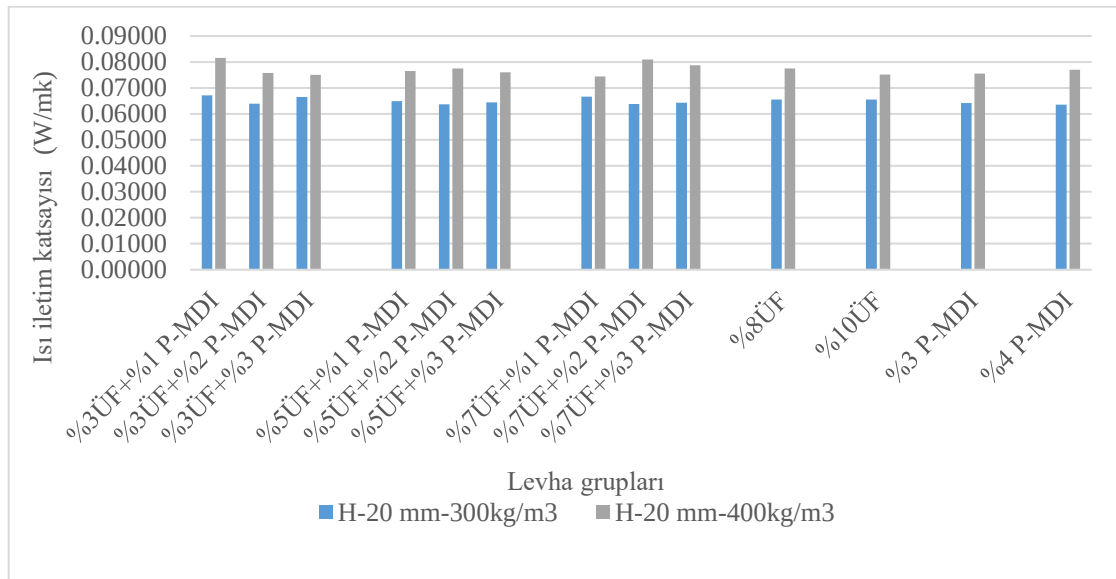
Pasztory vd. (2019) kabuk levhalarda panel yoğunluğunun ısı iletim katsayısını istatistiksel olarak önemli düzeyde etkilediğini belirtmiştir. Farklı bir çalışmada ise kabuk levhalar için ısı iletim katsayısı ve levha yoğunluğu arasında güçlü ve pozitif yönde bir korelasyon

($R=0,99$) olduğu vurgulanmıştır (Kain vd., 2018b).

Isı iletim özellikleri incelendiğinde toplam tutkal miktarı artışına bağlı olarak doğrusal bir değişim olmadığı gözlemlenmiştir. 20 mm kalınlık için hem 300 kg/m³, hem de 400 kg/m³ yoğunluklarda %8 ÜF kullanılan levha gruplarında elde edilen ısı iletim katsayısının, %10 ÜF kullanılan levha gruplarına göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. P-MDI tutkalında ise benzer bir durum söz konusu olmayıp, tutkal kullanım oranının %3'ten %4'e çıkması 300 kg/m³ yoğunluk için azalan ısı iletim katsayısı, 400 kg/m³ yoğunluk için artış göstermiştir. Isı iletim katsayısındaki bu değişimlerin yoğunluk etkisine bağlı olarak gerçekleştiği kanaatine varılmıştır. Kain vd. (2013a) ısı iletim katsayısı üzerinde tutkal miktarının önemli bir etkisi olmadığını buna karşın yoğunluğun oldukça önemli bir etkiye sahip olduğunu vurgulamıştır. Ayrıca 350 kg/m³ yoğunluktaki levhalarda 0,065 W/mK olan ısı iletim katsayısının yoğunluğun 550 kg/m³ olması ile 0,080 W/mK olduğunu belirtmiştir. Başka bir çalışmada kabuk levhalar için 200 kg/m³ ile 550 kg/m³ yoğunluklar arasında her 100 kg/m³ ek yoğunlukla artışı ile ısı iletim katsayısının 0,011 W/mK arttığı belirtilmektedir (Kain vd., 2012). Tez çalışmasında ise yoğunluğun 300 kg/m³'ten 400 kg/m³'e çıkmasıyla 20 mm kalınlık için hem ham hem de kaplanmış levhalarda 0,012 W/mK, 30 mm kalınlık için ise yine ham ve kaplamalı levhalarda 0,011 W/mK'lik bir artış olmuştur. Artış oranları incelendiğinde literatür ile uyumlu olduğu görülmektedir. Farklı bir çalışmada ise levhalarda en düşük ısı iletim katsayısını elde etmek için hava boşlukları ve yoğunluğun mümkün olduğunca küçük olduğu bir optimum yonga boyutu ve panel yoğunluğu olması gerektiği vurgulanmıştır (Kain vd., 2014). Kabuk yalıtım levhaları ile ilgili benzer çalışmalarda ısı iletim katsayılarının Pasztory ve Ronyecz, 2013 tarafından 0,0613 W/mK ile 0,0765 W/mK arasında, melez kabuklarından 283 kg/m³ ile 450 kg/m³ yoğunlukları arasında üretilen levhalarda 0,06241 W/mK ile 0,07561 W/mK arasında (Kain vd., 2018a), 350-400 kg/m³ yoğunluğa sahip levhalar için ise 0,065-0,070 W/mK olarak (Kristak vd., 2021) bulunduğu belirtilmiştir. Pasztory vd. (2019) ise 20 mm kalınlık, 250 kg/m³, 300 kg/m³ ve 350 kg/m³ yoğunluklarda üretilen kabuk yalıtım levhalarının ısı iletim katsayılarının sırası ile 0,059 W/mK, 0,063 W/mK ve 0,079 W/mK olduğunu ve mekanik özelliklerde göz önünde bulundurulduğunda optimum yoğunluğun 350 kg/m³ olacağını belirtmiştir. Brombacher vd. (2012)'de düşük yoğunluklu yalıtım levhalarının yapısındaki yüksek boşluk içeriği nedeniyle düşük ısı iletim katsayısına sahip olduğu, kabuk tipinin ısı iletim katsayısı üzerindeki etkisinin çok sınırlı olduğu ve esas olarak panel yoğunluğunun etken olduğunu belirtilmiş ve bu sonuçların farklı özellikteki ahşap kompozitler için de gözlemlendiği

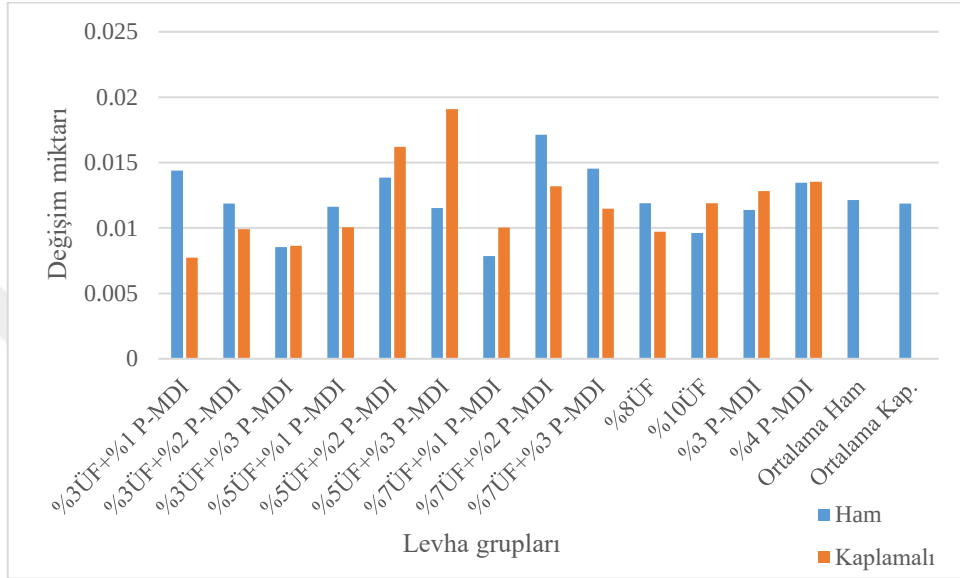
vurgulamıştır.

Çalışmamızda ham levhalarda yoğunluğun 300 kg/m^3 'ten 400 kg/m^3 'e çıkarılmasıyla 20 mm kalınlık için ısı iletim katsayısındaki artış en düşük %12, en yüksek %27, ortalama ise %19 olarak gerçekleşirken, 30 mm kalınlık için ortalama %17 oranında arttığı hesaplanmıştır. Kaplama etkisi ile ısı iletim katsayısında gerçekleşen ortalama artış ise 20 mm kalınlık için 300 kg/m^3 yoğunlukta %12, 400 kg/m^3 yoğunlukta %10, 30 mm kalınlık için ise 300 kg/m^3 yoğunlukta %8, 400 kg/m^3 yoğunlukta ise %6 olarak gerçekleşmiştir. Buradan anlaşılabileceği üzere 100 kg/m^3 'lük bir yoğunluk artışı yüzeylerin kaplanması işlemine göre ısı iletim katsayısını daha fazla arttırmıştır. Çünkü yoğunlukta 100 kg/m^3 'lük bir artış (300 kg/m^3 'ten, 400 kg/m^3 'e) %31'e denk gelmekte iken, yüzeylerin kaplanması ile meydana gelen yoğunluk artışı en fazla %16, ortalama olarak ise %8,5 olmuştur. Ayrıca kaplama işlemi ile ısı iletim katsayısındaki ortalama artış miktarları göz önünde bulundurulursa yüksek yoğunluk ve kalınlıktaki artışların düşük yoğunluk ve kalınlığa göre daha az olduğu anlaşılmıştır. Bu durum yoğunluk artışlarının da yüksek yoğunluk ve kalınlıkta daha az olması ile açıklanabilir. Yapılan ölçümlerde ısı iletim katsayısı üzerinde yoğunluğun etkisinin önemli olduğu ve değişen levha özelliklerinin ısı iletim katsayısını yoğunlukla yoğunluğa bağlı olarak etkilediği anlaşılmıştır. Şekil 3.5'te 20 mm kalınlıkta, 300 kg/m^3 ve 400 kg/m^3 yoğunluklarda üretilen levha gruplarının ısı iletim katsayıları incelendiğinde tüm levha gruplarında yoğunluk artışı ile ısı iletim katsayısında artış olduğu görülmektedir.



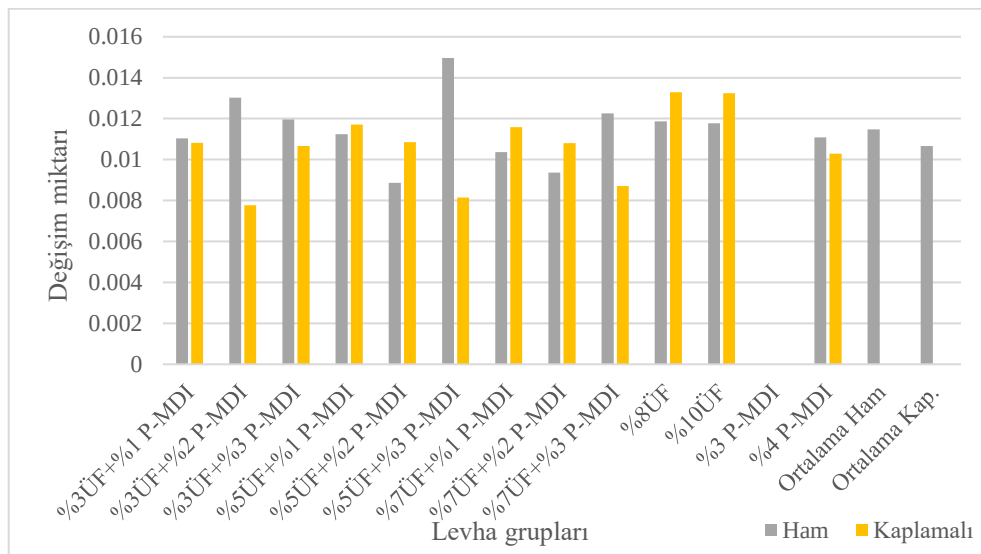
Şekil 3.5: Yoğunluk değişiminin ısı iletim katsayısı üzerine etkisi

Şekil 3.6 ve 3.7’de farklı kalınlıklarda üretilen levha gruplarında yoğunlukta yapılan 100 kg/m³’lük artışın ısı iletim katsayısı üzerindeki etkisi görülmektedir. Şekil 3.6’ya göre 20 mm kalınlıkta üretilen levha gruplarında yoğunluğun 100 kg/m³ artması ile ham ve kaplanmış levhalarda farklı miktarlarda artış meydana gelmiş, ortalama artış ise 0,012 W/mK olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 3.6: Yoğunluğun 100 kg/m³ artışı ile ısı iletim katsayısındaki değişim (20 mm)

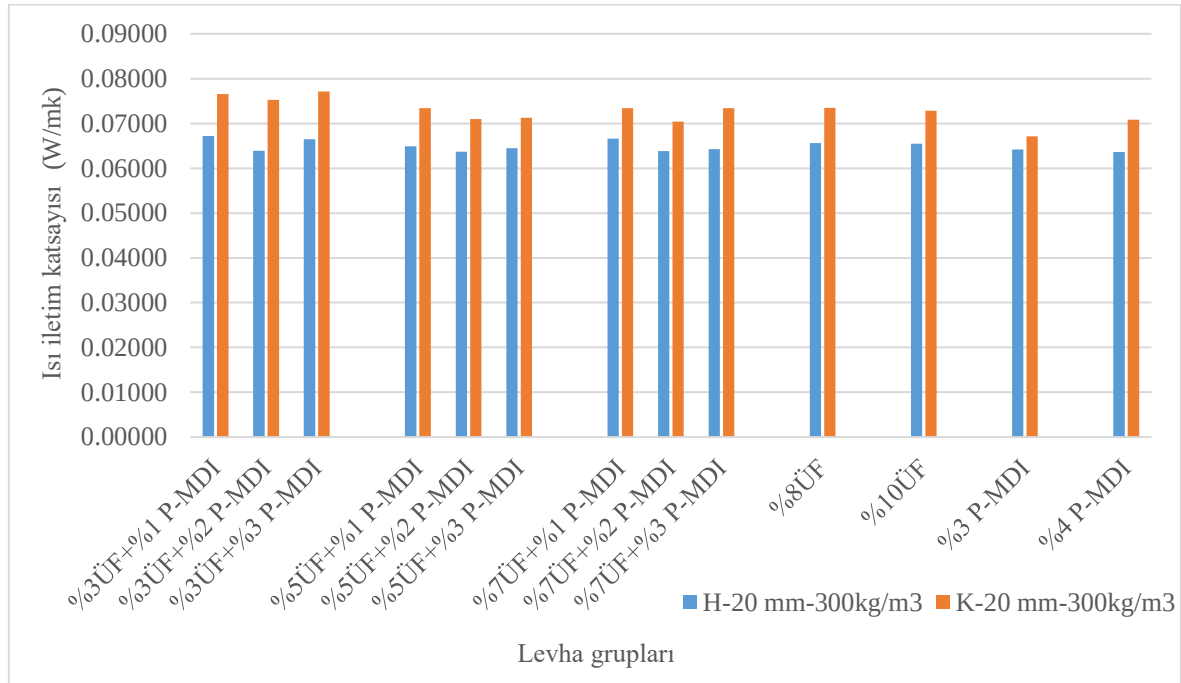
Şekil 3.7’de ise 30 mm kalınlık için ham ve kaplanmış levhalarda 100 kg/m³’lük artışın ısı iletim katsayısı üzerindeki etkisi görülmektedir.



Şekil 3.7: Yoğunluğun 100 kg/m³ artışı ile ısı iletim katsayısındaki değişim (30 mm)

Şekil 3.7 incelendiğinde 20 mm kalınlıkta olduğu gibi yoğunluk artışı ile ısı iletim katsayılarında farklı oranlarda artış gerçekleşmiş, ancak değişim miktarının 20 mm'ye göre daha düşük olduğu anlaşılmıştır. Ortalama ısı iletim katsayısı ham ve kaplanmış levhalar için 0,011 W/mK olarak hesaplanmıştır.

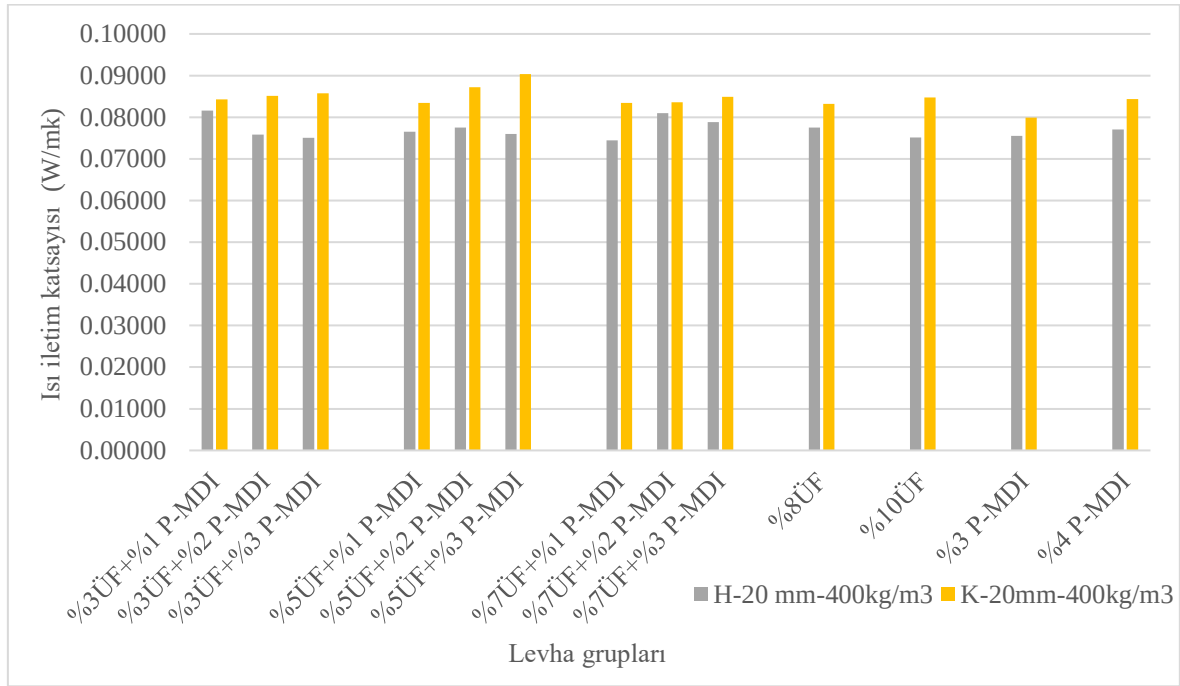
Yoğunluk değişimi ile levha yüzeylerinin kaplanması da ısı iletim katsayıları üzerinde etkili olmuştur. Şekil 3.8'de 20 mm kalınlık ve 300 kg/m³ yoğunlukta üretilen ham ve yüzeyi kaplanmış levha gruplarının ısı iletim katsayıları görülmektedir. Şekil incelendiğinde tüm levha grupları için yüzeyleri kaplanmış levhaların ham levhalara göre daha yüksek ısı iletim katsayısı verdiği anlaşılmıştır.



Şekil 3.8:Kaplama işleminin ısı iletim katsayısı üzerine etkisi (300kg/m³)

Şekil 3.9'da ise 20 mm kalınlık ve 400 kg/m³ yoğunlukta üretilen levhaların yüzeylerinin kaplanması ile ısı iletim katsayılarında meydana gelen değişim görülmektedir. Şekil incelendiğinde 300 kg/m³ yoğunlukta olduğu gibi kaplamanın etkisi ile ısı iletim katsayılarında artış meydana gelmiş ancak bu artışın, 300 kg/m³ yoğunluğa göre daha sınırlı olarak gerçekleştiği anlaşılmıştır. Yapılan hesaplamalarda 20 mm kalınlıkta yüzeylerin kaplanması ile meydana gelen ortalama yoğunluk artışının 300 kg/m³ için %16, 400 kg/m³ için ise %9 olduğu belirlenmiştir. Yüzeylerin kaplanması ile ısı iletim katsayısının artmasının yoğunluk artışının yanında levhaların porozitesinin azalmasıyla da ilgili olduğu

düşünülmektedir.

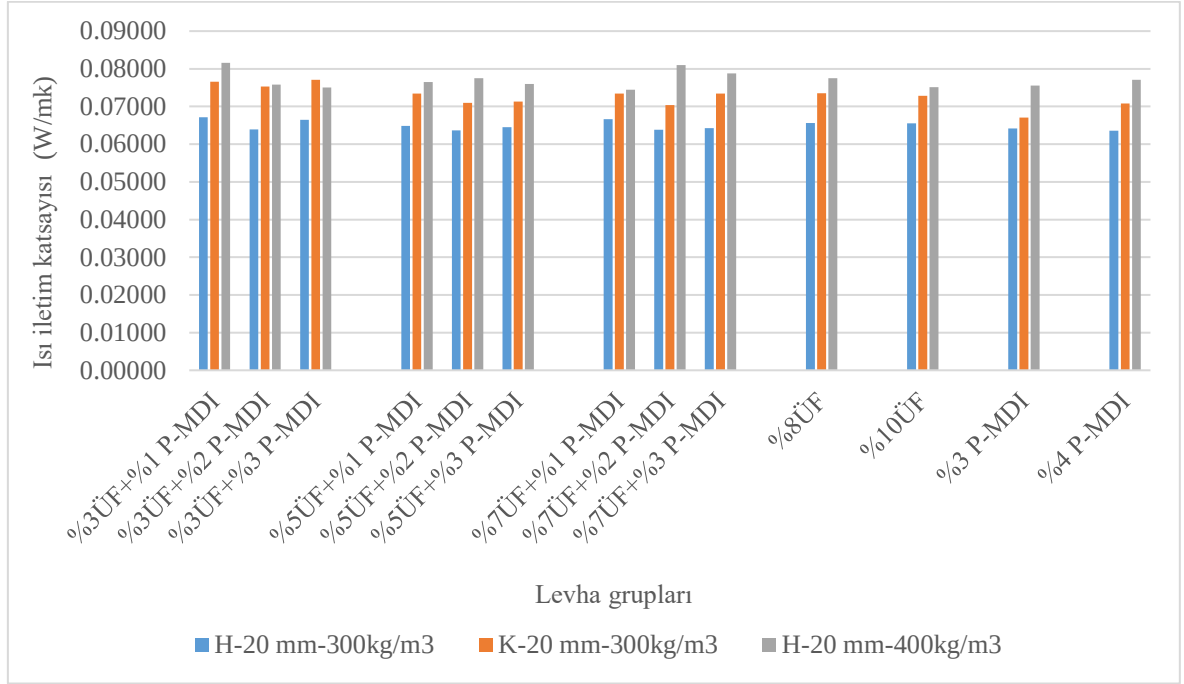


Şekil 3.9:Kaplama işleminin ısı iletim katsayısı üzerine etkisi (400 kg/m³)

Kaplanmış levhalarda kalınlık artışına rağmen kaplama etkisi ile yoğunluk artışı da olduğundan ısı iletim katsayısı da artmış bunun sonucunda ısı direncin beklenenden daha düşük değerler aldığı gözlemlenmiştir. Diğer taraftan kaplama etkisi ile ısı iletim katsayısı artmasına rağmen kalınlıkta arttığı için ısı direnç değerlerinde artış olduğu gözlemlenmiştir. Malzemenin yalıtımı özelliği ısı direncin artması ile arttığından kaplama kalınlığının seçimi önem arz etmektedir. Tez çalışmasında elde edilen ısı direnç değerleri 20 mm kalınlık için 300 kg/m³ yoğunlukta 0,287 m²K/W-0,303 m²K/W arasında, 400 kg/m³ yoğunlukta 0,236 m²K/W-0,263 m²K/W arasında, 30 mm kalınlık için ise 300 kg/m³ yoğunlukta 0,406 m²K/W-0,442 m²K/W, 400 kg/m³ yoğunlukta ise 0,349 m²K/W-0,379 m²K/W arasında değerler aldığı tespit edilmiştir. 18 mm ile 19 mm kalınlıklar arasındaki farklı ahşap malzemeler için ısı direnç değerlerinin 0,139 m²K/W ile 0,223 m²K/W arasında değiştiği belirtilmiştir (Şahin ve Döngel, 2018). Bu ısı direnç değerlerine kıyasla tez çalışmasında daha düşük yoğunluk ve ısı iletim katsayısı ve 30 mm kalınlık göz önünde bulundurulduğunda daha yüksek ısı direnç değerleri elde edilmesi normal bir durumdur.

Levha yüzeylerinin kaplanması ve yoğunluğun 100 kg/m³ artması ısı iletim katsayılarını farklı oranlarda etkilemiştir. Şekil 3.10'da 20 mm kalınlıkta üretilen levhaların yüzeylerinin

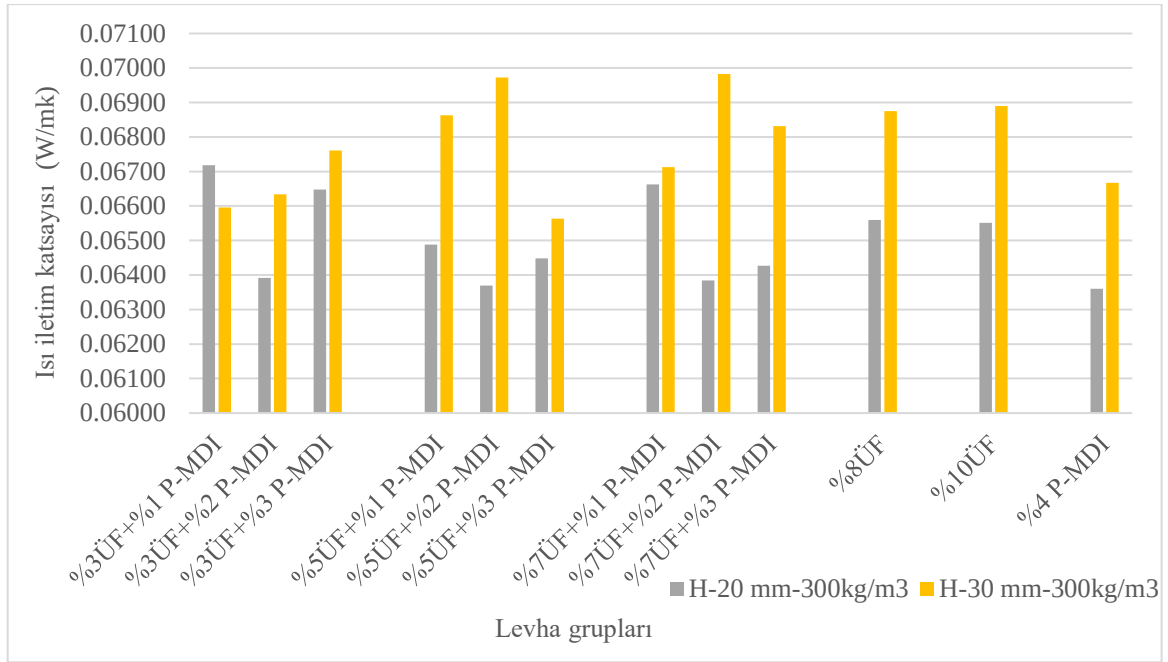
kaplanması ve yoğunlukta meydana gelen 100 kg/m^3 'lük artışın ısı iletim katsayısı üzerine etkisi karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.10: Kaplama ve 100 kg/m^3 'lük yoğunluk artışının ısı iletim katsayısı üzerine etkisi

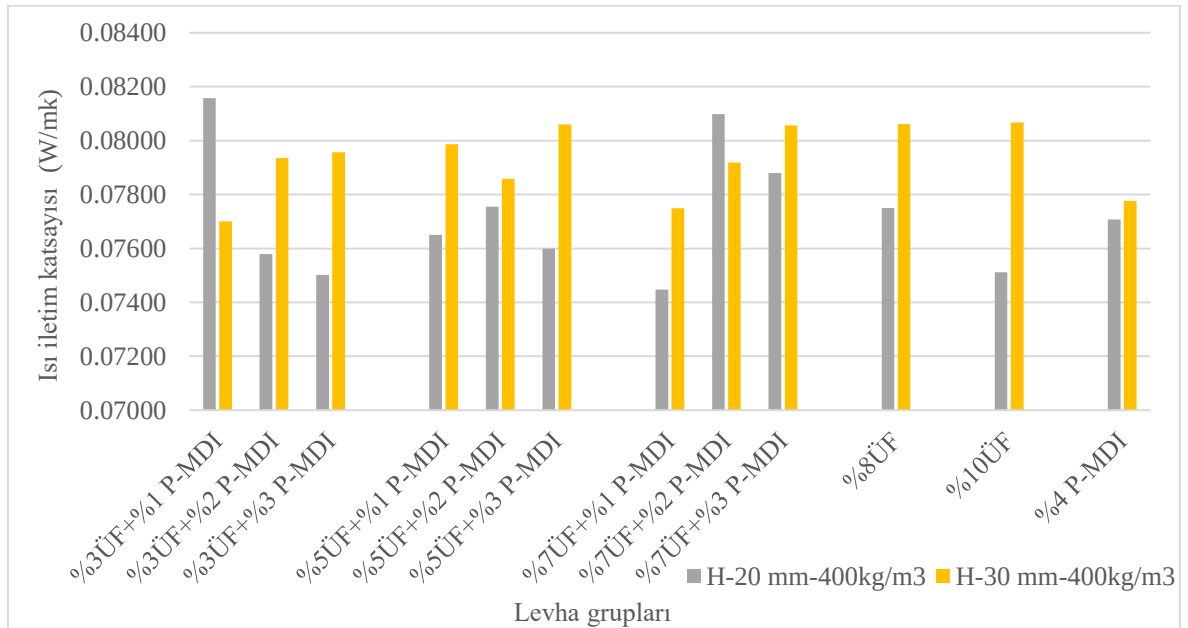
Şekil 3.10 incelendiğinde hem yüzeylerin kaplanması hem de yoğunluk artışının ısı iletim katsayısını arttırdığı, ancak yoğunluk artışının yüzeylerin kaplanmasına oranla daha etkili olduğu anlaşılmıştır. Yapılan hesaplamalara göre 20 mm kalınlık, 300 kg/m^3 yoğunluk için yüzeylerin kaplanması ile ısı iletim katsayısı ortalama %12 artarken, yoğunluğun 300 kg/m^3 'ten 400 kg/m^3 'e çıkmasıyla artış miktarı %19 olmuştur.

Şekil 3.11 ve 3.12'de ısı iletim katsayısı üzerinde kalınlığın etkisi görülmektedir. Şekil 3.11'de 300 kg/m^3 yoğunlukta kalınlığın 20 mm'den 30 mm'ye çıkmasıyla %3 ÜF+%1 P-MDI grubu dışında ısı iletim katsayılarının arttığı görülmüştür. Kalınlık artışı ile ısı iletim katsayısında meydana gelen ortalama artış ise %4,33 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.11: Kalınlığın ısı iletim katsayısı üzerine etkisi (300 kg/m³)

Şekil 3.12’de ise 400 kg/m³ levhalarda kalınlığın 20 mm’den 30 mm’ye çıkmasıyla ısı iletim katsayısındaki değişim görülmektedir. Şekil incelendiğinde %3 ÜF+%1 P-MDI ve %7 ÜF+%2 P-MDI levha grubu dışında kalınlık artışı ile ısı iletim katsayısında artış olduğu anlaşılmıştır. Bu artış miktarı 300 kg/m³ yoğunluğa göre daha düşük olup, ortalama %2,78 olarak gerçekleşmiştir.



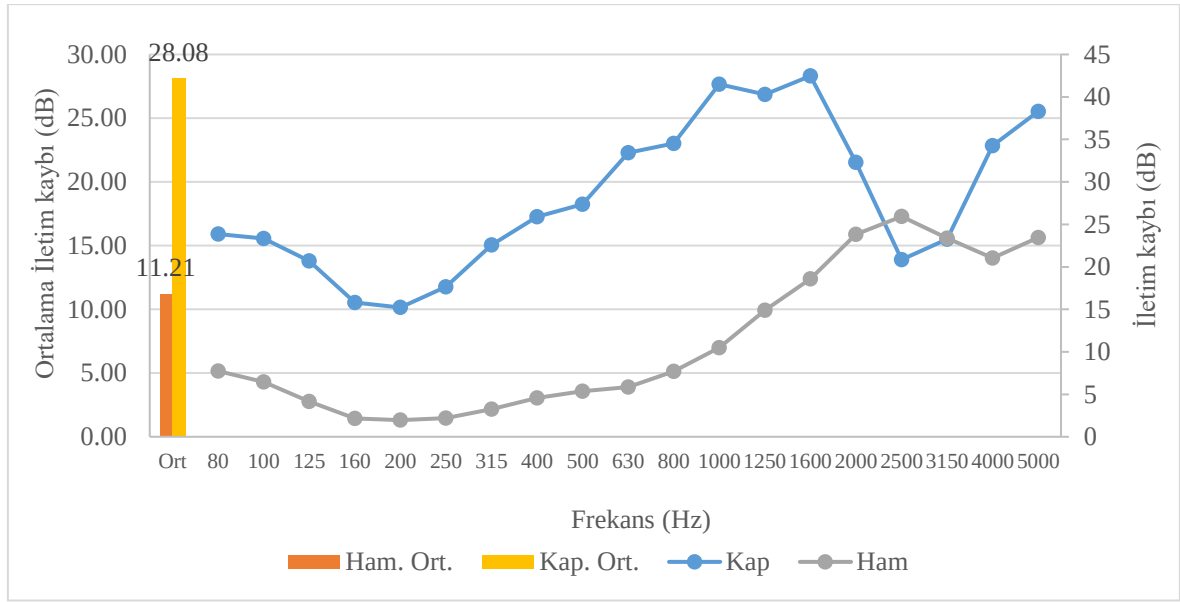
Şekil 3.12: Kalınlığın ısı iletim katsayısı üzerine etkisi (400 kg/m³)

Kalınlık etkisi ile ısı iletim katsayısındaki değişim incelendiğinde ise 300 kg/m³ yoğunluktaki levhalarda tek bir varyasyon (%3 ÜF+%1 P-MDI), 400kg/m³ yoğunluktaki levhalarda ise iki farklı varyasyon (%3 ÜF+%1 P-MDI ve %7 ÜF+%2 P-MDI) dışında kalınlığın 20 mm'den 30 mm'ye çıkmasıyla ısı iletim katsayısında artış olduğu tespit edilmiştir. Ortalama artış miktarı 300 kg/m³ yoğunluktaki levhalarda %4,33, 400 kg/m³ levhalarda ise %2,78 olarak hesaplanmıştır.

Isı iletim katsayısına ilişkin sonuçlar değerlendirildiğinde yoğunluk değişiminin ısı iletim katsayısı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu anlaşılmıştır. Aynı yoğunluklarda tutkal karışımları içerisindeki ÜF ve P-MDI oranlarının değişimi ile elde edilen ısı iletim katsayıları arasında da istatistiksel olarak önemli farklar olduğu belirlenmiştir. Kaplama etkisi ile yoğunlukta da artış olduğundan kaplanmış levhaların ısı iletim katsayıları ham levhalara göre daha yüksek bulunmuştur. Ancak bu yükselmenin levha yoğunluğunda yapılan 100 kg/m³'lük bir artışa göre daha az olduğu anlaşılmıştır. Bu durumun kaplama levhaların yoğunlukları ve ısı iletim katsayılarının yüksek olmasından kaynakladığı düşünülmektedir. TS 825 (2013) standardında rende yongası ahşap ısı yalıtım levhalarında 360 kg/m³ ile 460 kg/m³ yoğunluklar arasında ısı iletim katsayısı değerinin 0,065 W/mK ile 0,090 W/mK arasında olması istenmektedir. Çalışmada elde edilen sonuçlar incelendiğinde 20 mm ile 30 mm kalınlıklarda, 300 kg/m³ ve 400 kg/m³ yoğunluklarda üretilen tüm levha gruplarının ısı iletim katsayısı değerlerinin standartta belirtilen sınırlar arasında olduğu anlaşılmıştır.

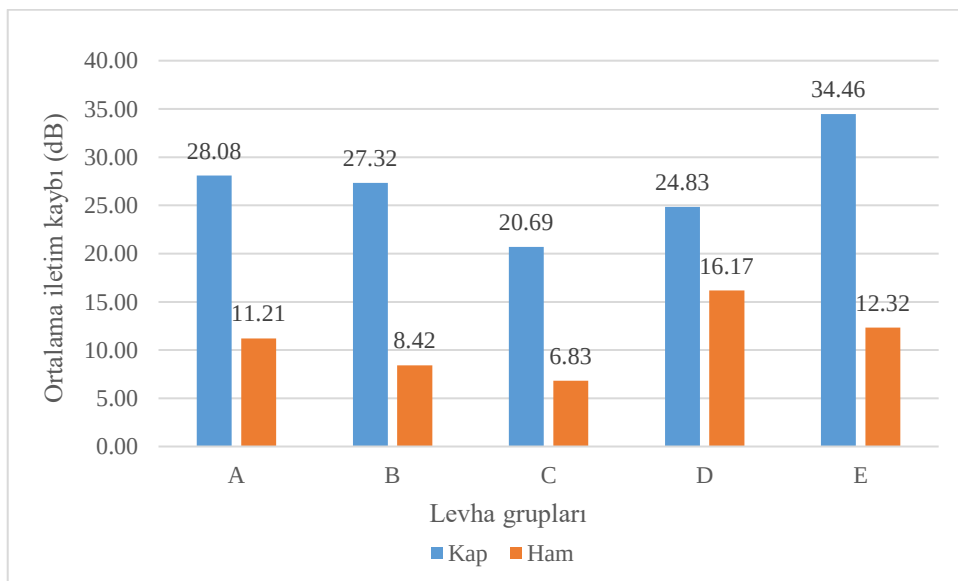
3.5 Levhaların Ses İletim Kaybı Özellikleri

Deney levhalarının ses iletim özelliklerini belirlemek amacıyla, farklı varyasyonlara ait levhalarda ses iletim kaybı ölçümleri yapılmıştır. Şekil 3.13'te 20 mm kalınlıkta ve 300 kg/m³ yoğunlukta üretilen ham ve kaplanmış numunelere ait ses iletim kayıpları görölmektedir. Aynı kalınlık ve yoğunlukta üretilmiş kaplanmış levhalar ile ham levhaların ses iletim kayıpları karşılaştırıldığında kaplamanın etkisiyle hem düşük hem de yüksek frekanslarda ses iletim kayıplarında artış olduğu görölmektedir. Ayrıca ortalama ses iletim kaybı ham levhalar için 11,21 dB, kaplamalı levhalar için ise 28,08 dB olarak hesaplanmıştır.



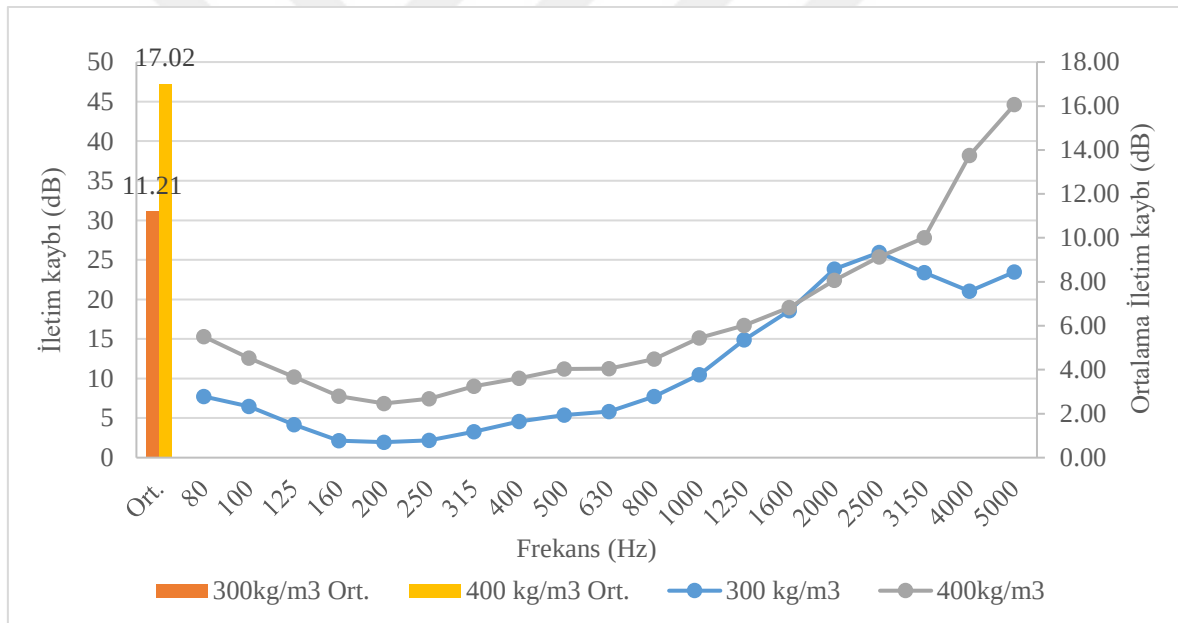
Şekil 3.13 20 mm kalınlıkta ve 300 kg/m³ yoğunlukta üretilen ham ve kaplanmış numunelere ait ses iletim kayıpları

Şekil 3.14'te ise 20 mm kalınlık ve 300 kg/m³ yoğunlukta üretilen A (%5ÜF+%1P-MDI), B (% 5ÜF+%2 P-MDI), C (%5 ÜF+% 3P-MDI), D (%7 ÜF+%2 P-MDI) ve 20 mm kalınlık, 400 kg/m³ yoğunlukta üretilen E (% 3 P-MDI) levha gruplarına ait ortalama ses iletim kayıpları verilmiştir. Şekil 3.14 incelendiğinde farklı özellikteki tüm levha grupları için kaplama etkisi ile daha yüksek ses iletim kayıpları elde edildiği tespit edilmiştir. Farklı frekanslardaki ses iletim kayıpları ve ortalama ses iletim kaybı dikkate alındığında ses yalıtımı açısından kaplanmış levhaların daha uygun olacağı anlaşılmaktadır.



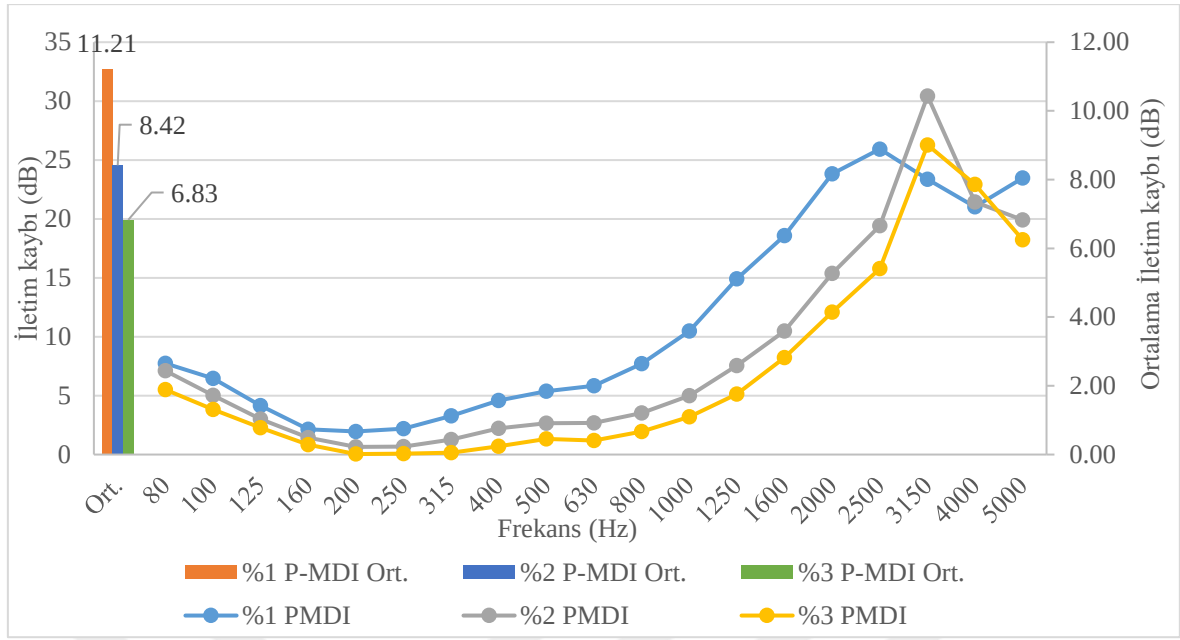
Şekil 3.14 Farklı levha gruplarının ortalama ses iletim kayıpları

Şekil 3.15'te 20 mm kalınlıkta 300 kg/m³ ve 400 kg/m³ yoğunluklarda üretilen ham numunelere ait farklı frekanslardaki ve ortalama ses iletim kayıpları görülmektedir. Şekil 3.15 incelendiğinde aynı kalınlıklarda üretilen levhalardan 400 kg/m³ yoğunluktaki levhaların ses iletim kayıplarının 300 kg/m³ yoğunluktaki levhalardan daha yüksek olduğu anlaşılmıştır. Levha yoğunluğunun artmasıyla özellikle yüksek frekanslarda iletim kayıplarındaki artışın daha da fazla olduğu görülmektedir. 2500 Hz'e kadar benzer bir iletim kaybı olduğu bu noktadan sonra 400 kg/m³ yoğunluktaki levha grubunun iletim kaybının artarak devam ettiği, 300 kg/m³ te ise iletim kaybında bir miktar azalma olduğu görülmüştür. Ortalama ses iletim kaybı ise 300 kg/m³ yoğunlukta 11,21 dB olarak gerçekleşirken, 400 kg/m³ yoğunlukta ise 17,02 dB olmuştur. Bu sonuçlara göre ses yalıtımı açısından yoğunluğun yüksek olmasının daha uygun olacağı kanaatine varılmıştır.



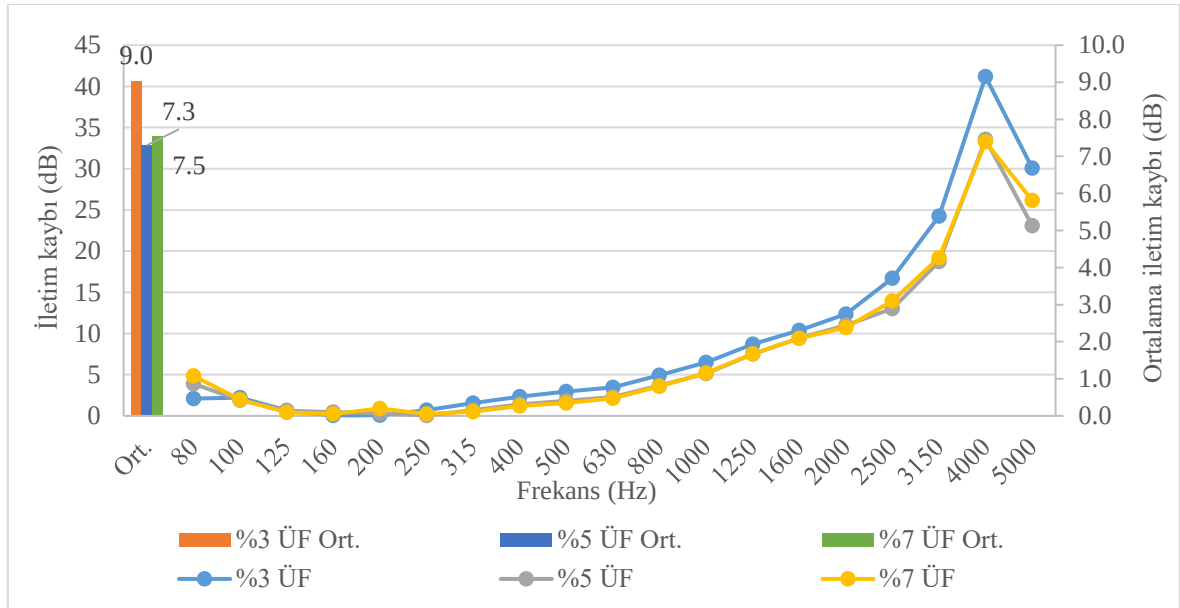
Şekil 3.15: Yoğunluk değişiminin ses iletim kaybı üzerine etkisi

Şekil 3.16'da 20 mm kalınlık, 300 kg/m³ yoğunlukta ve sabit orandaki (%5) ÜF tutkalına farklı oranlarda (%1, %2 ve %3) P-MDI ilavesi ile üretilmiş levhalara ait farklı frekanslardaki ve ortalama ses iletim kayıpları görülmektedir. Şekil 3.16'da incelendiğinde, artan P-MDI ilavesi ile düşük frekanslarda ses iletim kayıplarında azalma olduğu görülmektedir. Yüksek frekanslarda ise P-MDI ilavesinin %1'den %2'ye çıkmasıyla iletim kayıplarında artış olduğu, ancak %3 P-MDI ilavesinde tekrar azalma eğiliminde olduğu anlaşılmıştır.



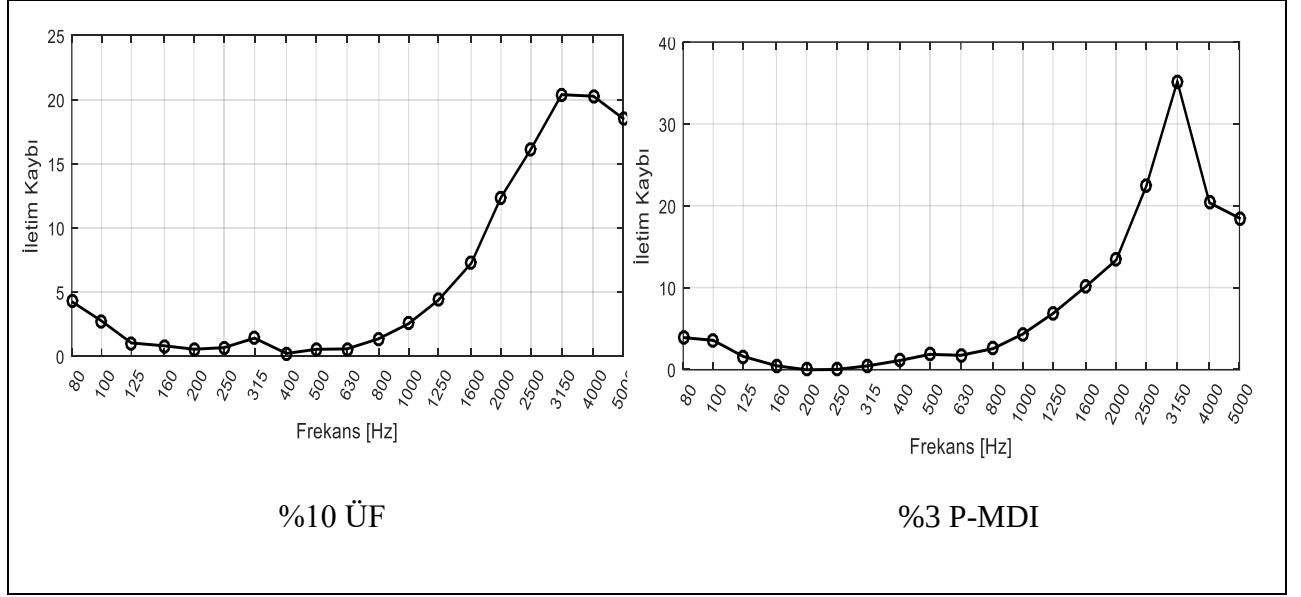
Şekil 3.16 Sabit ÜF miktarına farklı oranlarda P-MDI ilavesinin ses iletim kaybı üzerine etkisi

Üç farklı P-MDI ilavesinde benzer ses iletim kayıpları görülmekle beraber en yüksek ses iletim kaybı 3150 Hz civarında %2 P-MDI ilavesinde elde edilmiştir. Ancak ortalama iletim kayıpları hesaplandığında en yüksek değer 11,21 dB ile %1 P-MDI ilavesinde görülmüş, %2 ve %3 P-MDI ilavesinde ise ortalama iletim kayıpları sırası ile 8,42 dB ve 6,83 dB olarak gerçekleşmiştir. Sonuç olarak düşük frekanslar için %1, yüksek frekanslarda ise %2 P-MDI ilavesinin ses yalıtımı açısından en uygun sonuçları verdiği anlaşılmaktadır. Şekil 3.17'de 30 mm kalınlık, 300 kg/m³ yoğunlukta ve sabit P-MDI (%2) tutkalına farklı oranlarda (%3, %5 ve %7) ÜF ilavesi ile üretilmiş levhalara ait farklı frekanslardaki ve ortalama ses iletim kayıpları görülmektedir.



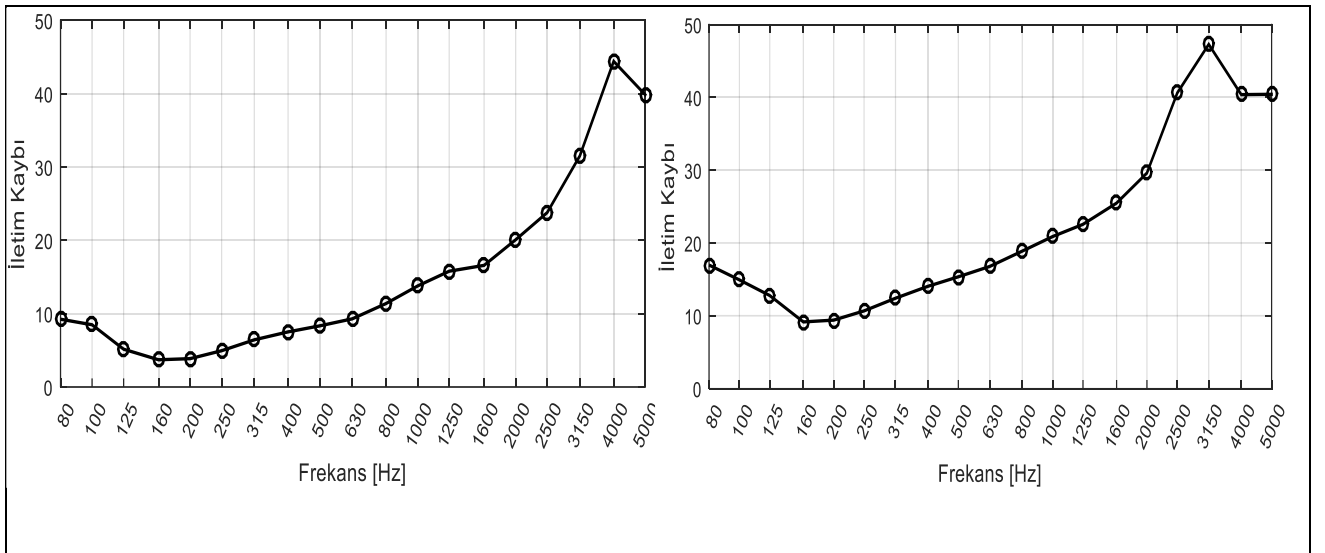
Şekil 3.17 Sabit P-MDI miktarına farklı oranlarda ÜF ilavesinin ses iletim kaybı üzerine etkisi

Şekil 3.17’de incelendiğinde, ses iletim kayıplarının benzer bir seyirde ilerlediği görülmektedir. Farklı olarak %2 P-MDI+%3 ÜF numunesinde yüksek frekanslardaki ses iletim kayıplarının daha fazla olduğu anlaşılmıştır. En yüksek ses iletim kaybı 4000 Hz civarında %3 ÜF ilavesinde elde edilmiştir. Ortalama iletim kayıpları hesaplandığında ise %3, %5 ve %7 ÜF için sırası ile 9 dB, 7,3 dB ve 7,5 dB olarak gerçekleşmiştir. Bu sonuçlara göre sabit P-MDI (%2) kullanımında ses yalıtımı açısından en uygun ÜF katkısı oranının %3 olduğu anlaşılmıştır. Şekil 3.18’de 20 mm kalınlık, 300 kg/m³ yoğunlukta %10 ÜF ve %3 P-MDI tutkalları ayrı ayrı kullanılarak üretilen ham levhalara ait ses iletim kayıpları görülmektedir.



Şekil 3.18: Farklı tutkal kullanımının ses iletim kaybına etkisi (20 mm-300 kg/m³)

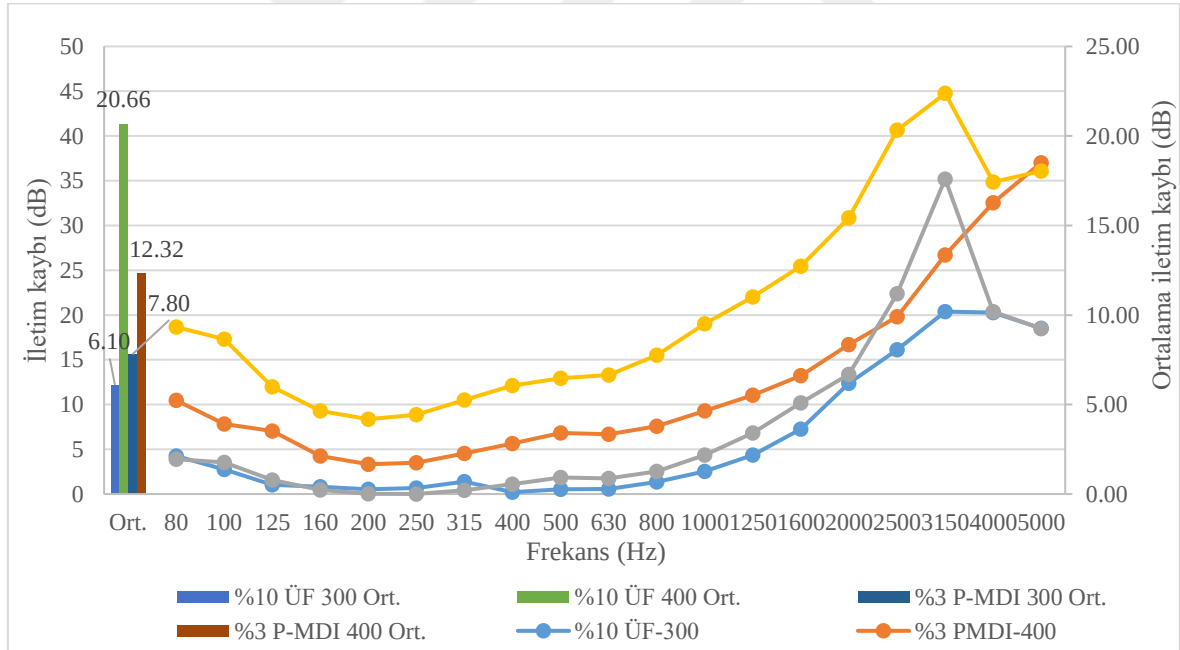
%10 ÜF ile % 3P-MDI tutkalları ile üretilen levhalara ait ses iletim kayıpları incelendiğinde sadece P-MDI tutkalı kullanımında hem düşük hem de yüksek frekanslarda ÜF tutkalına göre daha fazla ses iletim kaybı olduğu görülmektedir. Buna bağlı olarak da P-MDI kullanımında ses yalıtım özelliğinin daha iyi olacağı anlaşılmıştır. Şekil 3.19’da 30 mm kalınlık, 400 kg/m³ yoğunlukta %10 ÜF ve %4 P-MDI tutkalları ayrı ayrı kullanılarak üretilen ham levhalara ait ses iletim kayıpları görülmektedir.



Şekil 3.19: Farklı tutkal kullanımının ses iletim kaybına etkisi (30 mm-400 kg/m³)

Şekil 3.19’da görüldüğü gibi %4 P-MDI levhasına ait ses iletim kayıplarının düşük frekanslarda, %10 ÜF levhasına göre daha fazla olduğu, yüksek frekanslarda ise birbirine yakın değerler aldığı görülmektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde ise sadece P-MDI tutkalı kullanımında hem düşük hem de yüksek frekanslarda ÜF tutkalına göre daha fazla ses iletim kaybı olduğu anlaşılmıştır.

Şekil 3.20 ’de %10 ÜF ve %3 P-MDI tutkalları ile iki farklı yoğunlukta (300 kg/m^3 ve 400 kg/m^3) üretilen levha gruplarının ses iletim kayıpları görülmektedir. Şekil 3.20 incelendiğinde aynı tutkal tipinde yoğunluk artışı ile ses iletim kaybında da artış olduğu anlaşılmıştır. Bu artışın %10 ÜF kullanımında %3 P-MDI tutkalına göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Ortalama ses iletim kayıpları ise 300 kg/m^3 yoğunlukta %10 ÜF’de 6,10 dB, %3 P-MDI’da ise 7,80 dB olurken, 400 kg/m^3 yoğunlukta %10 ÜF’de 20,66 dB, %3 P-MDI kullanımında ise 12,32 dB olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlardan da yoğunluk artışının ÜF tutkalı ile üretilen levhalarda daha fazla ses iletim kaybına neden olduğu anlaşılmaktadır.

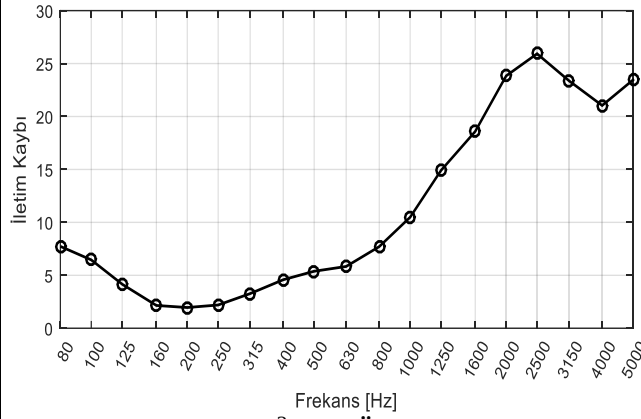


Şekil 3.20: Tutkal tipi ve yoğunluk değişiminin ses iletim kaybı üzerine etkisi

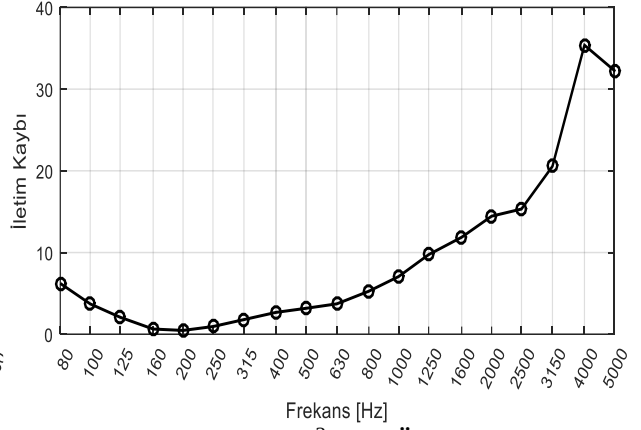
Şekil 3.21’de 20 mm ve 30 mm kalınlıklarda ham olarak üretilen levhaların ses iletim kayıpları üzerine kalınlığın etkisi görülmektedir. Şekilde %5 ÜF+%1 P-MDI tutkal karışımında ve 300 kg/m^3 yoğunlukta üretilen ham 20 mm ile 30 mm, %5 ÜF+%2 P-MDI tutkal karışımında ve 400 kg/m^3 yoğunlukta üretilen ham 20 mm ile 30 mm ve %10 ÜF ile üretilen 300 kg/m^3 yoğunluktaki ham 20 mm ile 30 mm levhalar karşılaştırılmıştır. Şekil

3.21 incelendiğinde genel olarak kalınlık artışı ile ses iletim kayıplarında artış olduğu ve bu artışın yüksek frekanslarda daha belirgin olduğu görülmektedir. Ayrıca kalınlık artışının ses iletim kaybı üzerindeki etkisinin 300 kg/m³ yoğunluklardaki levhalarda daha sınırlı olduğu, buna karşın yoğunluğun 400 kg/m³'e çıkmasıyla kalınlık etkisi ile ses iletim kaybının arttığı anlaşılmıştır.

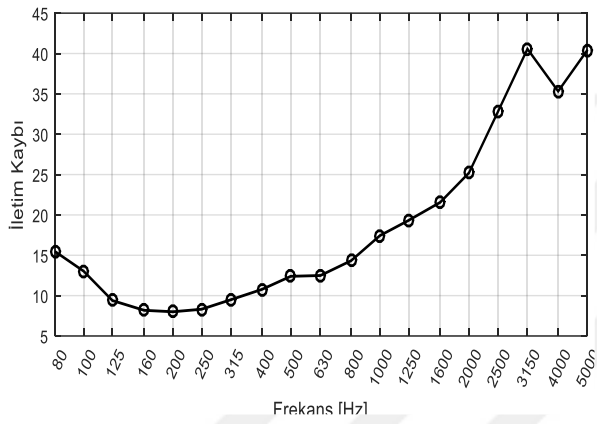




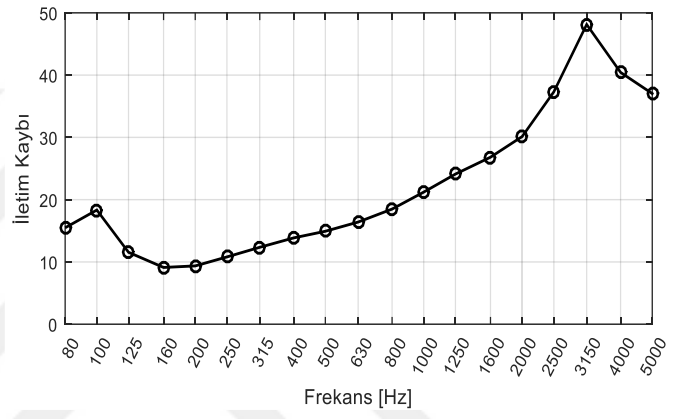
20 mm-300 kg/m³ (%5 ÜF+%1 P-MDI)



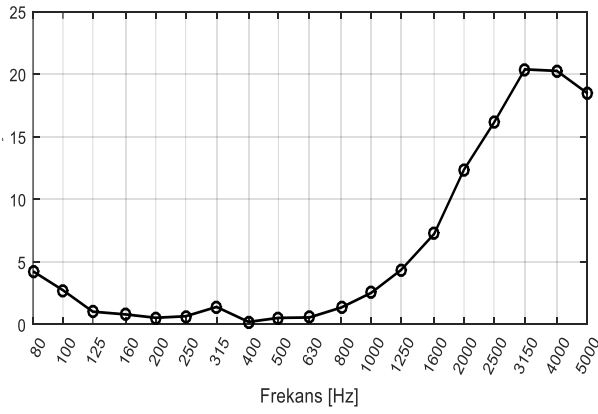
30 mm-300 kg/m³ (%5 ÜF+%1 P-MDI)



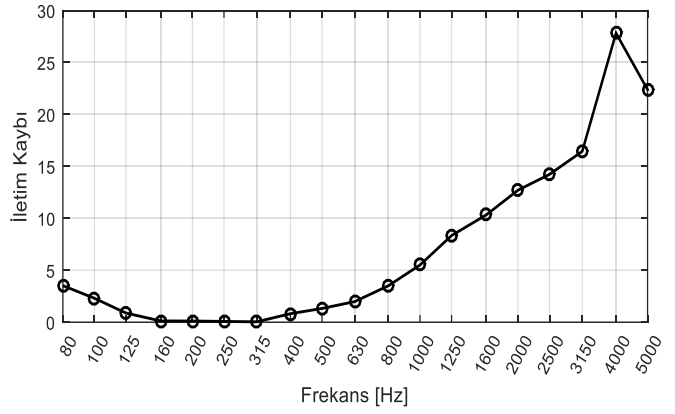
20 mm-400 kg/m³ (%5 ÜF+%2 P-MDI)



30 mm-400 kg/m³ Ham (%5 ÜF+%2 P-MDI)



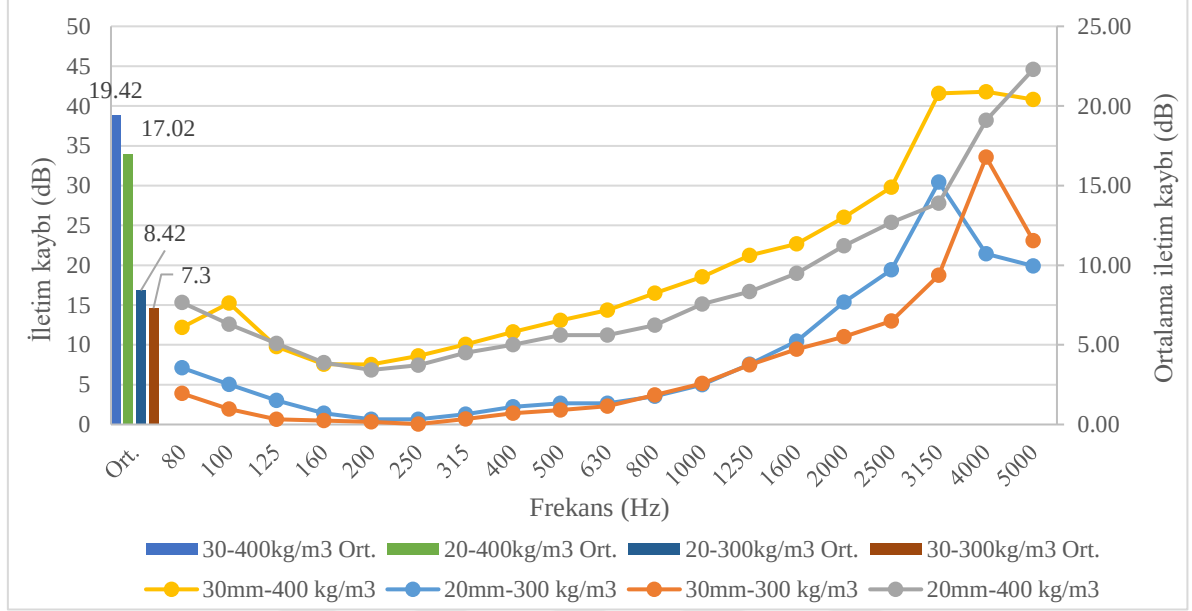
20 mm-300 kg/m³ (%10 ÜF)



30 mm-300 kg/m³ (%10 ÜF)

Şekil 3.21: Farklı levha gruplarında kalınlığın ses iletim kaybına etkisi

Şekil 3.22’de 300 kg/m³ ve 400 kg/m³ yoğunluklarda üretilen deney levhalarında kalınlık ve yoğunluk değişiminin farklı frekanslardaki ve ortalama ses iletim kaybına etkisi görülmektedir.



Şekil 3.22: Kalınlık ve yoğunluk değişiminin ses iletim kaybı üzerine etkisi

Şekil 3.22’ye göre 300 kg/m³ yoğunlukta 20 mm kalınlıkta üretilen levhaların, 30 mm’ye göre daha fazla ses iletim kaybı verdiği, yoğunluğun 400 kg/m³’e çıkması durumunda ise 30 mm kalınlığındaki levhalarda daha fazla ses iletim kaybı gerçekleştiği anlaşılmıştır. 300 kg/m³ yoğunluk için 20 mm kalınlıkta 8,42 dB olan ortalama ses iletim kaybı, 30 mm kalınlık için 7,30 dB olarak hesaplanmıştır. 400 kg/m³ yoğunluk için gerçekleşen ortalama iletim kaybı ise 20 mm kalınlıkta 17,02 dB, 30 mm kalınlıkta ise 19,42 dB olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre özellikle yüksek levha yoğunluklarında ses yalıtımı açısından 30 mm kalınlığındaki levhaların kullanımının daha uygun olduğu anlaşılmaktadır.

Bir malzemenin ses yalıtım yeteneği, gelen dalganın ses gücü seviyesi ile iletilen ses gücü arasındaki fark olarak tanımlanabilen ses iletim kaybı ile ölçülmektedir. Doğal elyaf esaslı kompozitlerin ses yalıtım özellikleri, elyaflar arası boşluklar ve elyaf içi boşluklar tarafından kontrol edildiği ve yoğunluğun lifli düzeneklerin gözenekliliği üzerinde büyük etkisi olduğundan farklı gürültü azaltma davranışlarına neden olabildiği belirtilmektedir (Zhu vd., 2014)

Farklı ağaç türleri yoğunluk değişimine göre farklı ses iletim kayıpları gösterebilmektedir. Bunun ahşabın farklı anatomik ve anizotrop yapısı, ses iletim kaybını etkileyen odun hücrelerinin boşluklarında bulunan hava ve ağacın gözenekli yapısından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Ayrıca odunun düzensiz yapısı, özgül kütle, yüzeyin pürüzlülüğü, nem içeriği ve ısı arttığında ses iletim kaybının arttığı belirtilmiştir. Ortalama ses iletim kaybı ile türlerin yoğunluğu arasında bir ilişki kurulamamasına rağmen özellikle yüksek frekanslarda düşük yoğunluklu ağaç türlerinde, yüksek yoğunluklulara göre daha fazla ses iletim kaybı meydana geldiği vurgulanmıştır (Çavuş ve Kara, 2020).

Ses yalıtımı ve absorpsiyon değerlerini etkileyen parametrelerin yoğunluk, gözeneklilik ve malzeme kalınlığı olduğunu, daha kalın ve yoğun malzemelerin daha yüksek iletim kaybı verdiğini, gözenekli malzemelerin ise ses yutmada daha iyi olduğu belirtilmiştir (Bucur, 2006; Arenas ve Crocker, 2010; McMullan, 2002; Karlinasari vd., 2012).

Ses iletim kayıpları incelendiğinde %10 ÜF ile üretilen levha grubu dışında 300 kg/m³ levhalar için kalınlığın 20 mm'den 30 mm'ye çıkmasıyla ses iletim kayıplarının arttığı görülmüştür. Ayrıca yoğunluğun artması ve yüzeylerin kaplanması ile daha sağlam ve sert bir yüzey oluşmuş ve daha yüksek ses iletim kayıpları gerçekleşmiştir. Yapılan bir çalışmada hafif panellerde özellikle düşük frekanslarda panel kalınlığının artması ile akustik özelliklerin iyileştiği belirtilmiştir (Tudor vd., 2021). Ahşap ve ahşap esaslı malzemelerin ses yalıtımı sağlaması için belirli bir kalınlıkta olması gerektiği ve yüzey yoğunluğu arttıkça ses iletim kaybının arttığı ancak bunun dışında iletim kaybının özellikle düşük frekanslarda levhaların sertliği ve rezonansa da bağlı olduğu belirtilmiştir. Ayrıca levhaların sertliğinin kalınlık ve young modülünün artırılması ile iyileştirilebileceği vurgulanmıştır (Peng, 2017). Yapılan farklı çalışmalarda ahşap odun plastik kompozitlerde yüzey yoğunluğunu ve sertliği arttıran dolgu maddelerinin ses iletim kayıplarını arttırdığı, dolgu maddesi boyutu arttıkça iletim kaybının daha da fazla olduğu belirtilmiştir (Liang vd., 1999; Li vd., 2013a; Kim vd., 2015).

Tez çalışmasında 20 mm kalınlıkta ham ve kaplanmış levhalar için yapılan ölçümlerde ses iletim kayıpları sırasıyla 25,63 dB ve 30,96 dB olarak elde edilmiştir. Yapılan bir çalışmada farklı özellikteki kaplanmış ve kaplanmamış orta yoğunluklu lif levha (MDF) ve yüksek yoğunluklu lif levha (HDF) için 400 Hz-5000 Hz arası ortalama ses iletim kayıplarının 4,98 dB ile 15,82 dB arasında olduğu belirtilmiştir. Ayrıca melamin reçineli dekor kâğıdı ve

yüksek basınç laminat kaplanmış MDF levhaların ses iletim kaybı, kaplanmamış ve PVC kaplanmış MDF levhaların ses iletim kaybına göre, özellikle 1000 Hz ile 2000 Hz frekans ses değeri aralığında olmak üzere, tüm frekans aralıklarında daha yüksek olduğu belirlenmiş, malzemenin kullanılacağı mekândaki ses değeri de değişken ise, tüm frekanslar için belirtilen ortalama değerlerin kullanılması önerilmiştir (Açık ve Tutuş, 2016).

Zhao vd. (2010) ölçülen ses frekanslarının aralığını belirleyen dalga tüpünün çapı, deneyde kullanılan ses dalgası frekans aralığı, deney için kabul edilen dalga tüpünün çapına göre yaklaşık 250–1600 Hz olduğunu ancak ölçülebilen gerçek doğru frekansların 250 Hz ile 1250 Hz arasında değiştiğini belirtmektedir. Ayrıca dört mikrofona dalga tüpündeki bölünmüş şekilli tablanın uzunluğunun yeterli olmamasından kaynaklı bir miktar yansıyan dalga olması ölçülen değeri ciddi şekilde etkileyebileceği belirtilmiştir. Tez çalışmasında ses iletim kayıplarındaki belirli frekanslardaki (2000 Hz-2500 Hz -3150 Hz) kırılmalar benzer sebeplerle gerçekleşmiş olabilir.

Ses iletim kaybı grafikleri incelendiğinde genellikle 1000 Hz in altında çoğunlukla 125 Hz ile 600 Hz arasında iletim kaybının olmadığı ya da çok az olduğu görülmüştür. En düşük çakışma frekans veya kritik frekans olarak adlandırılan bu frekanslarda havadan yayılan sesin yüzeye çarpması için neredeyse hiçbir engel oluşturulmaz ve ses azalması minimumdur. Kritik frekans meydana gelmesi ses azaltma indeksi için zararlıdır. Kritik frekansın yonga levhalarda 20 mm için 1090 Hz, 30 mm için ise 725 Hz olduğu belirtilmiştir (Bucur, 2006).

Yapılan bir çalışmada 200 Hz ile 1600 Hz arasında P-MDI kullanım oranının artması ile ses iletim kayıplarının arttığı belirtilmiştir. Tez çalışmasında da aynı frekans aralığında (200-1600 Hz) elde edilen verilere göre P-MDI kullanım oranının %3'ten %4 'e çıkması ile ses iletim kaybı artmıştır. Bu durum P-MDI kullanımı ile bağ kalitesinin artmasına ve kompozitlerin gelişmiş viskoelastik özelliklerine atfedilmiştir. Ayrıca P-MDI küçük yonga parçalarının dinamik ve mekanik özelliklerini iyileştirdiğinden kompozit panelin artan iç sürtünme katsayısı nedeniyle daha fazla ses enerjisi tüketmesine de sebep olabileceği de belirtilmiştir. (Zhao vd. 2010).

Ses iletim kaybı ölçümlerinde kullanılacak örneklerin düzgün ve hassas hazırlanması sonuçların hassasiyetini etkilemektedir. Örnek hazırlama aşamasında özellikle kaplanmış

levhaların kesilmesinde bazı zorluklarla karşılaşıldığından daha sağlıklı ölçüm sonuçları elde etmek için çoğunlukla ham levhalarla çalışılmıştır.



3.6 Kabuk-Odun Yongası Karışımı Levha Özellikleri

Tez çalışmasında farklı parametreler kullanılarak üretilen kabuk izolasyon levhaların özellikleri değerlendirilerek optimum tutkal varyasyonu belirlenmiştir. Optimum tutkal varyasyonu olarak değerlendirilen %7 ÜF+%3 P-MDI kullanılarak farklı oranlarda odun kabuk karışımı ile üretilen levhaların 2 ve 24 saat TS ve WA, BS, MOE, IB, ısı iletim katsayısı (λ) ile ısı direnç (R) değerleri belirlenmiş olup, elde edilen veriler Tablo 3.27’de verilmiştir.

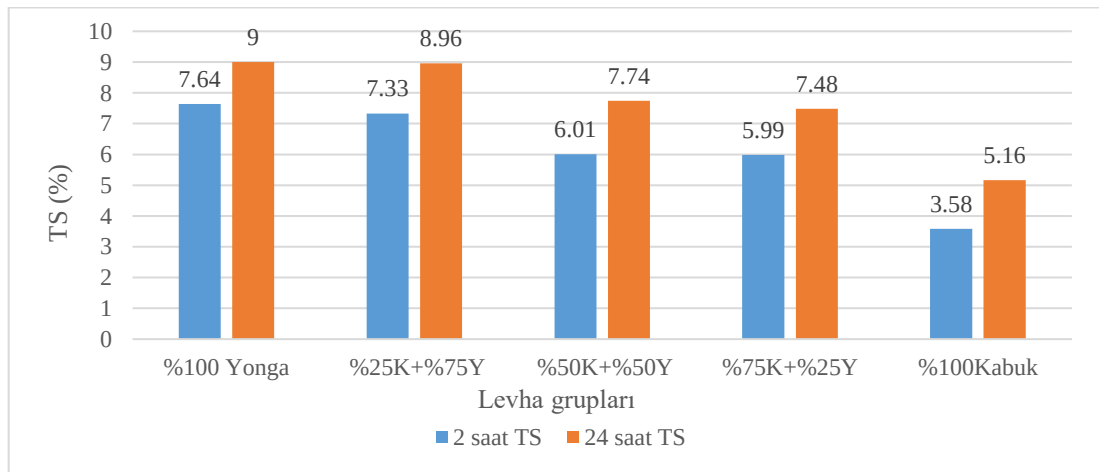
Tablo 3.27: Kabuk odun yongası karışımı ile üretilen levhaların özellikleri

Levha grubu	Ortalama levha kalınlığı (mm)	Ortalama levha yoğunluğu (g/cm ³)	2 saat TS (%)	24 saat TS (%)	2 saat WA (%)	24 saat WA (%)	BS (N/mm ²)	MOE (N/mm ²)	IB (N/mm ²)	(λ) (W/mK)	R (m ² K/W)
%100 Kabuk	19,06	0,340±0,01	3,58±0,82	5,16±0,32	24,96±3,34	61,91±4,19	0,52±0,07	192,24±32	0,06±0,02	0,06427	0,293
%100 Yonga	19,21	0,340±0,02	7,64±0,37	9±0,49	107,27±9,62	135,98±5,04	1,89±0,34	197,6±16,1	0,22±0,06	0,07505	0,256
%25K+%75Y	19,05	0,360±0,02	7,33±0,45	8,96±0,54	85,31±0,46	116,93±6,57	1,66±0,42	*	0,18±0,01	0,06939	0,275
%50K+%50Y	19,00	0,330±0,01	6,01±0,66	7,74±1,05	71,49±4,08	107,35±2,98	1,34±0,25	*	0,12±0,02	0,06584	0,289
%75K+%25Y	19,25	0,340±0,02	5,99±0,63	7,48±0,70	50,24±4,52	97,47±5,52	0,72±0,14	*	0,12±0,01	0,06648	0,290

*: Direnç değerlerinin hesaplanmasında maksimum kuvvet çok düşük olduğundan MOE değeri hesaplanamamıştır.

Tablo 3.27'deki mekanik özellikler incelendiğinde %100 odun yongalarıyla üretilen levhaların özellikleri kabuk levhalardan yüksek bulunmuştur. Bununla birlikte kabuk/odun karışımı levhalarda kabuk oranı arttıkça mekanik özelliklerde azalma görülmüştür. Mekanik özelliklerin değişiminde özellikle IB direnci üzerinde levha yoğunluğunun etkili olduğu görülmüştür. Bilindiği gibi kabuk içeriğinin artması ile mekanik özelliklerin azalması, kabuğun kimyasal bileşenlerinin odundan farklı olması, selüloz içeriğinin düşüklüğü yanında lif boyutlarının kısa olmasıyla da açıklanmaktadır (Sakai, 2001).

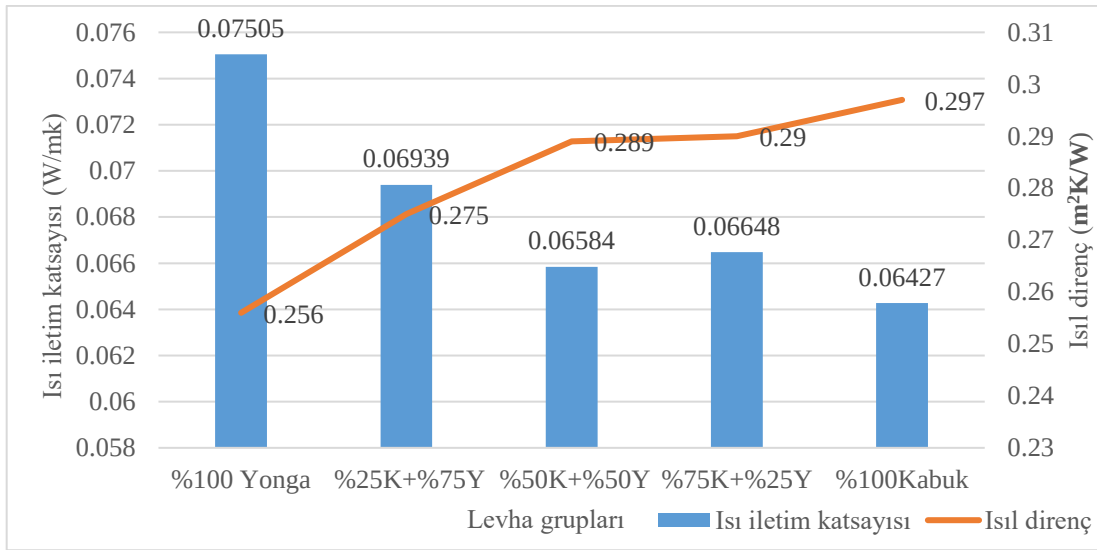
WA ve TS oranları değerlendirildiğinde en düşük 2 saat TS değeri %3,58 olarak %100 kabuk ile üretilen levhalarda elde edilirken, %100 odun yongası ile üretilen levhalar için bu değer en yüksek değeri alarak %7,64 olarak hesaplanmıştır. WA değerleri için ise %100 kabuk ile üretilen levha grubu 2 ve 24 saat için sırası ile %24,96 ve %61,91 ile en düşük değerleri alırken, %100 odun yongası ile üretilen levha grubu 2 ve 24 saat için sırası ile %107,27 ve %135,98 ile en yüksek değerleri almıştır. Şekil 3.23'te farklı oranlarda odun kabuk karışımı ile üretilen deney levhalarının 2 ve 24 saatlik TS değerleri görülmektedir. Şekil incelendiğinde kabuk odun karışımı içerisinde odun yongası oranının artması ile TS ve WA oranlarının artış gösterdiği anlaşılmaktadır. Bu durumun kabuğun yüksek ekstraktif içeriğine sahip olması ve oduna göre suyla alışverişinin daha kötü olması ile açıklanabileceği değerlendirilmektedir.



Şekil 3.23: Odun kabuk karışımı levhaların 2 ve 24 saat TS değerleri

Kabuk odun karışımı levhaların ısı iletim katsayıları incelendiğinde odun yongaları ile üretilen levhalar daha yüksek değer verirken, %75K+%25Y grubu dışında karışımdaki kabuk oranı arttıkça ısı iletim katsayısının azaldığı belirlenmiştir. %75K+%25Y levha

grubunun ısı iletim katsayısı %50K+%50Y grubuna göre daha yüksek bulunması levha yoğunluğu ile açıklanabileceği gibi ölçüm kaynaklı bir durum da olabilir. %75K+%25Y levha grubunun ısı iletim katsayısı yüksek olmasına rağmen kalınlıkla birlikte değerlendirildiğinde ısı direnç değeri %50K+%50Y grubuna göre daha yüksek bulunmuş olup, yalıtım özelliğinin daha iyi olacağı söylenebilir. Şekil 3.24'te farklı oranlarda odun kabuk karışımı ile üretilen deney levhalarının ısı iletim katsayıları ve ısı direnç miktarları görülmektedir.



Şekil 3.24: Odun kabuk karışımı levhaların ısı iletim katsayısı ve ısı direnç değerleri

Şekil 3.24 incelendiğinde %100 odun yongası ile üretilen levha grubuna kıyasla kabuk kullanım miktarı arttıkça ısı iletim katsayısının azaldığı belirlenmiştir. Isı iletim katsayısı ve levha kalınlığına bağlı olarak da ısı direnç değerlerinin değiştiği gözlemlenmiştir. En düşük ısı iletim katsayısı 0,06427 W/mK ile %100 kabuk ile üretilen levha grubunda tespit edilirken, %100 odun yongası ile üretilen levha grubunda ısı iletim katsayısı 0,07505 W/mK ile en yüksek değeri almıştır. Isı direnç değerlerinde ise en düşük değer %100 odun yongası ile üretilen levha grubunda 0,256 m²K/W olarak hesaplanmıştır. Artan kabuk kullanım oranı ile ısı iletim katsayısının azalmasına bağlı olarak ısı direnç değerlerinde doğrusal bir artış gözlemlenmiş ve ısı direnç değeri %100 kabuk kullanımında 0,293 m²K/W ile en yüksek değeri almıştır.

Kabuk odun yongası karışımı ile üretilen yonga levhaların özellikleri üzerinde kabuk boyutu ve miktarının önemli olduğu, artan kabuk miktarı ile boyutsal stabilitenin arttığı mekanik özelliklerin ise azaldığı belirtilmiş, artan kabuk oranına bağlı olarak ısı iletim katsayısının

azalması kabuğun gözenekli yapısına bağlanmıştır (Medved vd., 2019a). En iyi tutkal varyasyonu ile farklı oranlarda odun yongası ve kabuk karışımından üretilen deney levhalarının özellikleri incelendiğinde artan kabuk içeriği ile TS ve WA gibi özelliklerin iyileştiği, mekanik özelliklerde ise azalma olduğu tespit edilmiştir. Medved vd. (2019b) artan kabuk miktarı ile BS, MOE ve IB değerlerinin azaldığını, TS değerinin ise olumlu olarak etkilendiğini belirtmiştir. Ayrıca odun yongası/kabuk karışımında daha az miktarda kabuk miktarının parçacıklar arasında dolgu görevi görüp, daha iyi bir bağlantı sağlamaya yardımcı olacağı da vurgulanmıştır (Yemele vd., 2008; Marashdeh vd., 2011).



3.7 Vermikülit İlaveli Levha Özellikleri

Yanma özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla farklı oranlarda (%5, %10 ve %15) vermiculit ilaveli kabuk levhalar ile vermiculit ilavesi olmadan üretilen kabuk ve odun yongası kontrol levhalarının fiziksel, mekanik ve ısı iletim özellikleri Tablo 3.28’de verilmiştir.

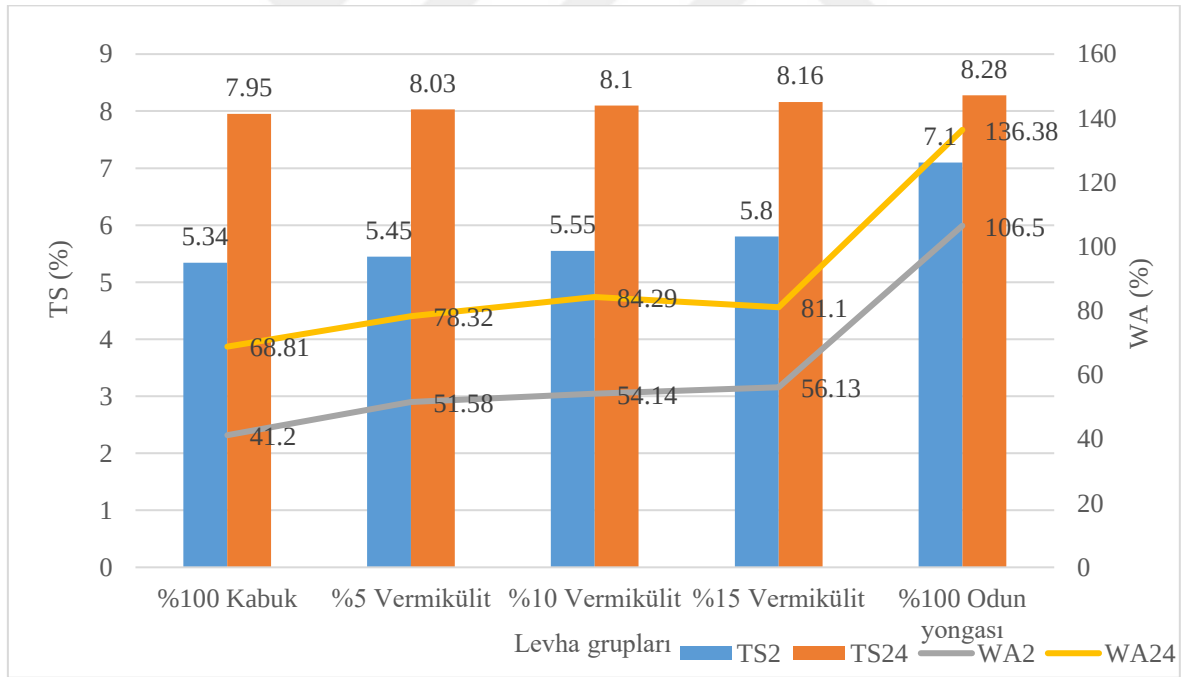
Tablo 3.28: Vermikülit ilaveli levhaların özellikleri

Levha grubu	Ortalama levha kalınlığı (mm)	Ortalama levha yoğunluğu (g/cm ³)	2 saat TS (%)	24 saat TS (%)	2 saat WA (%)	24 saat WA (%)	BS (N/mm ²)	MOE (N/mm ²)	IB (N/mm ²)	(λ) (W/mK)	R (m ² K/W)
%0 V	19,11	0,360±0,03	5,34±1,41	7,95±0,90	41,20±8,74	68,81±9,21	0,77±0,09	*	0,17±0,04	0,07450	0,257
%5 V	19,150	0,360±0,02	5,45±0,28	8,03±0,59	51,58±4,40	78,32±2,05	0,55±0,10	*	0,15±0,03	0,07002	0,273
%10 V	19,130	0,350±0,02	5,55±0,98	8,10±1,13	54,14±4,65	84,29±5,25	0,50±0,08	*	0,13±0,02	0,06622	0,289
%15 V	19,020	0,350±0,02	5,80±0,30	8,16±0,63	56,13±3,19	81,10±5	0,59±0,11	*	0,14±0,01	0,07367	0,258
%0 V (Odun yongası)	19,120	0,350±0,02	7,10±0,50	8,28±0,48	106,50±5,96	136,38±5,53	2,13±0,48	330,07±40	0,27±0,04	0,07691	0,249

*: Direnç değerlerinin hesaplanmasında maksimum kuvvet çok düşük olduğundan MOE değeri hesaplanamamıştır.

V: Vermikülit

Tablo 3.28 incelendiğinde 2 saat ve 24 saat TS için en düşük değerler %100 kabuk ile üretilen levha grubunda sırası ile %5,34 ve %7,95 olarak elde edilirken, en yüksek değerler %100 odun yongası ile üretilen levha grubunda sırası ile %7,10 ve %8,28 olarak tespit edilmiştir. Genel olarak vermikülit kullanımı ile TS ve WA değerlerindeki artış vermikülitin suyu absorplama özelliği ve hücreli yapısı sayesinde kompozit içinde boşluklar oluşturması ile açıklanabileceği belirtilmiştir (Binici vd., 2013; Li vd., 2017). Ayrıca farklı çalışmalarda vermikülit yapısı nedeniyle arayüzey bölgesinde daha fazla boşluk ve daha fazla hidrofilik grupların bulunmasının matris ve lignoselülozik malzeme arasında zayıf bir yapışmaya neden olabileceği bu sebeple malzemenin su absorplama özelliğinin artacağı vurgulanmıştır (Ashori, 2010; Nourbakhsh ve Ashori, 2010; Li vd., 2013b; Ghofrani vd., 2017). Şekil 3.25'te farklı oranlarda vermikülit ilavesi ile üretilen levhaların 2 ve 24 saatlik TS değerleri görülmektedir. Şekil incelendiğinde vermikülit ilavesi ile TS ve WA değerlerinde artış olmasına rağmen elde edilen değerlerin %100 odun yongası ile üretilen levha grubundan daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

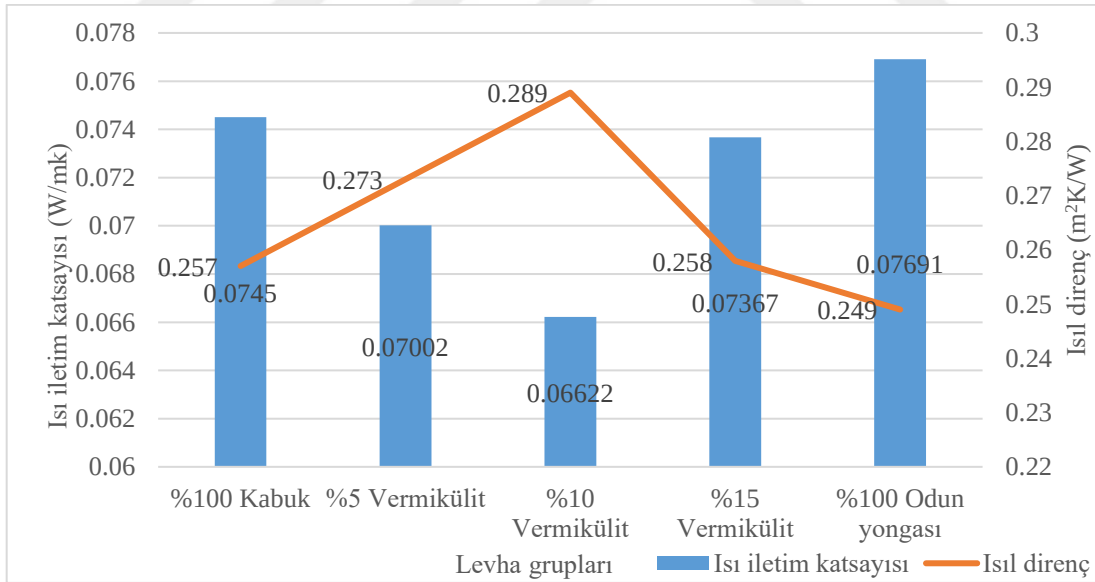


Şekil 3.25: Vermikülit ilaveli ve ilavesiz levha gruplarının 2 ve 24 saat TS-WA değerleri

Mekanik özelliklerden MOE değerleri %100 odun yongası için 330,07 N/mm² olarak belirlenirken, diğer varyasyonlar için maksimum kuvvet ölçülemediğinden hesaplama yapılamamıştır. BS ve IB değerleri ise en yüksek %100 odun yongası levha grubunda sırası ile 2,13 N/mm² ve 0,27 N/mm² olarak elde edilmiştir. BS değeri vermikülit ilavesi ile azalmış

ancak artan vermikülit içeriğine bağlı olarak doğrusal olmayan bir değişim göstermiştir. Yapılan bir çalışmada MDF'lerin BS ve MOE değerlerinde artan vermikülit ilavesi ile azalma olduğu belirtilmiştir. Bu azalmanın nedeni olarak ise odun liflerinin ve bağlayıcı melamin üre formaldehit tutkalının organik, vermikülitin ise inorganik yapıda olması gösterilmiştir. Artan vermikülit oranı ile vermikülitin lifler üzerinde birikerek moleküller arası kuvvet ve MDF bileşenleri arasındaki kayma sürtünme kuvvetini hızla azaltmış olabileceği bu durumda BS ve MOE değerlerinde azalmaya sebep olabileceği belirtilmektedir (Wang vd., 2016a).

Isı iletim katsayıları değerlendirildiğinde en yüksek değer %100 odun yongası ile üretilen levha grubunda 0,07691 W/mK olarak elde edilmiştir. %100 kabuk ile üretilen levha grubunda elde edilen 0,07450 W/mK değerinin %5 ve %10 vermikülit ilavesi ile azaldığı, vermikülit ilavesinin %15'e çıkması ile bir miktar artarak 0,07367 W/mK olduğu tespit edilmiştir. Isı iletim katsayısı ve kalınlığa bağlı olarak en yüksek ısıl direnç değeri ise 0,289 m²K/W ile %10 vermikülit ilavesinde tespit edilmiştir. Şekil 3.26'da vermikülit ilaveli ve ilavesiz kontrol grubu levhaların ısı iletim katsayıları ve ısıl direnç değerleri görülmektedir.



Şekil 3.26: Vermikülit ilaveli ve ilavesiz levha gruplarının ısı iletim katsayıları ve ısıl direnç değerleri

Şekil 3.26 incelendiğinde vermikülit ilavesi olmadan (%100 kabuk) üretilen levha grubuna kıyasla vermikülit ilaveli levha gruplarının tamamının ısı iletim katsayısı daha düşük, ısıl direnç değeri ise daha yüksek bulunmuştur. Bu sebeple vermikülit ilavesi ile üretilen

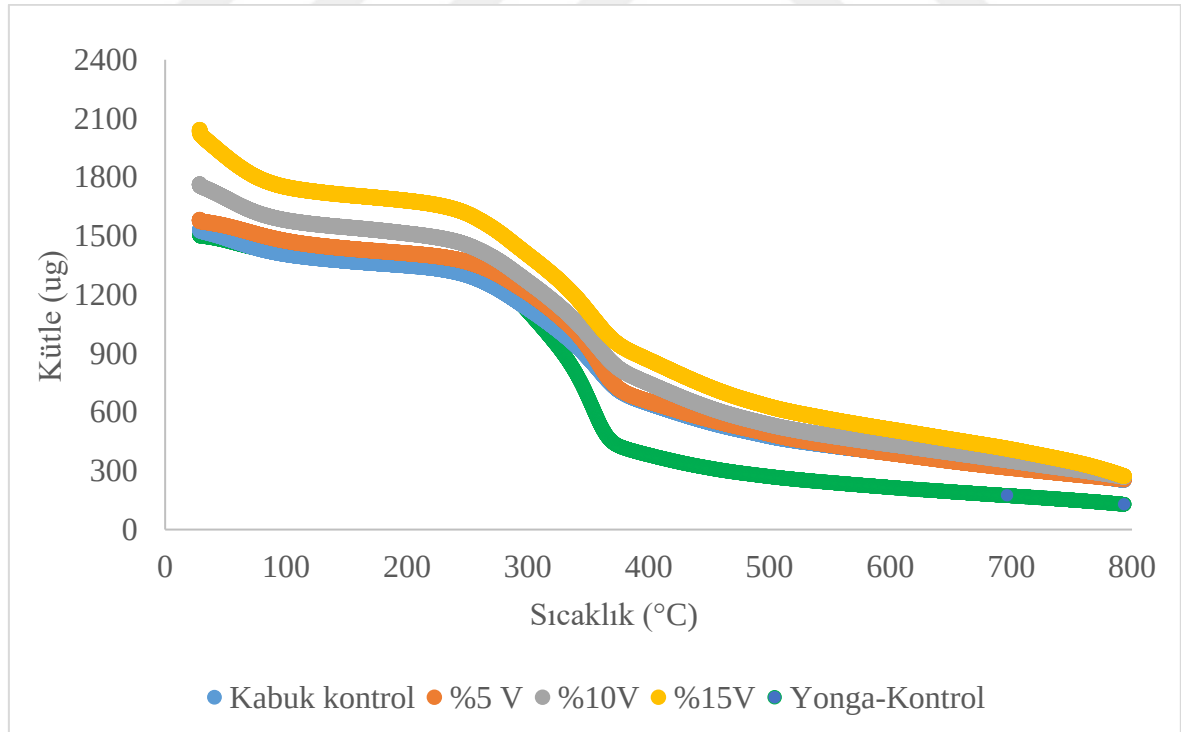
levhaların yalıtım özelliğinin %100 kabuk ile üretilen levha grubuna kıyasla daha iyi olacağı söylenebilir. Bu sonuçlara benzer şekilde literatürde yapılan bazı çalışmalarda artan vermikülit kullanımı ile malzeme içerisindeki porozite artacağından ısı iletim katsayısının azalarak daha iyi yalıtım özelliği sağlanacağı belirtilmektedir (Sütçü,2015; Köksal, vd. 2015; Binici, 2016).

3.7.1 Vermikülit İlaveli Levhaların Yanma Özellikleri

Vermikülit ilaveli levha gruplarının yanma özelliklerini belirlemek amacıyla TGA analizi ve ASTM E-69 yanma deneyi yapılmıştır. Elde edilen bulgular aşağıda değerlendirilmiştir.

3.7.1.1 TGA Analizi

Şekil 3.27’de termogravimetrik analiz sonucu vermikülit ilavesiz %100 odun yongası ve %100 kabuk ile farklı oranlarda vermikülit ilaveli deney örneklerinin kütle kayıpları görülmektedir.



Şekil 3.27: TG kütle kaybı grafiği

Genel olarak artan vermikülit miktarı ile daha az kütle kaybı olduğu tespit edilmiş olup,

bunun vermikülit içerikli örneklerde silikat tabakasının varlığına bağlı olarak kömürün antioksidasyon özelliğinin ve termal stabilitesinin artması ile açıklanabileceği belirtilmiştir (Sütçü, 2015). Yapılan farklı bir çalışmada ise vermikülit içerikli MDF'lerin yüksek termal stabiliteye sahip olduğu yanma etkisiyle daha az bozunmaya uğradığı belirtilmektedir (Wang vd., 2016a).

Farklı çalışmalarda termal bozunmanın 4 aşamada gerçekleştiği bunlardan birinci aşamada 25 °C ile 100 °C arasında suyun uzaklaşmasından kaynaklanan ağırlık kaybı olduğu, ikinci aşamada 150 °C'den 310 °C'ye kadar esas olarak hemiselüloz ve selülozun kömür kalıntılarına ve CO₂, CO, CH₄, CH₃OH ve CH₃COOH gibi gruplara ayrıştığı, üçüncü aşamanın ise 310 °C ile 430 °C arasında gerçekleştiği ve oldukça yoğun ve çapraz bağlı karbonlu ürünlerin elde edildiği belirtilmektedir. Son aşamada ise 430 °C ve 800 °C arasında dehidrasyon ve kömürleşme reaksiyonlarının çok daha yavaş olarak devam ettiği ve pirolizin büyük ölçü de selülozdan etkilendiği vurgulanmaktadır (Gao vd., 2004; Qu vd., 2011; Wang vd., 2016b). Ayrıca vermikülitin bozunma hızını azalttığı ve ekzotermik aşamada sıcaklık aralığını genişleterek kömürleşmeye fayda sağladığı belirtilmektedir (Wang vd., 2016a).

3.7.1.2 Yanma Deneyi

Yanma deneyinde farklı oranlarda vermikülit ilave edilmiş levha grupları ile, kontrol grubu olarak vermikülit katkısız odun yongası ve kabuk levhalar kullanılmıştır. Test numunesi ilk 4 dakika alev kaynağına maruz iken, sonraki 6 dakika alev kaynağı uzaklaştırılarak kendi kendine yanmaya bırakılmış ve yanma deneyi toplamda 10 dakika olacak şekilde ASTM E-69 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Tablo 3.29'da yanma deneyi sonucunda AKY ve KKY için elde edilen ortalama değerler verilmiştir. Tablo incelendiğinde AKY için en fazla ağırlık kaybı odun yongası kontrol grubunda %21,4 olarak tespit edilirken, en düşük ağırlık kaybı ise %15 vermikülit ilave edilmiş levha grubunda %6 olarak elde edilmiştir. KKY'deki ağırlık kayıpları da AKY'ye benzer bir seyir göstermiş en yüksek ağırlık kaybı odun yongası kontrol grubunda %25,4 olarak tespit edilirken, en düşük ağırlık kaybı ise %15 vermikülit ilave edilmiş levha grubunda %9,8 olarak elde edilmiştir. Ayrıca hem AKY hem de KKY için artan vermikülit miktarıyla birlikte ağırlık kaybında doğrusal bir azalma olduğu anlaşılmıştır. Sıcaklık değerleri incelendiğinde ise AKY'de ve KKY'de en yüksek sıcaklık değeri odun yongası kontrol grubunda görülmüş, odun yongasına kıyasla vermikülit ilavesi ile sıcaklık değerleri azalmış, fakat bu azalmanın vermikülit miktarına oranla doğrusal

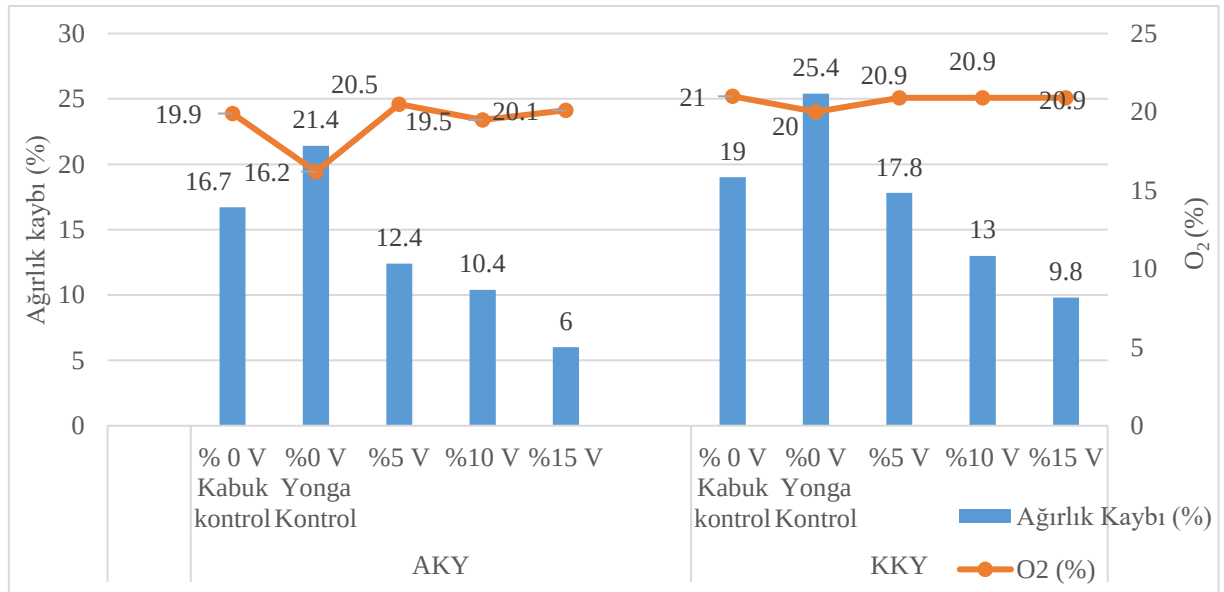
olmadığı anlaşılmıştır.

Tablo 3.29: Yanma deney sonuçlarına ait bulgular

Levha grubu	Ağırlık Kaybı (%)	CO (ppm)	Sıcaklık (°C)	O ₂ (%)	NO (ppm)
AKY	%0 V	16,7	170	119	19,9
	%0 V (Odun yongası)	21,4	563	431	16,2
	%5 V	12,4	481	82	20,5
	%10 V	10,4	398	120	19,5
	%15 V	6,0	351	110	20,1
KKY	%0 V	19,0	99	41	21,0
	%0 V (Odun yongası)	25,4	413	135	20,0
	%5 V	17,8	256	40	20,9
	%10 V	13,0	164	41	20,9
	%15 V	9,8	481	43	20,9

AKY: Alev kaynaklı yanma (İlk 4 dakika), KKY: Kendi kendine yanma (Son 6 dakika)
V: Vermikülit

AKY ve KKY’de odun yongası kontrol grubuna kıyasla vermikülit ilavesi ile O₂ değerlerinde artış olduğu ancak bu artışın vermikülit oranına bağlı olarak doğrusal olmadığı anlaşılmıştır. Şekil 3.28’de AKY ve KKY’de ağırlık kayıpları ve O₂ değerleri görülmektedir.



Şekil 3.28: Yanma deneyi levha gruplarının ağırlık kaybı ve O₂ değerleri

Şekil 3.28 incelendiğinde KKY'de AKY'ye göre daha fazla ağırlık kaybı olduğu, O₂ değerlerinin ise birbirine yakın değerler aldığı tespit edilmiştir. Genel olarak yanmayı geciktirici maddelerin yanma sırasında malzemenin sıcaklık artışını ve ortamdaki oksijen miktarının tüketilmesini azaltarak yanma olayını geciktirdiği belirtilmiştir (Mikkola, 1991; Toshio vd., 2003; Lee,2008; Choi, 2011; Son vd., 2012). Wang vd. (2016a; 2016b) ise vermikülitin pirolizi yavaşlatan ve kömürleşmeyi arttıran termal yalıtkan bir özellik gösterdiğini belirtmiştir. Farklı çalışmalarda yanma geciktirici maddelerin etkinliği üzerinde konsantrasyonla birlikte, üretim parametreleri, yoğunluk, yanma geciktiriciyi (FR) oluşturan yanmayı önleyici aktif madde miktarının da etkili olduğu belirtilmiş, artan FR konsantrasyonu ile yanmada oluşan ağırlık kayıplarının azaldığı vurgulanmıştır (Ustaömer, 2008; Özdemir, 2012; İstek vd., 2013; İstek ve Özlüsoylu, 2016). Konsantrasyon miktarının artması ile lifsel maddelerin arasına giren kimyasal madde miktarının arttığı, böylece yüzeye yakın veya yüzeyde biriken FR kimyasallarının koruyucu bir tabaka meydana getirerek levhaların yanma hızını azalttığı ve yanmaya karşı dayanım süresini arttırdığı belirtilmiştir (Özdemir, 2012). Ağırlık kayıpları kimyasal maddelerin yapısıyla ilgili olduğu gibi farklı etkenlerden de kaynaklanabilmektedir. Yanma geciktirici kimyasallar yapısal özelliği dolayısıyla polimerizasyon ve dehidrasyon reaksiyonlarını katalizleyerek piroliz sıcaklığını düşürmekte, kömürleşme miktarını artırmakta ve tutuşabilen uçucu gazların miktarını azaltarak yanma mekanizmasını değiştirmektedir. Levha üretiminde kullanılan pres şartlarından sıcaklık ve basınç, kimyasal maddenin levha yüzeyindeki konsantrasyon miktarını ve levha yoğunluğunu etkilemektedir. Artan yoğunluğa bağlı olarak kömürleşmenin arttığı ve alevin penetrasyonu ile yayılımın da azaldığı belirtilmektedir (White ve Nordheim 1992; Özdemir ve Tutuş, 2012).

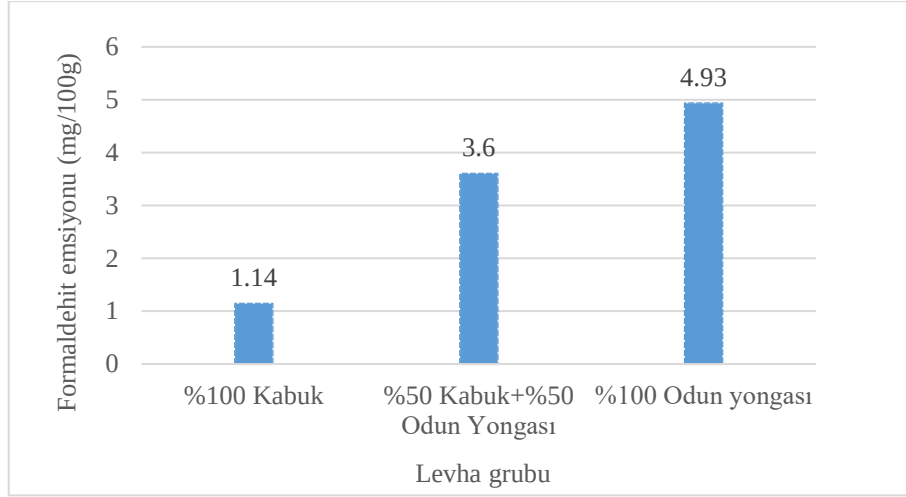
3.8 Formaldehit Emisyonu

Formaldehit emisyonu ölçümü %100 kabuk kullanılarak üretilen levhalar üzerinden P-MDI kullanımının etkisini incelemek amacıyla, odun kabuk karışımı levhalar üzerinden ise kabuğun emisyon üzerine etkisini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Ölçümlerde %10 ÜF tutkalı ile üretilen kontrol levhası ile %7 ÜF tutkalına %1, %2 ve %3 P-MDI ilavesi ile üretilen levha grupları kullanılmıştır. Bu amaçla 7 farklı ham numune üzerinden 3'er ölçüm yapılmış olup, ortalama değerler Tablo 3.30'da verilmiştir.

Tablo 3.30: Formaldehit emisyon değerleri

Levha no	Tutkal içeriği	Yonga türü	Formaldehit emisyonu (mg/100 gr)
1	%10 F	%100 Kabuk	9,28
2	%7 F+%1 P-MDI	%100 Kabuk	2,62
3	%7 F+%2 P-MDI	%100 Kabuk	2,34
4	%7 F+%3 P-MDI	%100 Kabuk	2,51
5		%100 Kabuk	1,14
6	%7 F+%3 P-MDI	%50 Kabuk+%50 Odun yongası	3,60
7		%100 Odun yongası	4,93

Tablo 3.30’da görüldüğü gibi formaldehit emisyonun %10 F ile üretilen kontrol levhasında ortalama 9,28 mg/100g olarak E2 (8-30 mg/100g) standardında olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte P-MDI ilaveli örneklerde emisyon içeriği önemli oranda düşük bulunmuş olup, E1 (2-8 mg/100g) emisyon sınıfında levhalar olduğu belirlenmiştir. Ancak F tutkalına ilave edilen P-MDI kullanım oranının artmasıyla emisyonun önemli oranlarda değişmediği anlaşılmıştır. Lohninger (2014), F ile üretilen kabuk panellerin formaldehit emisyonunu 4 mg/100g olarak bulmuştur. Wang vd. (2004), yapmış oldukları çalışmada F tutkalı ile P-MDI kullanımının emisyonu önemli ölçüde düşürdüğünü belirtmektedir. Kabuk odun yongası levha gruplarının emisyon değerleri incelendiğinde %100 odun yongası ile üretilen levha grubunun emisyon değerinin, %100 kabuk ile üretilen levha grubuna kıyasla yaklaşık 4 kat fazla olduğu tespit edilmiştir. Odun yongası oranı %100’dan, %50’ye düşürüldüğünde ise emisyon değerinde %27 oranında azalma olmuştur. %100 kabuk ile üretilen levha grubunun emisyon değeri olan 1,14 mg/100g, kabuk miktarının %50’ye düşürülmesi (%50 Kabuk+%50 odun yongası) ile %68 artarak 3,60 mg/100g değerini almıştır. Kabuk odun karışımı levhalarda kabuk kullanımının emisyon değerlerine etkisi şekil 3.29’da verilmiştir.



Şekil 3.29 Kabuk odun karışımı levhaların formaldehit emisyonu değerleri

Kabuğun yonga levhalarda formaldehit emisyonunu azaltıcı etkisi olduğu farklı çalışmalarda belirtilmiştir (Prasetya ve Roffael 1991; Takano vd., 2008; Costa vd., 2013). Bu durumun fenolik kabuk bileşiklerinin formaldehit ile reaksiyonundan kaynaklandığı belirtilmektedir (Nemli ve Çolakoğlu 2005). Başka bir çalışmada ise odun yongası yerine kabuk kullanılması ile üretilen yonga levhaların formaldehit emisyonunda azalma olduğu belirtilmiştir. Çalışmada, kabuğun formaldehit emisyonu üzerindeki olumlu etkisini elde edebilmek için kabuk kullanımının %5'ten yüksek olması gerektiği ve artan kabuk miktarı ile formaldehit salınımının azaldığı vurgulanmıştır (Medved vd., 2019). Diğer bir çalışmada ise kontrplak üretiminde kabuğun formaldehit emisyonunu %42'ye varan oranlarda azalttığı belirtilmiştir (Bekhta vd., 2021).

3.9 Maliyet Analizi

Tez çalışmasında kabuk izolasyon levhası üretiminde ortaya çıkan levha maliyeti yonga levha işletmelerinde üretilen standart bir yonga levhanın metreküp satış fiyatıyla karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. İşletmelerde tomruklardan soyulan kabuklar enerji amacıyla kullanılmakta ve üretim için gerekli toplam enerji %80'e varan oranlarda kabuğun yakılmasıyla elde edilebilmektedir. Kabukların yakılmayıp izolasyon levhası üretiminde kullanılması ile ortaya çıkacak maliyet artışı 1 m³ levha için hesaplanarak değerlendirme yapılmıştır. Kabuk izolasyon levhası üretiminde hammadde olarak kabuk bedeli hesaba katılmamış, maliyet hesabı; tutkal, işçilik, enerji ve diğer maliyetlere göre yapılmıştır. Tablo 3.31'de kabuk izolasyon levhanın endüstriyel üretim koşullarına göre maliyet analizi

verilmiştir.

Tablo 3.31: Kabuk izolasyon levhasının endüstriyel üretim maliyeti analizi

	Maliyet (TL/m ³)			
	Standart yonga levha	Standart yonga levha*	Kabuk izolasyon levhası*	Kabuk izolasyon levhası
Hammadde odun	3000	3000	0	0
Tutkal	1100	1100	1100	1100
Enerji maliyeti	800	1440	1440	800
İşçilik	300	300	300	300
Diğer maliyetler	1300	1300	1300	1300
Toplam maliyet	6500	7140	4140	3500
m² maliyet**	130	143	83	70

* Kabukların enerji eldesinde kullanılmaması durumunda üretilecek 1m³ levha maliyeti

** m² maliyet 20 mm kalınlık için hesaplanmıştır.

Tablo 3.31'e göre standart yonga levha maliyeti için kabukların enerji eldesinde kullanılmaması durumunda 1 m³ yonga levha için %9'luk bir maliyet artışı olacağı buna karşılık bu kabuklardan üretilecek izolasyon levhasının maliyetlerinin 4140 TL/m³-83TL/m² olacağı hesaplanmıştır. Kabuk miktarının yeteri kadar temin edilebileceği koşullarda kabukların hem enerji eldesinde hem de izolasyon levhası üretiminde kullanılması durumunda ise 1 m³ kabuk izolasyon levha maliyetinde ise %15 azalma meydana gelebileceği belirlenmiştir. Tablo 3.32'de ise kabuk izolasyon levhasının tez çalışmasında kullanılan tutkal varyasyonlarına göre hesaplanan maliyet analizi verilmiştir. Bu hesaplamada tutkal maliyeti dışındaki girdiler için endüstriyel üretim maliyetleri kullanılmıştır. Tutkal maliyetleri için ise kullanılan ÜF ve P-MDI oranlarına göre maliyet hesabı yapılmıştır. Hesaplama tez çalışmasında en düşük ısı iletim katsayılarını veren %7 ÜF+%3 P-MDI (0,06427 W/mK) ve %4 P-MDI'a (0,06360 W/mK) göre yapılmıştır.

Tablo 3.32: Kabuk izolasyon levhasının tez çalışmasında kullanılan tutkal varyasyonlarına göre maliyeti analizi

	Maliyet (TL/ m ³)	
	%7 ÜF+%3 P-MDI	%4 P-MDI
Hammadde odun	0	0

Tablo 3.32: (devam ediyor)

Tutkal	1700	1900
Enerji maliyeti	800-1440*	800-1440*
İşçilik	300	300
Diğer maliyetler	1300	1300
Toplam maliyet	4100-4740*	4300-4940*
m² maliyet**	82-95*	86-99*

* Kabukların enerji eldesinde kullanılmaması durumunda üretilecek 1m³ levha maliyeti

** m² maliyet 20 mm kalınlık için hesaplanmıştır.

Tablo 3.32 incelendiğinde %7 ÜF+%3 P-MDI ‘a göre %4 P-MDI kullanılması durumunda 1m³ levha maliyetinde ortalama %5 artış olacağı tespit edilmiştir. Tablo 3.33’te tez çalışmasında kullanılan tutkal varyasyonlarına göre hesaplanan maliyetler kabuk izolasyon levhasına alternatif farklı yalıtım malzemeleri ile karşılaştırılmıştır.

Tablo 3.33: Kabuk izolasyon levhası ile alternatif yalıtım malzemelerinin maliyet karşılaştırması

	Yoğunluk (kg/m ³)	Kalınlık (mm)	Isı iletim katsayısı (W/mK)	Maliyet (\$/m ²)**
Kabuk izolasyon levhası	300-350	20	0,06427 (%7 ÜF+%3P-MDI) 0,06360 (%4 P-MDI)	3,88-4,61* 4,55-5,27* 4,77-5,5*
Maliyet (€/m²)				
Poliüretan köpük	30	50	0,035	11
Taş yünü	80	50	0,040-0,045	3,57
Cam yünü	50	50	0,040-0,045	3,15
Genişletilmiş mantar aglomeratı	105	50	0,040-0,055	9,45
Selüloz mat	28	50	0,038-0,042	4,60
Çimento ile aglomere edilmiş ağaç yünü matı	470	50	-	12,70

* Kabukların enerji eldesinde kullanılmaması durumunda üretilecek 1m³ levha maliyeti

**08.08.2022 tarihli \$/TL kuruna göre hesaplanmıştır.

Tablo 3.33 incelendiğinde kabuk izolasyon levhasının 3,88-5,5 \$/m² arasında değişen maliyetlere sahip olduğu, alternatif doğal ve mineral kökenli farklı yoğunluklardaki yalıtım malzemelerinin 3-13 €/m² arasında değişen birim maliyetlerde olduğu ve bu malzemelerin ısı iletim katsayılarının ise 0,035 W/mK ile 0,055 W/mK arasında değişen değerler aldığı belirtilmiştir (Pedroso vd., 2017; URL-1).

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yaşadığımız mekanların enerji maliyetlerini azaltmak ve daha sağlıklı yaşam ortamları oluşturmak amacıyla ısı ve ses yalıtımı ön plana çıkmaktadır. Bu amaçla son yıllarda çevreci ve ekolojik malzeme kullanımı önem kazanmıştır. Isı ve ses yalıtımı sağlamak amacıyla yapılarda kullanılan malzemeler teknolojik yeniliklere de bağlı olarak gelişmektedir. Ağaç işleyen endüstri kollarından artık ve atık olarak elde edilen kabukların izolasyon levha üretimine uygunluğunun belirlendiği bu çalışmada, kabukların daha ekonomik, etkili ve verimli bir şekilde kullanılması amaçlanmıştır. Bu amaçla Batı Karadeniz bölgesinde yaygın olarak yetişen Karaçam odun kabukları izolasyon levha üretiminde hammadde olarak kullanılmıştır. Kabuk izolasyon levha üretimi P-MDI katkılı ÜF tutkalı kullanılarak yapılmış olup, levhaların bazı fiziksel, mekanik özellikleri ile ısı iletim katsayıları ve ses iletim kayıpları belirlenmiştir. Bununla birlikte yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar değerlendirilerek optimum olduğu değerlendirilen %7 ÜF+%3 P-MDI üretim şartlarında ve farklı odun-kabuk karışım oranlarında deney levhaları üretilerek özellikleri belirlenmiştir. Levhaların termal özelliklerini iyileştirmek amacıyla en iyi tutkal varyasyonu ile farklı oranlarda vermikülit ilaveli levhalar üretilerek TGA analizi ve ASTM E-69 yanma deneyi yapılmıştır. Bu levhaların ısı iletim katsayıları ve bazı fiziksel-mekanik özellikleri de belirlenmiştir.

Çalışmada kullanılan karaçam ağaç kabuklarının kimyasal analizi sonuçlarına göre holoselüloz, α – selüloz ve lignin miktarları sırasıyla %51,23, %32,60 ve %38 olarak tespit edilmiş olup, sonuçların literatürle uyumlu olduğu görülmüştür.

Kabuk izolasyon levhaların fiziksel özellikleri incelendiğinde rutubetler %5 ile %7 arasında değişen değerler almış olup, bu değerlerin benzer metotla üretilen yonga levhalar için TS EN 312 (2012)'de aranan standart rutubet aralığında (%5-%13) olduğu belirlenmiştir. Üretilen levha gruplarının rutubet değerlerinin standartları karşıladığı, kullanım yerindeki bağıl nem ve sıcaklığa bağlı olarak oluşan denge rutubet değişimlerine uygun olduğu tespit edilmiştir. Deney levhalarının yoğunluk değerlerinin hedeflenen üretim yoğunluklarından nispeten yüksek olduğu, ancak yoğunluk sapmalarının ilgili standart tolerans sınırları arasında olduğu görülmüştür. Kabuk izolasyon levha yüzeylerinin kaplanması ile levha yoğunluklarının arttığı, bu artışın düşük yoğunluklu levhalarda daha belirgin olduğu

sonucuna varılmıştır. Kaplama işlemi ile meydana gelen en yüksek yoğunluk artışı 20 mm ve 30 mm levha kalınlıkları için sırası ile %18,75 ve %6,06 olurken, levha yoğunluğunun 100 kg/m³ artmasından kaynaklı en yüksek yoğunluk artışı ise %37,50 (20 mm) ve %33,33 (30 mm) olarak gerçekleşmiştir. Kaplama etkisi ile kalınlık değerinde meydana gelen artış ise tüm levha grupları için ortalama %11,75 olarak gerçekleşmiştir. Çalışmada izolasyon amaçlı üretilen kabuk ve kabuk-odun yongası karışımı levhaların özellikleri incelendiğinde genel olarak yoğunluk artışı ile mekanik özelliklerin iyileştiği, ısı iletim katsayısının ise arttığı tespit edilmiştir. Spesifik olarak odun, kompozit malzemeye mukavemet ve uygun yapışma özellikleri sağlayabilirken, kabuk hafif, daha yüksek termal yayılım ve düşük termal iletkenlik ile karakterize edilmektedir. Bu nedenle kabuk panellerin daha yüksek termal iletkenlik, nem alımına karşı daha yüksek direnç, daha düşük kalınlık şişmesi ve daha yüksek mekanik mukavemet göstermesinin yüksek yoğunlukla ilişkilendirilebileceği belirtilmektedir (Giannotas, 2021).

Sadece ÜF (%8 ve %10) tutkal kullanımı ile kıyaslandığında ÜF-P-MDI karışımındaki P-MDI miktarı artışıyla 2 ve 24 saatlik WA ve TS değerlerinin azaldığı belirlenmiştir. Sabit ÜF'ye ilave edilen P-MDI miktarı artışı ile belirli varyasyonlar dışında daha düşük 2 ve 24 saatlik WA ve TS değerleri elde edilmiştir. Bu düşüş P-MDI artışına göre doğrusal olmamakla beraber özellikle TS değerleri için %7 ÜF'ye farklı oranlarda (%1, %2 ve %3) P-MDI ilave edilen levha gruplarında en yüksek seviyeye ulaşmış, en düşük TS değerleri elde edilmiştir. 20 mm kalınlıkta üretilen levhalar için elde edilen en düşük 24 saat TS değerleri %5,16 (300 kg/m³) ve %6,41(400 kg/m³) olarak %7 ÜF+%3 P-MDI levha grubunda elde edilmiştir. 30 mm kalınlıkta üretilen levhalar için elde edilen en düşük 24 saat TS değerleri ise %5,37 (300 kg/m³) ile %7ÜF+%3 P-MDI, %5,68 (400 kg/m³) ile %7 ÜF+%2 P-MDI levha gruplarında tespit edilmiştir. Çalışmadaki tüm varyasyonlardan elde edilen 24 saat TS değerleri incelendiğinde, TS EN 312 (2012) standardında 20 mm ile 32 mm arasındaki yonga levhaları için belirtilen %13 değerini karşıladığı belirlenmiştir. Tüm levha grupları içerisinde en düşük 2 ve 24 saat WA değerleri ise 20 mm kalınlık için sırasıyla %11,04 ve %39,33, 30 mm kalınlık için ise yine sırasıyla %19,73 ve %39,95 olarak hesaplanmıştır.

İzolasyon levhaların üretiminde levha yoğunluğu, toplam tutkal miktarı ve karışım içerisindeki oranlara da bağlı olarak P-MDI tutkalının ÜF tutkalına göre suya karşı daha iyi direnç gösterdiği anlaşılmıştır. Bazı levha gruplarında ÜF-P-MDI karışımındaki P-MDI

miktarı artmasına rağmen TS ve WA değerlerinde beklenen iyileşme görülmemiş daha yüksek değerler tespit edilmiştir. Bu durum ÜF-P-MDI karışımının yeterince iyi yapılamamış olması ya da homojen bir yonga tutkal karışımının sağlanamamış olması durumunda gerçekleşmiş olabileceği düşünülmektedir. Bu yüzden P-MDI tutkalından en yüksek düzeyde katkı alabilmek için karışımların yeterli homojenlikte olması ve iyi bir şekilde uygulanması önem arz etmektedir. Ayrıca boyutsal değişim üzerinde yoğunluklardaki farklılıklar, boşlukların boyut ve şekli, kabuk kalınlıkları, anatomik özellikler, kabuk yongaların yüzey alanı gibi faktörlerinde etkili olduğu bilinmektedir.

Kabuk izolasyon levhaların mekanik özelliklerinin genel olarak yüzeylere yapılan kaplama işlemi ve yoğunluğun artması ile iyileştiği anlaşılmıştır. Elde edilen BS, MOE ve IB değerleri incelendiğinde genel amaçlarla kuru şartlarda kullanılan odun kompozit levhalara kıyasla düşük olmakla beraber izolasyon amaçlı kullanımlara uygun olduğu tespit edilmiştir. Kabuk izolasyon levha çalışmalarında IB değerlerinin diğer mekanik özelliklere göre nispeten daha önemli olduğu ve üzerinde daha çok durulduğu anlaşılmıştır.

300 kg/m³ yoğunlukta ham levhalar için en yüksek BS ve MOE değerleri sırası ile 0,88 N/mm² ve 378,04 N/mm² olarak %7 ÜF+%3 P-MDI kullanımında elde edilmiştir. 400kg/m³ yoğunlukta levha grupları için ise en yüksek BS ve MOE sırası ile 2,03 N/mm² (%7 ÜF+%2 P-MDI) ve 286,72 N/mm² (%5 ÜF+%2 P-MDI) olarak elde edilmiştir. Levha yüzeylerinin kaplanması ile mekanik özellikler iyileşmiş, en yüksek BS ve MOE değerleri sırası ile 15,44 N/mm² ve 3905,63 N/mm² olarak elde edilmiştir. IB değerleri ise yoğunluğun artması ile artış göstermiş en yüksek IB değerleri 400 kg/m³ yoğunlukta %5 ÜF+%2 P-MDI karışımı ile üretilen levha grubunda 0,14 N/mm² (20 mm) ve 0,18 N/mm² (30 mm) olarak hesaplanmıştır.

Üretilen kabuk izolasyon levhaları için en düşük ısı iletim katsayısı değeri 0,06360 W/mK olarak %4 P-MDI tutkalı ile üretilen levhalarda hesaplanmıştır. Kaplama işlemi ısı iletim katsayısında artışa neden olmuş, kaplanmış levhalar için en düşük ısı iletim katsayısı değeri 0,0671 W/mK ile %3 P-MDI grubunda elde edilmiştir. Levha yoğunluğunun ısı iletim katsayısını önemli oranda etkilediği, yoğunluğun artmasıyla ısı iletim katsayısının arttığı, dolayısıyla levhaların ısı yalıtım özelliğinin kalınlığa da bağlı olarak azalabileceği tespit edilmiştir. 100 kg/m³ yoğunluk artışı ile ısı iletim katsayısındaki ortalama artış 20 mm kalınlığındaki levhalar için 0,012 W/mK, olurken, 30 mm kalınlık için 0,011 W/mK olarak

hesaplanmıştır. Tüm levha grupları için elde edilen değerler TS 825 (2013) standardındaki ahşap ısı yalıtım malzemeleri (rende yongası levhalar) için istenen sınır değerleri (0,065 W/mK-0,090 W/mK) arasında olduğundan, çalışmamızda üretilen kabuk izolasyon levhaların ısı yalıtım özelliğine sahip olduğu belirlenmiştir.

Çalışmada üretilen kabuk izolasyon levhalarının ısı iletim katsayıları düşük yoğunluklu sentetik ve mineral kökenli izolasyon malzemeleri ile karşılaştırıldığında nispeten yüksek olduğu, yani ısı yalıtım özelliklerinin daha düşük olacağı sonucuna varılabilir. Isı yalıtımını etkileyen önemli faktörlerden birinin yoğunluk olduğu, dolayısıyla kabuk levhaların düşük yoğunlukta üretilmesinin çok mümkün olmaması nedeniyle ısı iletim katsayıları yüksektir. Ancak yalıtım özelliğinin belirlenmesi bakımından ısı iletim katsayısı, malzeme kalınlığı ile değerlendirilmeli ve ortaya çıkan ısı direnç değeri dikkate alınmalıdır. Ayrıca kabuğun yenilenebilir bir hammadde olması nedeniyle üretilcek levhaların ekolojik ve insan sağlığına daha uygun olacağı söylenebilir. Dolayısıyla kabuk izolasyon levhaların, tez çalışmasında elde edilen veriler ışığında dekoratif iç mekan kullanımlarında alternatif bir yalıtım malzemesi olarak kullanılmasının uygun olacağı kanaatine varılmıştır. Ayrıca ısı yalıtım özellikleri sentetik ve mineral malzemelere göre nispeten yüksek olsa da ısıyı depolama özelliği olması avantaj sağlamaktadır. Bu özellik malzemeyi özellikle yaz aylarında hızlı soğumayı veya aşırı ısınmayı önleyen yalıtım katmanı olarak kullanıma uygun hale getirmektedir.

Ses iletim kaybı ölçümleri 80 Hz-5000 Hz ses frekans aralığında yapılmış olup levhaların bu aralıklarda gösterdiği ses iletim kayıpları belirlenerek değerlendirilmiştir. Levha gruplarının ses yalıtım özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan ses iletim kaybı ölçümleri sonucunda iletim kayıplarının yoğunluk, yüzeylerin kaplanması ve tutkal türü gibi farklı faktörlere bağlı olarak değişim gösterdiği anlaşılmıştır. Levhaların kaplanması işlemi ve yoğunluklarının artmasıyla ses iletim kayıplarının önemli oranlarda arttığı, dolayısıyla ses yalıtım özelliklerinin iyileştiği tespit edilmiştir. Ayrıca levhaların ses iletim kayıpları sabit ÜF kullanımında, ilave edilen P-MDI oranına göre düşük ve yüksek frekanslarda farklı özellikler göstermiş olup değişimlerin doğrusal olmadığı belirlenmiştir. Artan P-MDI ilavesi düşük frekanslarda ses yalıtımını olumsuz olarak etkilerken, yüksek frekanslarda en yüksek iletim kaybı %2 P-MDI kullanımında elde edilmiştir. Ortalama olarak ise en fazla iletim kaybı %1 P-MDI kullanımında gerçekleşmiştir. Sabit P-MDI kullanımında ilave edilen ÜF miktarına göre ses iletim kayıpları doğrusal bir değişim göstermemekle beraber en yüksek

ses iletim kaybı ve en yüksek ortalama değer %3 ÜF kullanımında gerçekleşmiştir. Sadece ÜF ve P-MDI kullanılan kontrol gruplarında elde edilen ses iletim kayıpları ise yoğunluğa göre farklı değerler almıştır. 300 kg/m³ yoğunlukta %3 P-MDI kullanımı ile üretilen levha grubunda %10 ÜF'ye göre daha fazla iletim kaybı görülürken, yoğunluğun 400 kg/m³'e çıkması ile ÜF (%10) kullanımında elde edilen iletim kaybının P-MDI'dan (%3) fazla olduğu belirlenmiştir. Levha kalınlığı açısından ise 400kg/m³ yoğunlukta 30 mm kalınlıktaki levhalar, 300kg/m³ yoğunlukta ise 20 mm kalınlıktaki levhalar daha fazla ses iletim kaybı sağlamıştır. Ortalama ses iletim kaybı 300 kg/m³ yoğunlukta 11,21 dB, 400 kg/m³ yoğunlukta ise 17,02 dB olarak gerçekleşirken, aynı kalınlık ve yoğunlukta ham ve kaplanmış levhalarda ise sırasıyla 11,21 dB ve 28,08 dB olarak hesaplanmıştır.

Fiziksel, mekanik ve ısı iletim özelliklerine ilişkin en iyi sonuçlar %7 ÜF + %3 P-MDI tutkal kullanım oranında elde edilmiştir. Bu tutkal varyasyonu ile farklı oranlarda odun kabuk karışımı kullanılarak üretilen levhalarda kabuk kullanım oranının artması ile mekanik özelliklerde azalma, WA, TS ve yalıtım özelliklerinde iyileşme olduğu tespit edilmiştir. %100 odun yongası ile üretilen levha grubunda %9 olarak hesaplanan 24 saat TS değeri, kabuk yonga karışımı %75 kabuk+%25 odun yongası olan levha grubunda %7,48 olarak hesaplanmıştır. Aynı levha grupları için ısı iletim katsayısı değerleri ise 0,07505 W/mK (%100 odun yongası) ve 0,06648 W/mK (%75 kabuk+%25 odun yongası) olarak ölçülmüştür. Odun kabuk karışımı levhalarda kabuk miktarının artması ile formaldehit emisyonu azaldığı tespit edilmiştir. %100 odun yongası ile üretilen levha grubu, %50 kabuk+%50 odun yongası levha grubu ile kıyaslandığında formaldehit emisyonundaki azalma %27 olarak hesaplanmıştır.

Farklı oranlarda vermikülit ilavesi ile üretilen deney levhalarının özellikleri incelendiğinde vermikülit ilavesi olmadan üretilen levhaya (%100 kabuk) kıyasla genel olarak TS ve WA değerlerinde artış olduğu, mekanik özelliklerde ise azalma meydana geldiği tespit edilmiştir. Buna karşın artan vermikülit kullanım oranı ile sıcaklıkla kütle kaybının azaldığı, ısı yalıtım özelliklerinin ise olumlu yönde etkilendiği belirlenmiştir. Vermikülit ilave edilmeyen (%100 kabuk) levha grubunda %7,95 olan 24 saat TS değeri, %15 vermikülit ilavesi ile artmasına rağmen (%8,16), vermikülit ilavesiz %100 odun yongası ile üretilen levha grubunun 24 saat TS değerinden (%8,28) daha düşük olduğu tespit edilmiştir. ASTM E-69 yanma deneyi sonuçlarına göre hem AKY hem de KKY için vermikülit ilavesi ile ağırlık kayıplarında doğrusal bir azalma olduğu anlaşılmıştır. Kabuk kontrol (%0 vermikülit) grubunda %16,7

(AKY) ve %19 (KKY) olarak hesaplanan ağırlık kayıpları, %15 vermikülit ilavesi ile %6 (AKY) ve %9,8 (KKY) olarak ölçülmüştür.

Tez çalışmasında elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde aşağıdaki öneriler yapılabilir;

- Kabuk izolasyon levhalarından istenilen diğer fiziksel ve mekanik özellikler göz önünde bulundurularak 400 kg/m^3 yoğunluk yerine, 300 kg/m^3 yoğunluk tercih edilip levhaların yüzeyine kaplama işlem yapılması ısı yalıtımı açısından daha iyi sonuçlar verecektir.
- Yoğunluğun artması ses yalıtımı ve mekanik özellikleri olumlu yönde etkilerken ısı iletim katsayısının artmasına neden olmaktadır. Özellikle 400 kg/m^3 yoğunluk tercih edilecekse kalınlığın fazla olması tercih edilmelidir.
- Kabuk izolasyon levha üretiminde yoğunluk artışının ısı yalıtımını olumsuz, ses yalıtımını ise olumlu yönde etkilediği anlaşılmıştır. Bu yüzden kullanım amacına uygun yoğunluk seçimi yapılmalıdır.
- Yüzey sertliği ve yoğunluğunun artması levhaların ses yalıtım ve absorplama özelliğini ters yönde etkilemektedir. Ses yalıtımı istenilen ortamlarda yüzey yoğunluğu ve sertliği yüksek olmalıdır. Ses absorplamanın daha önemli olduğu ortamlarda ise daha düşük yüzey yoğunluğu ve sertliği tercih edilmelidir.
- Kullanılan kaplama levha kalınlığı ve yoğunluğuna da bağlı olarak yüzeylerin kaplanması ısı iletim katsayısını artmaktadır. Bu durumun ısı yalıtım özelliğine etkisini belirlemek için levha kalınlığını da göz önünde bulundurup, ısıl direnç değeri hesaplanarak değerlendirme yapılmalıdır. Çünkü kaplama ile malzeme kalınlığı da artmaktadır.
- Kaplama işlemi ile levha yoğunlukları önemli oranlarda artmaktadır. Ancak kaplama işleminde kullanılan kaplamaların yoğunluklarına bağlı olup yüzey kaplama levha seçimi dikkate alınmalıdır.
- ÜF tutkalına ilave edilen P-MDI özellikle boyutsal kararlılığı ve mekanik özellikleri iyileştirici yönde etki yapmaktadır. ÜF ve P-MDI tutkallarına uygulanacak daha farklı karışım ve dozajlama metotları ile P-MDI tutkalının bu olumlu katkılarından daha fazla faydalanılabilir.
- Ahşap kaplama işleminin izolasyon levhaların mekanik özelliklerini önemli oranlarda iyileştirdiği tespit edilmiştir. Ahşap kaplama mekanik özelliklerin daha

fazla önemli olduğu kullanım yerlerinde tercih edilebilir.

- Kabuk hammaddesinin sahip olduğu farklı anatomik ve kimyasal özellikler elde edilecek malzemenin özelliklerini etkileyebileceğinden farklı ağaç türlerinin kabuklarından elde edilecek levhaların özellikleri araştırılabilir.
- Kabuk izolasyon levhaların mekanik özellikleri genel ve yapısal amaçlar için yeterli olmadığından özellikle düşük yoğunluklu levhaların hem dekorasyon hem de izolasyon amaçlı iç mekanlarda kullanılmasının daha uygun olacağı anlaşılmıştır.
- Üretilen kabuk izolasyon levhaların ısı iletim katsayıları, sentetik ve mineral kökenli yalıtım levhalarıyla kıyaslandığında yüksek olduğu görülmektedir. Ancak kabuk izolasyon levhaları ekolojik, yenilenebilir, doğal yapıda olması ve insan ve çevre sağlığına uygun olması nedeniyle tercih edilebilir.
- Kabuk izolasyon levhaların ısı iletim katsayıları yoğunluk, kaplama, kalınlık gibi birçok faktörden etkilenmektedir. Malzeme seçiminde tek başına ısı iletim katsayısı ile değil, ısı direnç değerine göre karar verilmesi ısı yalıtımı açısından daha doğru tercihler yapılmasını sağlayacaktır.
- Odun yongası ve kabuk karışımı ile kullanılması durumunda ısı yalıtımı açısından mekanik özellikler göz önünde bulundurularak %50-%50 oranında kullanılması uygun olacaktır. Boyutsal kararlılığın daha fazla önem arz ettiği kullanımlarda benzer bir ısı yalıtım özelliği elde etmek için %75 kabuk, %25 odun yongası şeklinde de tercih edilebilir.
- Vermikülit ilavesi kabuk levhaların yanma hızını azaltmanın yanında ısı iletim katsayısını düşürerek yalıtım özelliğini arttırmaktadır. Vermikülit ilavesi ile mekanik özelliklerde ve boyutsal kararlılıkta düşme olsa da vermikülit ilaveli kabuk levhaların TS ve WA değerleri %100 odun yongası ile üretilen levhalardan daha iyidir.
- Özellikle kütle kayıpları dikkate alındığında vermikülit ilavesi ile yanma özelliklerinde iyileşme olduğu görülmüştür. Yanma geciktirici olarak vermikülit farklı metot ve karışım şekilleri ile uygulanabilir.
- Kabuk izolasyon levha yüzeylerinin katı ve sıvı diğer yüzey kaplama malzemeleri ile kaplanarak ısı iletimi ve diğer özelliklerin karşılaştırılmasının önemli olduğu düşünülmektedir.
- Maliyet analizi incelendiğinde birim levha maliyetinin atık olarak ortaya çıkacak kabuk miktarına ve kabukların enerji eldesinde kullanılması ya da kullanılmaması durumlarına göre değişkenlik gösterebileceği belirlenmiştir. Kabuk izolasyon levha

birim maliyetinin taş yünü, cam yünü ve selüloz mat gibi yalıtım malzemeleriyle benzer maliyetlere sahip olduğu tespit edilmiştir.

- En düşük ısı iletim katsayılarını veren tutkal varyasyonlarından %4 P-MDI, %7 ÜF+%3 P-MDI'a göre daha yüksek maliyete sahip olmasına rağmen iç ortamlarda formaldehit emisyonu açısından avantaj sağlayacağı için tercih edilebilir.



KAYNAKLAR

- Açık, C. ve Tutuş, A. (2016). Çok amaçlı salon iç mimarisinde kullanılan farklı yüzey kaplamalı lif levhaların akustik özelliklerinin incelenmesi. *Electronic Journal of Construction Technologies/Yapi Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 12 (1).
- Aksogan, O., Resatoglu, R., ve Binici, H. (2018). An environment friendly new insulation material involving waste newsprint papers reinforced by cane stalks. *Journal of Building Engineering*, 15:33-40.
- Alma, M., H. ve Şen, S. (2001). Mantar meşesi kabuklarından mantar üretimi ve mantar artıklarının değerlendirilmesi. Derleme, *Ekoloji Çevre Dergisi*, 11 (41), 8-11.
- Anon (2004). Türkiye Ziraat Odaları Birliği, Ayçiçeği Raporu, 2004
- Anon. (2009). http://www.cevreonline.com/kuresel_isinma.htm-2009
- Anon. (2010). http://www.catider.org.tr/pdf/sempozyum/bildiri_012.pdf
- Arenas, J. P., ve Crocker, M. J. (2010). Recent trends in porous sound-absorbing materials. *Sound & vibration*, 44 (7), 12-18.
- Argyropoulos, D. S. (2001). *Wood and Cellulosic Chemistry*. Revised and Expanded Edited by David N.-S. Hon (Clemson University) and Nubuo Shiraishi (Kyoto University). Marcel Dekker: New York and Basel. 2001. vii+ 914 pp. ISBN 0-8247-0024-4.
- Arpacıoğlu, Ü. T. (2004). Yüksek yapı taşıyıcı sistemlerinde yangın etkisine karşı korumada sistem kuruluşu ve malzeme kullanımı. *Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi* 6-8 Ekim, s.1-9.
- Ashori, A. (2010). Hybrid composites from waste materials. *Journal of Polymers and the Environment*, 18 (1), 65-70.
- ASTM D-1037 (2020). Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials
- ASTM E-69 (2015). Standart Test Method For Combustible Properties of Treated Wood by the Fire-Tube Apparatus,.
- Barbu, M.C. (2011). Current developments in the forestry and wood industry, *Pro ligno*, 7 (4), 111-124.
- Barczewski, M., Mysiukiewicz, O., Hejna, A., Biskup, R., Szulc, J., Michałowski, S.,... ve Kłodziński, A. (2021). The effect of surface treatment with isocyanate and aromatic carbodiimide of thermally expanded vermiculite used as a functional filler for polylactide-based composites. *Polymers*, 13 (6), 890.
- Bayülken, Y. ve Kütükoğlu, H.C. (2009). *Yalıtım Sektörü Envanter Araştırması*, İZODER.

- Bekhta, P., Sedliačik, J., Noshchenko, G., Kačík, F., ve Bekhta, N. (2021). Characteristics of beech bark and its effect on properties of UF adhesive and on bonding strength and formaldehyde emission of plywood panels. *European Journal of Wood and Wood Products*, 79 (2), 423-433.
- Binici, H. (2016). Atık Mukavva, Alçı, Pomza, Perlit, Vermikülit ve zeolit ile yapılan kompozitlerin yangın direncinin araştırılması. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31 (1), 1-10.
- Binici, H., Aksogan, O., Bodur, M. N., Akca, E., ve Kapur, S. (2007). Thermal isolation and mechanical properties of fibre reinforced mud bricks as wall materials. *Construction and Building materials*, 21 (4), 901-906.
- Binici, H., Eken, M., Kara, M., ve Dolaz, M. (2013). An environment-friendly thermal insulation material from sunflower stalk, textile waste and stubble fibers. In *2013 International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)* (pp. 833-846). IEEE.
- Binici, H., Sevinç, A. H., Eken, M. ve Demirhan, C. (2014). Mısır koçanı katkılı ısı yalıtım malzemesi üretimi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29 (2), 13-26.
- Binici, H., Sevinç, A. H., Eken, M., ve Velit, E. (2015). Atık gazete kağıdından yalıtım malzemesi üretimi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30 (2), 13-24.
- Blanchet, P., Cloutier, A., ve Riedl, B., (2000). Particleboard made from hammer milled black spruce bark residues, *Wood Science and Technology*, 34, 11-19.
- Blankenhorn PR, Murphey WK, Rishel LE. ve Kline D.E. (1977) Some mechanical properties of impregnated bark board. *Forest Product Journal*, 27 (6): 31-38
- Brombacher, V., Michel, F., Volkmer, T., ve Niemz, P. (2012). Investigation of thermal conductivity and moisture behaviour of fibreboard and material combinations. *Bauphysik*, 34 (4), 157-169.
- Bucur, V. (2006). *Acoustic of Wood*, 2nd ed.; Springer: Berling/Heidelberg, Germany, pp. 7–36.
- Burrows, C. H. (1960). Bark boards require either glue or sizing, *Lumberman* 87 (7), 76-77. Portland.
- Choi, J. M. (2011). A Study on combustion characteristics of fire retardant treated pinus densiflora and pinus koraiensis. *Mokchae Konghak*, 39 (3): 244-251.
- Costa NA, Pereira J, Ferra J, Cruz P, Martins J, Magalhães FD, Mendes A, ve Carvalho LH (2013). Scavengers for achieving zero formaldehyde emission of wood-based panels. *Wood Science and Technology*, 47(6):1261–1272.
- Crawford, R., Smalley, M. V., ve Thomas, R. K. (1990). Swelling of n-butylammonium

vermiculite in water. *Clays and Clay Minerals*, 38 (1), 90-96.

- Çakal, Ö. (2021). Karaçam (*Pinus nigra*) Budaklarındaki Stilbenlerin Derin Ötektik Çözücülerle (DÖÇ) Geri Kazanılması. *Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Bartın*, 152s.
- Çavuş, V. ve Kara, M. (2020). Experimental Determination of Sound Transmission Loss of Some Wood Species. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 20 (2), 190-199.
- Deppe H.J. ve Hoffmann A. (1972). Particleboard experiments. Utilize softwood bark waste. *World Wood*, 3 (7): 8-10.
- Dost W.A. (1971). Redwood bark fiber in particleboard. *Forest Product Journal*, 21(10): 38-43.
- Dönmez, İ. E. ve Dönmez, Ş. (2013). Ağaç kabuğunun yapısı ve yararlanma imkanları. *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi*, 14, 156-162.
- DPT (2001). *Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Yapı Malzemeleri: III. Pomza-Perlit-Vermikülit-Flogopit-Genleşen Killer Çalışma Grubu Raporu, Devlet Planlama Teşkilatı, 2617, Ankara, 57-68.*
- Durmaz, S., Kuştaş, S., Özgenç, Ö ve Yıldız, Ü.C. (2016). Bazı odun kabuklarının kimyasal analizi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4: 438-442.
- Dutkuner, İ. ve Koparan, İ. (2016). Kızılçam ve Karaçam kabuk miktarı ve kullanım olanakları. *Electronic Journal of Vocational Colleges*, 2, 1-10.
- Dziurka, D. ve Mirski, R. (2010). UF-pMDI hybrid resin for waterproof particleboards manufactured at a shortened pressing time, *Drvna Industrija*, 61: (4) 245-249.
- Efe, F.T. (2011). Ayçiçeği Bitkisi (*Helianthus annuus* L.) Saplarının İzolasyon Levha Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması, *Doktora Tezi, K.S.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş*, 201 s.
- Ehsani, İ. (2015). Bir Vermikülitin Fiziksel, Kimyasal ve Isıl Özellikleri Üzerine Sülfürik Asit Liçinin Etkileri. *Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara*, 74s.
- Eroğlu, H. ve Usta, M. (2000). *Lif levha Üretim Teknolojisi* K.T.Ü. Orman Fakültesi Yayınları, Trabzon.
- Fengel, D., Wegener, G., (1984). *Wood: Chemistry, Ultrastructure and Reactions*, de Gruyter, Berlin, pp. 268-295.
- Filippou I. (2014). *Chemistry and Chemical Technology of Wood*. Giahoudi-Giapouli Publications, Thessaloniki, p. 357.

- Food and Agriculture Organization (FAO), (1990). Energy Conservation in the Mechanical Forest Industries”, FAO Forestry Paper No: 93. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, pp.118.
- Gao, M., Sun, C., ve Zhu, K. (2004). Thermal degradation of wood treated with guanidine compounds in air: Flammability study. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 75(1), 221-232.
- Ghofrani, M., Ashori, A., ve Mehrabi, R. (2017). Mechanical and acoustical properties of particleboards made with date palm branches and vermiculite. *Polymer Testing*, 60, 153-159.
- Giannotas, G., Kamperidou, V., ve Barboutis, I. (2021). Tree bark utilization in insulating bio-aggregates: a review. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 15(6), 1989-1999.
- Gönültaş, O., ve Uçar, M. B. (2017). Doğu ladini (*Picea orientalis*) ve meşe (*Quercus* spp.) kabuklarının kimyasal bileşimi. *Turkish Journal of Forestry*. 18(4): 321-327.
- Grigoriou, A. H. (2000). Straw-wood composites bonded with various adhesive systems. *Wood Science and Technology*, 34(4), 355-365.
- Güler, C., ve Akgül, M. (2001). Enerji Üretiminde Odun ve Tarımsal Artıkların Değerlendirilmesi, *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi Bildiriler Kitabı*, MMO Yayın No: E/2001/275, sayfa: 165-272, Kayseri.
- Güler, C., ve Özen, R. (2004). Some properties of particleboards made from cotton stalks (*Gossypium hirsutum* L.) *Holz als Roh- und Werkstoff*, 62:40-43
- Hafizoğlu, H ve Usta, M. (2005). Chemical composition of coniferous wood species occurring in Turkey. *Holz als Roh-und Werkstoff*, 63:83-85.
- Hafizoğlu, H., (1982). *Orman Ürünleri Kimyası*. Cilt:1 Odun Kimyası. K.T.Ü. Orman Fakültesi Yayın No: 52, s. 245 Trabzon.
- Hamad, A. M. A., Ates, S., Olgun, Ç., ve Gür, M. (2019). Chemical composition and antioxidant properties of some industrial tree bark extracts. *BioResources*, 14(3), 5657-5671.
- Harkin, J.M., ve Rowe, J.W. (1971). Bark and its possible uses, *USDA Forest Service Research Note*, FPL 091. USDA, Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, pp.56.
- Harmancı, F. N. ve Kalem, M. (2022). Betonda atık vermikülit kullanımının betonun mineralojik ve kimyasal yapısına olan etkisinin incelenmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 12 (3), 848-863.
- Hematabadi, H., Behrooz, R., Shakibi, A., ve Arabi, M. (2012). The reduction of indoor air formaldehyde from wood based composites using ure treatment for building materials, *Construction and Building Materials*, 28, 743-746.

- Howard, E.T. (1971). Bark structure of the southern pines, *Wood Science* 3(3), 134-148.
- İstek, A. ve Özlüsoylu, İ. (2021). Laminasyon İşleminde Sıcaklık ve Süre Değişiminin MDF Özelliklerine Etkisi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 23(3), 899-905.
- İstek, A., Aydemir, D., ve Eroğlu, H., (2013). Combustion properties of medium density fiberboard coated by a mixture of calcite and various fire retardants. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 37(5), 642-648.
- İstek, A., ve Özlüsoylu, İ. (2016). The effect of using Siriono and boric acid on the combustion performance in particleboard production. In *International Forestry Symposium (IFS 2016)* (Vol. 7, No. 10).
- Kain, G. (2016). Design of Tree Bark Insulation Boards: Analysis of Material, Structure and Property Relationships, *Doctoral Dissertation, Technical University of Munich*, p:114.
- Kain, G. Barbu, M.C. Hinterreite, S. Richter, K., ve Petutschnigg, A. (2013b). Using bark as a heat insulation material, *Bioresource*, 8(3), 3718–3731.
- Kain, G. Barbu, M.C. Teischinger, A. Musso, M., ve Petutschnigg, A. (2012). Substantial bark use as insulation material, *For Product Journal*, 62 (6), 480–487.
- Kain, G. Güttler, V. Barbu, M. C. Petutschnigg, A., ve Richter, K. (2014). Density related properties of bark insulation boards bonded with tannin hexamine resin. *European Journal of Wood and Wood Products*, 72, 417- 424.
- Kain, G., Heinzmann, B., Barbu, M.C., ve Petutschnigg, A. (2013a). Softwood bark for modern composites, *Pro ligno*, 9(4), 460-468.
- Kain, G., Lienbacher, B., Barbu, M. C., Richter, K., ve Petutschnigg, A. (2018b). Larch (*Larix decidua*) bark insulation board: Interactions of particle orientation, physical–mechanical and thermal properties. *European journal of wood and wood products*, 76 (2), 489-498.
- Kain, G., Lienbacher, B., Barbu, M. C., Senck, S., ve Petutschnigg, A. (2018a). Water vapour diffusion resistance of larch (*Larix decidua*) bark insulation panels and application considerations based on numeric modelling. *Construction and Building Materials*, 164, 308-316.
- Kain, G., Tudor, E. M., ve Barbu, M. C. (2020). Bark thermal insulation panels: An explorative study on the effects of bark species. *Polymers*, 12 (9), 2140.
- Kantay, R., ve Köse, C. (2006). Türkiye'de kabuk konusunda bugüne kadar yapılan çalışmalar ve değerlendirme. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 56 (1), 1-15.
- Karlinasari, L., Hermawan, D., Maddu, A., Bagus, M., Lucky, I. K., Nugroho, N., ve Hadi, Y. S. (2012). Acoustical properties of particleboards made from betung bamboo (*Dendrocalamus asper*) as building construction material. *Bioresources*, 7 (4),

5700-5709.

- Kawai, S. (1996). *Development Ultra-Light Fiberboard: report of the Grant-in-Aid for Scientific Research (C) (No. 06660214), from the Ministry of Education, Science and Culture of Japan*, pp 28-36.
- Kawai, S. Sasaki, H. Ishihara, S. Takahashi, A., ve Nakaji, M. (1988). Thermal, sound, and fire resistance performance of low-density particleboard, *Mokuzai Gakkaishi*, 34, 973-980.
- Kawai, S. Suda, H. Nakaji, ve M. Sasaki, H. (1986). Production technology for low-density particleboard, *II. Mokuzai Gakkaishi*, 32, 876.
- Kawasaki, T. Zhang, M. ve Kawai, S. (1998). Manufacture and properties of ultra-low-density fiberboard, *Journal of Wood Science*, 44, 354-360.
- Kim, B. J., Huang, R., Xu, X., Lee, S. Y., Kunio, J., ve Wu, Q. (2015). Sound transmission properties of mineral-filled high-density polyethylene (HDPE) and wood-HDPE composites. *BioResources*, 10(1), 510-526.
- Kleinhempel, A. K. (2005). Innovative insulation materials in civil engineering—current state of research and market compendium. *Department for Energy, University of Bremen (in German)*.
- Kozłowski, R., Mieleniak, B., Helwig, M., ve Przepiera, A. (1999). Flame resistant lignocellulosic-mineral composite particleboards. *Polymer Degradation and Stability*, 64 (3), 523-528.
- Kristak, L., Ruziak, I., Tudor, E. M., Barbu, M. C., Kain, G., ve Reh, R. (2021). Thermophysical properties of larch bark composite panels. *Polymers*, 13 (14), 2287.
- Kulaksızoğlu, Z. (2006). <http://www.ito.org.tr/Doküman/Sektor/1-42.pdf>
- Kurt, R., ve Mengeloğlu, F., (2006). Potential utilization of bark residues in Turkey, *1st International Non-wood Forest Products Symposium*, 1-4 November, Trabzon.
- Lee, J. W. (2008). Burning behavior of flooring materials in the cone calorimeter and evaluation of toxic smoke. *Mokchae Konghak* 36 (1): 45-53.
- Li, P., Kim, B.J., Wang, Q., ve Wu, Q., (2013a). Experimental and numerical analysis of the sound insulation property of wood plastic composites (WPCs) filled with precipitated CaCO₃. *Holzforschung* 67 (3), 301-306.
- Li, X., Lei, B., Lin, Z., Huang, L., Tan, S., ve Cai, X. (2013b). The utilization of organic vermiculite to reinforce wood-plastic composites with higher flexural and tensile properties. *Industrial Crops and Products*, 51, 310-316.
- Liang, J. Z., Li, R. K. Y., ve Tjong, S. C. (1999). Effects of glass bead content and surface treatment on viscoelasticity of filled polypropylene/elastomer hybrid composites. *Polymer international*, 48 (11), 1068-1072.

- Lohninger, Y. (2014). Formaldehyde emissions of bark panels bound with tannin resin. *Lisans tezi, Orman Ürünleri Teknolojisi ve Ahşap Yapı, Salzburg Uygulamalı Bilimler Üniversitesi.*
- Maloney, T.M. (1993). *Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing*, San Francisco, CA, USA: Miller Freeman Publications.
- Mansouri, H. R., Pizzi, A., ve Leban, J. M. (2006). Improved water resistance of UF adhesives for plywood by small pMDI additions. *Holz als Roh-und Werkstoff*, 64 (3), 218-220.
- Marashdeh, M. W., Hashim, R., Bauk, S., ve Sulaiman, O. (2011). Effect of particle size on the characterization of binderless particleboard made from *Rhizophora* spp. Mangrove wood for use as phantom material. *BioResources*, 6 (4), 4028-4044.
- Marcos, C., ve Rodríguez, I. (2011). Expansibility of vermiculites irradiated with microwaves. *Applied Clay Science*, 51(1-2), 33-37.
- McMullan, R. (2002). *Environmental Science in Building*, 5th ed.; Palgrave: New York, NY, USA, pp. 200–251.
- Medved, S., Gajsek, U., Tudor, E. M., Barbu, M. C., ve Antonovic, A. (2019). Efficiency of bark for reduction of formaldehyde emission from particleboards. *Wood Research*, 64, 307-316.
- Medved, S., Tudor, E. M., Barbu, M. C., Jambrekovic, V., ve Španic, N. (2019a). Effect of pine (*Pinus sylvestris*) bark dust on particleboard thickness swelling and internal bond. *Drvna Industrija*, 70, 141-147.
- Medved, S., Vladimir, J., Nikola, S., Roman, S., Barbu, M.C. ve Tudor, E.M. (2019b). Bark, what can we do with it, what is it good for. *30th International Conference on Wood Science and Technology, Implementation of Wood Science in Woodworking Sector” & 70th Anniversary of Drvna Industrija Journal*, Zagreb, pp 119-127.
- Merev N., (2003). *Odun Anatomisi*, Karadeniz Üniversitesi Orman Fakültesi, Genel yayın no:209.
- Mikkola, E. (1991). Charring of wood based materials, *Proceedings of the third international symposium*. Elsevier Applied Science. London p547.
- Muszynski, Z. ve McNatt, J.D. (1984). Investigations on the use of spruce bark in the manufacture of particleboard in Poland. *Forest Product Journal* 34 (1):28-35.
- Nemli G, ve Çolakoğlu G. (2005). Effects of mimosa bark usage on some properties of particleboard. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 29 (3):227–230
- Nguyen, A. N., Reinert, L., Lévêque, J. M., Beziat, A., Dehaut, P., Juliaa, J. F., ve Duclaux, L. (2013). Preparation and characterization of micron and submicron-sized vermiculite powders by ultrasonic irradiation, *Applied clay science*, 72, 9-17.

- Ninikas, K., Mitani, A., Koutsianitis, D., Ntalos, G., Taghiyari, H. R., ve Papadopoulos, A. N. (2021). Thermal and mechanical properties of green insulation composites made from cannabis and bark residues. *Journal of Composites Science*, 5 (5), 132.
- Nourbakhsh, A., ve Ashori, A. (2010). Particleboard made from waste paper treated with maleic anhydride. *Waste Management & Research*, 28 (1), 51-55.
- Orhon A.V., ve Altin M. (2020). Utilization of alternative building materials for sustainable construction, in *Environmentally- Benign Energy Solutions*, ed. by Dincer I, Colpan CO and Ezan MA. Springer International Publishing, Cham, Bavaria, Germany, pp. 727–750.
- Özdemir F. ve Tutuş, A., (2012). Investigation on increasing resistance of laminat flooring against combustion. *KSU Journal of Engineering Science*. Special Issue, pp.83-89.
- Özdemir, F. (2012). Yanmayı Geciktirici Çeşitli Kimyasal Maddelerin Laminat Parkenin Bazı Özellikleri Üzerine Etkilerinin Araştırılması, *Doktora Tezi, K.S.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Kahramanmaraş*, 243s.
- Özdemir, H. (2010). Endüstride Önemli İbrelî Ağaç Kabuklarından Tanen Üretimi ve Üretilen Tanenlerin Lif Levhada Tutkal Olarak Değerlendirilmesi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 154s.
- Panyakaew, S. ve Fotios, S. (2011). New thermal insulation boards made from coconut husk and bagasse, *Energy and Buildings*, 43, 1732–1739.
- Papadopoulos, A. N., Hill, C. A. S., Traboulay, E., ve Hague, J. R. B. (2002). Isocyanate resins for particleboard: PMDI vs EMDI. *Holz als Roh-und Werkstoff*, 60 (2), 81-83.
- Pásztory, Z., Börcsök, Z., ve Tsalagkas, D. (2019). Density optimization for the manufacturing of bark-based thermal insulation panels. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 307, No. 1, p. 012007). IOP Publishing.
- Pásztory, Z., ve Ronyecz, I. (2013). The Thermal Insulation Capacity of Tree Bark, *Acta Silv. Lign. Hung*, 9, 111–117.
- Paulitsch M, ve Barbu MC (2015). *Holzwerkstoffe der Moderne*. DRW-Verlag, Leinfelden-Echterdingen.
- Pedroso, M., De Brito, J., ve Silvestre, J. D. (2017). Characterization of eco-efficient acoustic insulation materials (traditional and innovative). *Construction and Building Materials*, 140, 221-228.
- Peng, L. (2017). Sound absorption and insulation functional composites. In *Advanced high strength natural fibre composites in construction* (pp. 333-373). Woodhead Publishing.

- Pfundstein, M., Gellert, R., Spitzner, H., ve Rudolphi, A. (2007). Insulation materials: basics, materials, applications. Munich, Germany, Department for International Architecture Documentation Corporation (in German).
- Pizzi, A. (1982). Pine tannin adhesives for particleboard, *Holz als Roh- und Werkstoff*, 40, 293–301.
- Pizzi, A. (1994). *Advanced wood adhesive technology*, Dekker, New York.
- Prasetya, B., ve Roffael, E. (1991). Investigations on the behavior of extract-rich barks during particle board manufacture. On the reactivity of spruce barks towards formaldehyde. *Holz als Roh-und Werkstoff (Germany, FR)*.
- Qu, H., Wu, W., Wu, H., Xie, J., ve Xu, J. (2011). Study on the effects of flame retardants on the thermal decomposition of wood by TG–MS. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 103(3), 935-942.
- Rowell R.M. ve Ellis W.D. (1981). Bonding of isocyanates to wood. K.N. Edwards (ed) In: American Chemical Society Symposium Series 192. Washington, D.C. Chapter 19, pp. 263–284.
- Rowell R.M. ve Pettersen R.M. (2012). Cell wall chemistry, in *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA <https://doi.org/10.1201/b12487-5>.
- Saadatnia, M., Ebrahimi, G., ve Tajvidi, M. (2008). Comparing sound absorption characteristic of acoustic boards made of Aspen particles and different percentage of Wheatnad Barely straws. *17th World Conference on Nondestructive Testing*, Shanghai, China.
- Sakai, K. (2001). *Chemistry of bark*. In: Hon DN, Shiraishi N (eds) Wood and cellulosic chemistry, 2nd edn. Marcel Dekker, New York, pp 243–273.
- Schwemmer, R. (2010). Entwicklung der Fertigungstechnologie für Rohrkolben-Dämmstoffe. Federal Ministry for Association, Innovation and Technology, Vienna.
- Shida, S., ve Okuma, M. (1980). Dependency of thermal conductivity of wood based materials on temperature and moisture content, *Mokuzai Gakkaishi*, 26, 112-117.
- Son, D. W., Kang, M. R., Kim, J. I., ve Park, S. B. (2012). Fire performance of the wood treated with inorganic fire retardants. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, 40 (5), 335-342
- Stark, N.M., Cai, Z., ve Carll, C. (2010). *Wood-Based Composite Materials Panel Products, Glued-Laminated Timber, Structural Composite Lumber, and Wood–Nonwood Composite Materials*, Wood Handbook Wood as an Engineering Material, Ross, R.J, USDA Forest Service Forest Products Laboratory.
- Suvorov, S. A., ve Skurikhin, V.V. (2003). Vermiculite-a promising material for high

- temperature heat insulators, *Refract. Ind. Ceram.* 44 (3), 186-193.
- Şahin, H. ve Döngel, N. (2018). Bazı ahşap ve ahşap esaslı levhaların ısı iletkenlik özelliklerinin belirlenmesi. 5. *Uluslararası Mobilya Kongresi*, 1-4 Kasım 2018, Eskişehir.
- Takano T, Murakami T, Kamitakahara H., ve Nakatsubo F. (2008). Formaldehyde adsorption by karamatsu (*Larix leptolepis*) bark. *Journal of Wood Science* 54 (4):332–336.
- Tan, R. (2012). *The Use of P-MDI Resin in MDF Manufacture: Report Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Bachelor of Science in Wood Products Processing In The Faculty of Forestry, University of British Columbia.*
- TAPPI T 203 cm-22. (2022). Alpha-, beta- and gamma-cellulose in pulp. TAPPI, Atlanta, GA, USA.
- TAPPI T 204 cm-17. (2017). Solvent extractives of wood and pulp. TAPPI, Atlanta, GA, USA.
- TAPPI T 207 cm-08. (2008). Water solubility of wood and pulp. TAPPI, Atlanta, GA, USA.
- TAPPI T 222 om-21. (2021). Acid-insoluble lignin in wood and pulp. TAPPI, Atlanta, GA, USA.
- TAPPI/ANSI T 211 om-22. (2022). Ash in wood, pulp, paper and paperboard: Combustion at 525 °C, TAPPI, Atlanta, GA, USA.
- TAPPI/ANSI T 212 om-18. (2018). One percent sodium hydroxide solubility of wood and pulp, TAPPI, Atlanta, GA, USA.
- Thoemen, H. (2010). Vom Holz zum Holzwerkstoff—Grundlegende Untersuchungen zur Herstellung und Struktur von Holzwerkstoffen. Berner Fachhochschule Architektur, Holz und Bau: Biel, Switzerland.
- Toksoy, F. (1997). Vermikülit: Mineraloji, jeolojik oluşum, endüstriyel kullanım ve Türkiye’deki durumu. 2. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, 16-17.
- Toshiro H., U. Saburou, ve T. Hironori., (2003). Evaluation of fire-retardant wood treated with polyphosphateic carbamate using a cone calorimeter. *Forest Product Journal* 53 (6): 81-85.
- TS 4894 EN 120 (1999) Ahşap esaslı levhalar-Formaldehit Miktarının Tayini-Ekstraksiyon Metodu ile Ayırma, TSE, Ankara.
- TS EN 310 (1999). Ahşap Esaslı Levhalar – Eğilme Dayanımı ve Eğilme Elastikiyet Modülünün Tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 316 (1998). Odun Lifi Levhalar – Tarifler Sınıflandırma ve Semboller, TSE, Ankara.

- TS EN 317 (1999). Yonga levhalar ve Lif Levhalar – Su İçerisine Daldırma İşleminde Sonra Kalınlığına Şişme Tayini, TSE, Ankara
- TS EN 319 (1999). Yonga levhalar ve Lif Levhalar Levha Yüzeyine Dik Çekme Dayanımının Tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 323 (1999). Ahşap Esaslı Levhalar – Birim Hacim Ağırlığının Tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 325 (1999) Ahşap Esaslı Levhalar – Numune Boyutlarının Ölçümü, TSE, Ankara.
- TS EN 326-1 (1999) Ahşap Esaslı Levhalar – Numune Alma Kesme ve Muayene, TSE, Ankara.
- Tsalagkas, D., Börcsök, Z., ve Pásztor, Z. (2019). Thermal, physical and mechanical properties of surface overlaid bark-based insulation panels. *European Journal of Wood and Wood Products*, 77 (5), 721-730.
- Tudor, E. M., Dettendorfer, A., Kain, G., Barbu, M. C., Réh, R., ve Krišťák, Ľ. (2020). Sound-absorption coefficient of bark-based insulation panels. *Polymers*, 12 (5), 1012.
- Tudor, E. M., Kristak, L., Barbu, M. C., Gergel, T., Němec, M., Kain, G., ve Réh, R. (2021). Acoustic properties of larch bark panels. *Forests*, 12 (7), 887.
- URL-1 <https://www.gnyapi.com.tr/isi-yalitimi-zorunlulugu/Son> erişim tarihi: (31 Aralık 2021)
- URL2http://test.teknolojim.com/folders/18065/categorial1docs/3840/Malzemelerin_Akustik_Performans_Testleri.pdf (31Aralık 2021)
- URL-3 <https://agrikal.com.tr/urundetay/agrikal-urunleri/uygulamalar/22/14/1> (22.07.2022)
- Usta, M. (1993). Yerli çam türlerimizin kabuk ve odun bileşenlerinin karşılaştırılması, *II. Ulusal Orman Ürünleri Endüstrisi Kongresi Bildiri Metinleri*, Trabzon
- Ustaömer, D. (2008). Çeşitli Yanmayı Geciktirici Kimyasal Maddelerle Muamele Edilerek Üretilmiş Orta Yoğunluktaki Lif Levhaların (MDF) Özelliklerindeki Değişimlerin Belirlenmesi, *Doktora Tezi, K.T.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Lif ve Kağıt Teknolojisi Anabilim Dalı, Trabzon, 244s.*
- Vay, O., Busquets-Ferrer, M., Emsenhuber, G., Huber, C., Gindl-Altmutter, W., ve Hansmann, C. (2021). Thermal conductivity of untreated and chemically treated poplar bark and wood. *Holzforschung*, 75 (12), 1125-1135.
- Wang, F., Gao, Z., Zheng, M., ve Sun, J. (2016b). Thermal degradation and fire performance of plywood treated with expanded vermiculite. *Fire and Materials*, 40 (3), 427-433.
- Wang, J., Wang, F., Gao, Z., Zheng, M., ve Sun, J. (2016a). Flame retardant medium-density fiberboard with expanded vermiculite. *BioResources*, 11 (3), 6940-6947.

- Wang, S.Y., Yang, T.H., Lin, L.T., Lin, C.J., ve Tsai, M.J. (2007). Properties of low-formaldehyde – emission particleboard made from recycled wood-waste chips sprayed with pmdī/pf resin, *Building and Environment*, 42, 2472-2479.
- Wang, W., Zang, X., ve Lu, R. (2004). Low formaldehyde emission particleboard bonded by UF-MDI mixture adhesive, *Forest Products Journal*, 54, 9; ProQuest Business Collection pg. 36.
- White, R. H., ve Nordheim, E. V. (1992). Charring rate of wood for ASTM E 119 exposure. *Fire technology*, 28 (1), 5-30.
- Wiedenhoeft, A. (2010). *Structure and Function of Wood*, Wood Handbook Wood as an Engineering Material, Ross, R.J, USDA Forest Service Forest Products Laboratory.
- Wise, E.L. ve Karl, H.L. (1962). Cellulose and hemicelluloses in pulp and paper science and technology. In: Earl, C.L. (Ed.) Vol. 1: *Pulp*, McGraw Hill-Book Co. New York.
- Wittmann, O. (1983). Production of particleboard with reinforced aminoplast resin glues. *Holz als Roh-und Werkstoff*, 41(10), 431-435.
- Xing, C. Zhang, S.Y., Deng, S., ve Wang, S. (2007). Investigation of the effect of bark fiber as core material and its resin content on three layer MDF performance by response surface methodology, *Wood Science and Technology*, 41, 585-595.
- Yemele MC, Blanchet P, Cloutier A., ve Koubaa A (2008). Effects of bark content and particle geometry on the physical and mechanical properties of particleboard made from black spruce and trembling aspen bark. *Forest Products Journal* 58(11):48–56.
- Zhao, J., Wang, X. M., Chang, J. M., Yao, Y., ve Cui, Q. (2010). Sound insulation property of wood–waste tire rubber composite. *Composites Science and Technology*, 70 (14), 2033-2038.
- Zhu, X., Kim, B. J., Wang, Q., ve Wu, Q. (2014). Recent advances in the sound insulation properties of bio-based materials. *BioResources*, 9 (1), 1764-1786.

BİBLİYOGRAFYA

- Kozlowski, T. T. (1971). Growth and development of trees (No. 581.134 K69).
- OGM, 2014<http://www.ogm.gov.tr/Sayfalar/Ormanlarimiz/Illere-Gore-Orman-Varligi.aspx>
(02.03.2014)
- Sjöström, E. (1981). Wood Chemistry Fundamentals and Applications. Academic Pres Inc, San Diego, pp. 223, California, USA.
- Tsoumis, G.,1968, Wood as Raw Material.Pregamon Press.
- URL-4<https://www.kariyerdersleri.com/nedir/odunun-yapisi-ve-odun-cesitleri.aspx>
(01.08.2022)



