



Production of almond shell containing particleboards and determination of their thermal conductivities

Anılcan Sarıkaya¹, Ahmet Ali Sertkaya², Eyüb Canlı^{2*}, Cengiz Güler³

¹Mechanical Engineering Main Branch, Institute of Natural and Applied Sciences, Selçuk University, 42130, Selçuklu, Konya, Türkiye

²Department of Mechanical Engineering, Faculty of Technology, Selçuk University, 42130, Selçuklu, Konya, Türkiye

³Department of Forestry Industrial Engineering, Faculty of Forestry, Düzce University, 81620, Yörük, Düzce, Türkiye

Highlights:

- The use of ground almond shells as particleboard material has been conceptualized.
- The thermal conductivity values of particleboards having almond shells as the main material are presented for the first time.
- Experimental thermal conductivity data can be largely represented by a regression equation.

Keywords:

- Biocomposite
- Thermal insulation
- Lignocellulosic

Article Info:

Research Article

Received: 30.03.2023

Accepted: 06.10.2023

DOI:

10.17341/gazimmfd.1171859

Correspondence:

Author: Eyüb Canlı

e-mail: ecanli@selcuk.edu.tr

phone: +90 507 231 2828

Graphical/Tabular Abstract

In the present work, almond shells of domestic types were acquired from Adiyaman Hard Shell Fruit Research Institute in 2021. After several prior and benchmarking grinding and milling work were tried on the acquired almond shells, it was decided to send the bulk material to workshops of Duzce University, Faculty of Forest, Department of Forestry Industrial Engineering and Department of Wooden Mechanics and Technology, Duzce, Turkey. There, almond shells were grinded into small granules. After sieves were used, a weight distribution of almond shell particles that have particle sizes between 0.4 to 3.4 mm were attained. This particle distribution was then mixed with dark oak particles with different volumetric ratios. Mixing was done in a box by means of a mechanical blender with an electrical motor. Urea-formaldehyde was added as binder and the whole mixture was put in a mold. After the shaping process by the mold, the mixture was compressed and heated. The boards were processed and then used in thermal conductivity experiments. Example images of the particle board production and thermal conductivity values of 1.2 g/cm³ density almond shell particle board with different almond shell amounts are shown in Figure A.

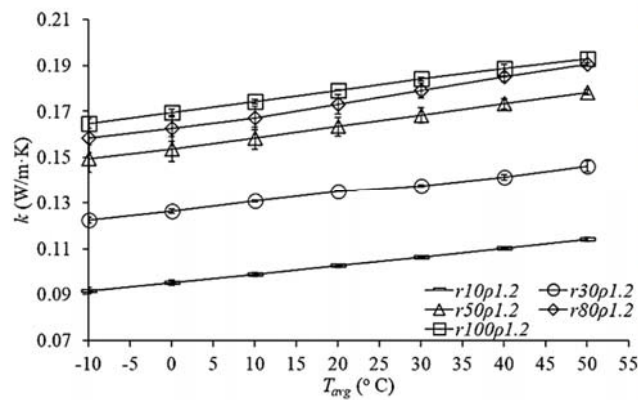


Figure A. Example particle board production images and thermal conductivity values of 1.2 g/cm³ density almond shell particle board with different almond shell amounts

Purpose: Particle board industry is thought for almond shells, i.e., by product of almond fruit production, as a sustainable, more added value producing, low environmental impact way of use. A detailed literature survey was conducted, and particle boards were produced by using almond shell particles.

Theory and Methods: A production set with different ratios of almond shell particles in weight was constituted, and afterwards, a secondary production was realized with different board densities in order to investigate density effect. Thermal conductivities of the boards were determined experimentally.

Results: Thermal conductivity value increases with increasing board density value. Almond shell particle ratio exhibits different behavior depending on the board density. The minimum thermal conductivity value was 0.07 W/m.K and the maximum value was 0.19 W/m.K. Thermal conductivity values increase as temperature values increase though the work was conducted with constant temperature difference. The lowest thermal conductivity was obtained for the 0.6 g/cm³ and 60% board.

Conclusion: Almond shell particle boards may be beneficial in terms of thermal insulation for possible structural applications at low temperatures about 10°C and 20°C constant temperature difference.



Badem kabuğu içerikli yonga levha üretimi ve ısı iletkenliklerinin belirlenmesi

Anılcan Sarıkaya¹, Ahmet Ali Sertkaya², Eyüb Canlı^{2*}, Cengiz Güler³

¹Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 42130, Selçuklu, Konya, Türkiye

²Selçuk Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 42130, Selçuklu, Konya, Türkiye

³Düzce Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstrisi Mühendisliği Bölümü, 81620, Yörük, Düzce, Türkiye

ÖNEÇİKANLAR

- Badem kabuklarının öğütülerek yonga levha malzemesi olarak kullanımı kavramsallaştırılmıştır
- Ana malzemesi badem kabuğu olan yonga levhaların ısı iletkenlik değerleri ilk defa sunulmaktadır
- Deneysel ısı iletkenlik verisi bir regresyon eşitliği ile büyük oranda temsil edilebilmektedir

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 30.03.2023

Kabul: 06.10.2023

DOI:

10.17341/gazimmfd.1171859

Anahtar Kelimeler:

Biyokompozit,
ısı yalıtım,
lignoselülozik

ÖZ

Badem çekirdeği, tüketimi sürekli artan, ülkemiz için de öneme haiz, değerli bir tarım ürünüdür. Üretiminde sert kabuğu bir yan ürün olarak çıkmaktadır. Kabuk ile çekirdek yaklaşık aynı ağırlığa sahiptir. Buna rağmen kabuk genellikle yakılarak kullanılmakta, nadiren de öğütülerek kozmetik sektörde veya filtrelerde değerlendirilmektedir. Badem kabuğu gözenekli ve sert, lignoselülozik, yenilenebilir bir kaynaktır. Bu kaynağa sürdürülebilir, daha yüksek katma değer oluşturan, çevre etkisi daha düşük bir kullanım için yonga levha endüstrisi düşünülmüştür. Bu amaçla detaylı bir literatür taraması yapılmış ve incelenen çalışmalar derlenip özetlenmiştir. Literatür incelemesi sert kabuklu yemişlerin kabuklarının malzeme olarak tekrar değerlendirilmesine yönelik çok sayıda ve farklı sanayi sektörlerine yönelik çalışmalar olduğunu ortaya koymaktadır. Fakat badem kabuklarına yönelik çalışmalar sınırlı sayıdadır. Literatür taraması ve kavramsallaştırma aşamalarından sonra badem kabuğu parçacıkları kullanılarak farklı yoğunluklarda ve badem kabuğu muhteviyatında yonga levhalar üretilmiştir. Levhaların ısı iletkenlikleri deneysel olarak belirlenmiştir. Levha yoğunluğu artışı ile ısı iletkenlik değeri artmaktadır. Badem kabuğu oranı ise levha yoğunluklarına bağlı olarak farklı etkiler göstermektedir. Çalışmada en küçük ısı iletkenlik değeri 0,07 W/m·K olarak elde edilirken en yüksek değer 0,19 W/m·K olarak bulunmuştur. Çalışma sabit sıcaklık farkı ile gerçekleştirilmesine rağmen sıcaklık değerlerindeki artışa bağlı olarak ısı iletkenlik değeri artmaktadır.

Production of almond shell containing particleboards and determination of their thermal conductivities

HIGHLIGHTS

- The use of ground almond shells as particleboard material has been conceptualized
- The thermal conductivity values of particleboards having almond shells as the main material are presented for the first time
- Experimental thermal conductivity data can be largely represented by a regression equation

Article Info

Research Article

Received: 30.03.2023

Accepted: 06.10.2023

DOI:

10.17341/gazimmfd.1171859

Keywords:

Biocomposite,
thermal insulation,
lignocellulosic

ABSTRACT

Almond kernel, with a continuously increasing consumption, and is also important for our country, is a valuable agricultural product. Its production yields the hard shell as a by-product. The shell and the kernel have approximately the same weight. However, the shell is usually burned, or occasionally ground for use in the cosmetic industry or filters. Almond shell is a porous, hard, lignocellulosic, and a renewable resource. Particleboard industry is considered for sustainable, higher value-added, and environmentally lower-impact use of this resource. For this purpose, a detailed literature review was conducted, and the reviewed studies were compiled and summarized. The literature review reveals numerous studies on the re-evaluation of shells of hard-shell nuts as materials for various industrial sectors. However, studies on almond shells are limited in number. After the literature review and conceptualization stages, particleboards with different densities and almond shell contents were produced using almond shell particles. The thermal conductivities of the boards were determined experimentally. The thermal conductivity value increases with the increase in board density. The almond shell content, however, exhibits different effects depending on the board densities. The smallest thermal conductivity value obtained in the study was 0.07 W/m·K, while the highest value was found to be 0.19 W/m·K. Although the study was conducted with a constant temperature difference, the thermal conductivity value increases with increasing temperature values.

*Sorumlu Yazar/Yazarlar / Corresponding Author/Authors : anilcansarikaya@gmail.com, asertkaya@selcuk.edu.tr, *ecanli@selcuk.edu.tr, cengizguler@duzce.edu.tr / Tel: +90 507 231 2828

1. Giriş (Introduction)

Günümüz dünyasının önemli ve başlıca sorunlarından birisi atıkların yönetimidir [1]. Geçmişte belirgin olmayan bir sorun olan organik atıklar bugün, doğada çözümlerine rağmen, artan insan nüfusu ve tüketime bağlı olarak önemli bir sorun teşkil eder hale gelmiştir [2]. Dolayısıyla gerçekleştirilebilir her çözümün değer göreceği öngörülebilir. Bu çalışmanın ana motivasyonu da organik atık olarak ortaya çıkan badem kabuklarının daha yüksek katma değere sahip ve çevreye daha az etkisi olan bir uygulama alanında değerlendirilmesidir.

Badem tüketimi ve üretimi sürekli artmaktadır [3-6]. Ağaçta yetişen bir meyve olan badem katmanlı bir yapıdadır. Birçok meyvenin çekirdeği muhafaza eden yumuşak dokulu dış katmanı yenirken badem için en değerli ticari varlık çekirdeğinin iç kısmıdır. Dolayısıyla bademin en dış katmanı ve daha sonra çekirdeği saran sert dış kabuktan ziyade çekirdeğin içi ile alakalı büyük bir pazar bulunmaktadır. Çekirdeğin içi, bir yemiş türü olarak, ince kahverengimsi bir zar ile çevrili beyaz bir çekirdek içidir. Literatür taramasında da gösterileceği üzere kahverengimsi zar da bazen yemiştan ayıklanarak yan ürün veya atık olarak ortaya çıkabilmektedir. Çekirdek içi üretiminin ana yan ürünleri en dış katman ve çekirdeğin sert kabuğudur. Dış katman kurutulmuş yakılabilmekte, atık olarak atılmakta veya hayvan yemine kullanılmaktadır [7]. Yemiş kısmının kütlesi ile sert çekirdek kabuğunun kütlesi, farklı cinslerde bir miktar değişmekle beraber, yakın değerlerdedir [8, 9]. Dolayısıyla badem kabukları (çekirdeğin sert kabukları), badem yemişi sektörünün önemli ve hacimli bir yan ürünüdür. Bu yan ürün organik atık olarak nitelenebileceği gibi farklı şekillerde değerlendirilebilmektedir. Çalışma kapsamında sektör paydaşları ile yapılan görüşmelerde ve literatür okumalarında badem kabuklarının büyük bir kısmının yakılarak değerlendirildiği veya çöp olarak atıldığı anlaşılmıştır [7]. Yakılarak değerlendirme seçeneğinin en düşük katma değeri oluşturan ve doğaya da olumsuz salınımlarla etkisi bulunan bir seçenek olduğu açıktır. Özellikle sert ve gözenekli yapısı, yan ürün olarak kaba parçacık şeklinde oluşu gibi nedenlerle tam yanma gerçekleşmediği için yakıldığında atmosfere kül ve katı parçacık salınımına neden olacağı öngörülebilir. Yine de yenilenebilir biyokütle kaynaklı yakıt olarak çeşitli çalışmalara, uygulamalara ve endüstriyel potansiyele sahip olduğu ifade edilebilir. Badem kabukları, daha az sayıda örneğe sahip olmakla birlikte, karbonizasyonla veya doğal halleri ile filtrelerde kullanılabilir [10, 11]. Ayrıca öğütülüp un haline getirilerek kozmetikte kullanıldığı örnekler de mevcuttur [12-14]. Lignoselülozik bir malzeme olan badem kabukları, odunsu organik yapılarla benzerliklere sahiptir. Bu nedenle odun ve ahşap sanayilerindeki uygulamalar badem kabukları için öncelikli aday uygulama sahalarıdır. Parçacıklı yapılarından dolayı yonga levha sanayi ise akla ilk gelebilecek uygulamalardan biridir.

Yonga levhalar genellikle mobilya sektöründe değerlendirilmektedir. Yine de inşaat gibi yapısal uygulamalarda da kullanılabilirler. Yonga levhalar için bulunan ulusal [15, 16] ve uluslararası [17] standartlarda genellikle levhaların mekanik özellikleri tarif edilmektedir. Her ne kadar genel çalışma kapsamında bu özellikler araştırılmış olsa da bu çalışmada ahşap kökenli yonga levhalar için bile çok az örneği bulunan levha ısıletkenlik değerleri sunulmuştur [18]. Böylece badem kabuklarının yonga levha olarak değerlendirilmesinin ötesinde literatürde bulunmayan bir uygulama verisi bu çalışmada sunulmaktadır.

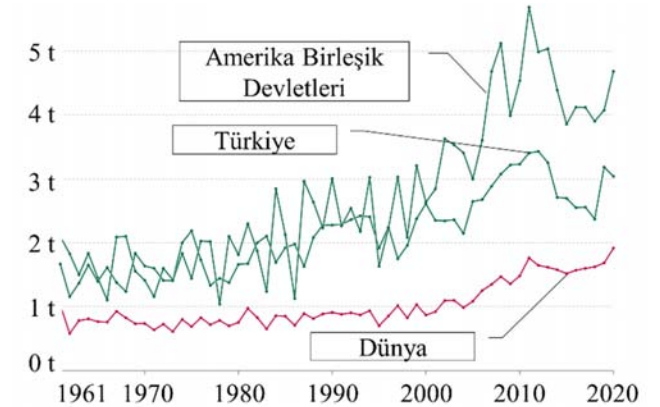
Bu makalede iki ana hedef bulunmaktadır. Birinci hedef badem kabuklarının yonga levhalarda ana malzeme olarak kullanımına yönelik gereklileri ve konuyla ilgili mevcut teknoloji literatür destekli

olarak sunmak ve bir çalışma çerçevesi sunmaktır. Burada amaçlanan daha fazla araştırmacıyı konuya yönlendirmektir. İkinci ana hedef ise özel bir tasarım aralığında üretilmiş, içerisinde badem kabuklarını ana malzeme olarak barındıran yonga levhaların deneysel olarak elde edilmiş ısıletkenliklerini kullanıma sunmaktır. Bu iki ana hedefe ilaveten gerçekleştirilen çalışmanın planlama ve gerçekleştirme aşamaları nispeten uzun bir süre aldığından ve planlama ile gerçekleştirme aşamaları arasında farklılıklar bulunduğundan elde edilen deneyimin de paylaşılması düşünülmüştür. Bunu yapabilmek için karşılaştırılabilir şekilde farklılıkların gözlemlenebilmesi gerekir. Kavramsallaştırma ile çerçeve plan alt başlıkları altında çalışmanın projelendirme safhasını temsil etmektedir. Deneysel yöntem ise gerçekleştirilmiş üretimi sunmaktadır. Dolayısıyla sunuş bölümünün alt başlıkları birinci ana amaca yönelik içeriklerin alt başlıklarından oluşmaktadır. İkinci bölümden itibaren ise gerçekleştirilen deneysel çalışmanın içeriği ve değerlendirilmesi sunulmaktadır.

1.1. Kavramsallaştırma (Conceptualization)

Yonga levhalar ve badem kabuğu kullanımına dair literatür taramasından önce badem yemişine yönelik sanayinin sayılarla sunumu bu kısımda sunulmaktadır.

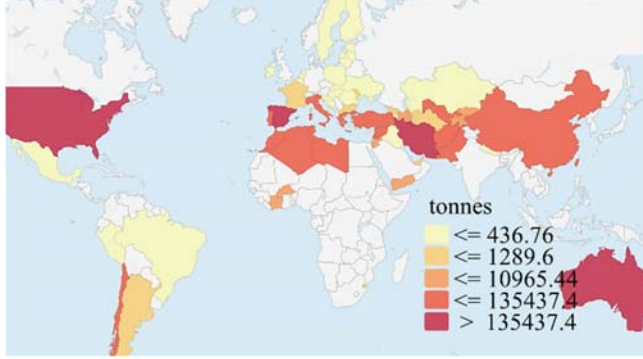
Badem üretimi dünyada ve Türkiye’de artmaktadır. Bu değerlendirmeyi nicel verilerle desteklemek için Birleşmiş Milletler’in Gıda ve Tarım Organizasyonu (FAO) tarafından yayınlanan verilere bakılabilir [19]. Türkiye’de, ABD’de ve Dünyada 2017 ile 2021 yılları arasında kabuklarıyla beraber badem üretimi sırasıyla 90.000-178.000, 1.716.850-2.189.040, 3.064.727-3.993.998 ($\times 10^3$ kg) olmuştur. Türkiye için badem üretiminde yukarıda verilen aralıkta %100’e yakın artış söz konusudur. Diğer taraftan ABD’nin dünya üretimindeki baskın rolü göze çarpmaktadır. Bahsedilen aralıkta FAO verisi kullanarak kullanışlı görseller sunan bazı web sayfaları bulunmaktadır [20]. Bunlardan bir tanesinde serbest paylaşım lisansı ile hazırlanan bir grafik Şekil 1’de sunulmaktadır [20]. Bu grafikte hektar başına kaç ton badem üretilebildiği gösterilmekte ve Türkiye, ABD ile dünya ortalaması kıyaslanmaktadır.



Şekil 1. Türkiye, ABD ve dünyada hektar başına üretilen ton biriminden badem miktarının mukayesesi (Comparison of produced almond amount in tons unit per hectare in Turkey, USA and world) [20]

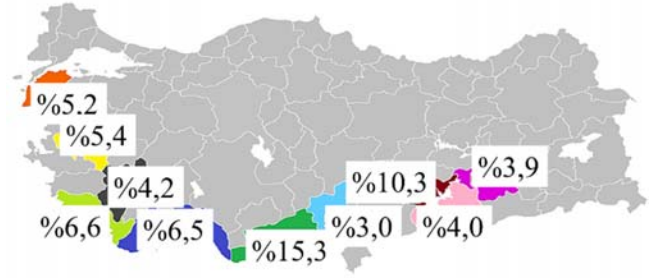
Şekil 1’den de görülebileceği üzere Türkiye’de birim alan başına üretilen badem miktarı dünya ortalamasının üzerindedir. Türkiye uzun süredir dünyada üretim açısından beşinci sıradadır. İlk beş ülke ABD, İspanya, İran, Fas ve Türkiye olarak sıralanmaktadır. Ticari bir firmanın hazırladığı ve 2022 ile 2027 yılları arasında badem pazarı

için öngörülerin yer aldığı bir raporda küresel badem pazarının 8,156 milyar ABD dolarından 11,814 milyar ABD dolarına genişlemesi öngörülmektedir [21]. Şekil 2’de dünyada badem üretimi dağılımı grafiksel olarak sunulmaktadır [19].



Şekil 2. Dünya badem üretimi dağılımı
(Distribution of almond production in world) [19]

Bu noktada hem Türkiye açısından hem de üretimde belirgin bir pay sahibi olmayan ülkeler açısından üretimin artış eğilimi içinde olması da göz önüne alınarak bir potansiyel olduğu ifade edilebilir. Fakat yapılan yatırımların üretime katılması için ağaçların olgunlaşması için gerekli olan birkaç yıl beklenmelidir. Bu açıdan badem üretimiyle ilgili raporların sürekli güncellenmesi ve takip edilmesi gerektiği anlaşılmaktadır. Hatta dünya çapında yapılan ve yapılacak yatırımlarında da ortak bir platformda incelenmesi yararlı olacaktır. Bekleneceği üzere badem tüketimi ile üretimi ilintilidir ve benzer eğilimlerle değişmektedir. Türkiye’de bu dramatik üretim artışının badem tüketiminde ve aynı zamanda ihracatında artışa bağlı olarak gerçekleştiği düşünülebilir. Badem yemişi özellikle bitkisel odaklı beslenmede önemli yer tutmakta, badem sütü ve badem yağı gibi türev ürünler de hem kozmetik hem de sağlıkta rağbet görmektedir. Bu açıdan bir topluluğun ekonomik refahı arttığında bademe olan talebin de artacağı öngörülebilir. Dünya nüfusunun çok büyük oranı gelişmemiş ve henüz gelişmekte olan ülkelerde bulunmaktadır. Artan üretim ve gelişen teknoloji ile beraber zamanla bahsedilen büyük insan topluluklarında da badem talebi artacaktır. Bu açıdan badem için büyük bir potansiyel bulunmaktadır. Türkiye için hem üretimde hem de tüketimde artış olduğu görülebilmektedir. Türkiye’nin badem ithalat ve ihracat rakamlarına bakıldığında, badem ithalatının badem ihracatından fazla olduğu görülmektedir [22]. 2015-2020 yılları arasında Türkiye badem ithalatı 13, 36, 49, 50 ve 59 bin ton olurken aynı yıl aralığındaki ihracatı 21, 19, 21, 29 ve 19 bin ton olarak gerçekleşmiştir. Üretim rakamları da dikkate alındığında Türkiye net badem tüketicisi durumundadır. Ayrıca tükettiği bademin önemli bir kısmını kendi üretmektedir. Bu açıdan her ne kadar ithalat-ihracat dengesinde olumsuz bir pozisyonda olsa da toplam tüketimi dikkate alındığında kendi tüketimine yakın üretim yapabilmesiyle olumlu bir pozisyona sahip olduğu ileri sürülebilir. Türkiye ithal ettiği bademin %61,2’sini ABD’den alırken, ABD’nin 3,54 milyar ABD doları tutarındaki ihracatının [23] 136.583.000 ABD doları Türkiye’ye gerçekleşmektedir [24]. Türkiye ABD’nin badem ihraç ettiği ülkeler arasında %3’lük pay ile on ikinci sıradadır. İthalat ihracat dengesiyle alakalı başka bir kaynak TÜİK tarafından sunulmaktadır [25]. Türkiye’de badem üretiminin güney batı ve güney illerinde gerçekleştiği görülmektedir [22]. İlaveten güneydoğu Anadolu illerinde de üretim yapılmaktadır. Şekil 3’te badem üretiminin Türkiye illerine göre dağılımı yüzdesel olarak gösterilmektedir. Şekilde belirtilmiş olan iller badem üretiminde öne çıkmaktadır ve badem üretiminin %65’i bu illerde gerçekleşmektedir. Türkiye’de badem üretiminin kalan %35’lik kısmı ise kalan illerin toplamını işaret etmektedir.



Şekil 3. Türkiye badem üretimi dağılımı
(Distribution of almond production in Türkiye) [22]

Ülkemizin badem tüketimini kendi kaynakları ile karşılayabilmesi için Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından arazi tahsis edilmekte ve sertifikalı fidanlar verilmektedir. Ayrıca dönemsel olarak farklı tutarlarda yakıt ve gübre teşvikleri sunulmaktadır. Ülkemiz standart fidanlar için de nakdi teşvik sunmakta ve verilen teşvik sertifikalı fidanlar için dört katına kadar artabilmektedir. Badem üretimi için 500.000 ton hedefi bulunmaktadır [3, 18, 26].

Türkiye’deki badem ağaçlarının verimli ve güçlü bir tür olduğu ifade edilebilir. Yerel bir tür olarak nispeten ince kabukludur ve yemişi yüksek kalitededir. Yemişin kabuklu toplama göre ağırlığı % 60-70 civarındadır ve çift badem yemişi çıkan durum toplam hasatta %5-10 civarındadır [27]. Türkiye’de üretilen bazı badem türleri ise yurtdışı kökenli olup Texas ve Drake cinsleri örnek olarak verilebilir. Bu türler genelde çevresel şartlara daha dayanıklı oldukları için tercih edilmektedir. Yabancı türlerde kabuğun yemişe göre kütle miktarı ise artmaktadır. Yine ülkemizde üretimine sık rastlanan türler arasında Ferragnes ve Ferraduel türleri bulunmaktadır. Bu türlerin kabuğu yemişine göre diğer türlere nazaran daha fazla kütleye sahiptir. Bu noktada badem kabuklarının ve yemişlerinin türlere/cinslere göre farklı özelliklerinin olabileceği de anlaşılmaktadır.

1.2. Literatür İncelemesi (Literature Survey)

Badem kabuklarının, özellikle de yonga levhalar içerisinde kullanımlarının, çok az sayıda örneği bulunmaktadır. Literatürdeki çalışmalar arasında bu çalışmayla en alakalı olanlardan bir tanesi Pirayesh ve Khazaeian [28] tarafından raporlanmıştır. Yazarlar badem kabuklarını İran’da yonga levha imalatı açısından incelemişlerdir. Yazarlar farklı badem kabuğu oranları ile beraber üç farklı ahşap yongası kullanarak farklı karışımlarla yonga levha imalatını deneysel olarak araştırmışlardır. Çalışmalarında ilave olarak badem kabuklarının kimyasal terkihi üzerine analizler de sunmuşlardır. Çalışmalarında mikro yapı ile ilgili bir görsel sunulmamıştır. Ayrıca kullanılan badem türü yerel bir türdür. Raporladıkları bulgular arasında öne çıkan bir sonuç, badem kabuğu oranı arttıkça yonga levhaların mekanik özelliklerinin kötüleşmesidir. Aslında denedikleri oranlar arasında %30’dan fazla badem kabuğu barındıran yonga levhalar yazarların yapısal malzeme olarak yonga levha kullanımına yönelik dikkate aldıkları bir standarda göre istenilen yonga levha mekanik özelliklerini sağlamamaktadır. Daha az oranda badem kabuğu içeren yonga levhalar ise, tamamen ahşap kökenli yonga levhalardan daha kötü mekanik özelliklere sahip olmakla birlikte standardın istediği mekanik özellik sınırları içerisinde kalmıştır. Kullanılan badem kabuklarının öğütüldükten sonraki çapları 0,8-3 mm arasında değişmektedir. Diğer taraftan yazarlar badem kabuğu katkılı yonga levhaların ısı, nem ve ses iletkenlikleri üzerine bir inceleme yapmamışlardır. Pirayesh vd. [29] tarafından gerçekleştirilen başka bir çalışmada yonga levha imalatı için hem badem kabukları hem de ceviz kabukları denenmiştir. Badem kabuklarının kullanımının yonga levhaların su almasını azalttığı

bildirilmiştir. Yonga levhalar su aldıkça şişerek kalınlashlar ve geometrik şekilleri bozulur. Yazarlar badem kabuğu kullanıldığında nemli ortamlarda yonga levhaların daha az su alıp daha az kalınlaştığını ifade etmektedirler. İlave olarak badem kabuklarının kullanılmasıyla yonga levha imalatında bağlayıcı olarak kullanılan üre formaldehitin daha az salınımı/emisyonu tespit edilmiştir. Mekanik özellikler bir miktar kötüleşe de badem kabuğu takviyesiyle daha az ahşap kökenli malzeme kullanılması, su direncinin artması ve daha az üre formaldehit salınımı oluşması badem kabuklarının yonga levha imalatında bir takviye olarak kullanımının düşünülmesini gerektirdiği değerlendirilmektedir. Su direnci ve dolayısıyla nemli ortamlarda daha az kabarma özelliği, yonga levhaların yapısal amaçlardan ziyade yalıtım ve dekorasyon amacıyla kullanılmasının düşünüldüğü uygulamalarda da fayda sağlayacaktır. Özellikle üre formaldehit salınımının az olması, mahallerde de kullanım açısından olumlu bir özelliktir. Liuzzi vd. [30] bademlerin yemiş kısmı üstündeki kahverengimsi zarları malzeme olarak kullanıp yonga levhalara bu malzemeyi destek malzemesi olarak katmışlardır. Deneme yapılan yonga levhaların fiziksel, ısı ve akustik özelliklerini incelemiştir. Bahsedilen çalışma literatürde organik atıkların ve özellikle badem ile ilgili olanların malzeme olarak kullanıldığı kompozitlerde ses ve ısı yalıtımını incelediği, bulunabilen tek çalışma olarak tespit edilmiştir. Yonga levhaların ısı iletkenliklerinin, ses iletimlerinin, su tutumunun ve diğer fiziksel özelliklerinin incelendiği çalışmada bağlayıcı olarak polivinil asetat ve Arap zıncı (acacin) kullanılmıştır. Yazarlar pazarda bulunan yalıtım malzemeleri ile mukayese edilebilir yalıtım özellikleri elde edildiğini bildirmişlerdir. Ibáñez García vd. [31] nişasta bazlı polimer biyo-kompozitlerde farklı badem kabuk varyasyonları denemişlerdir. Kompozitlerde badem kabuğu oranı %30 olarak bildirilmiştir. Yazarlar raporlarında Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopi (FTIR), Termogravimetrik İnceleme (TGA), Elektron Taramalı Mikroskop (SEM) X-ışını Kırılımı (XRD) yöntemleri ile elde edilen sonuçları da sunmuşlardır. Ayrıca mekanik testler gerçekleştirmişlerdir. Mekanik testlerde herhangi bir bozulma veya kötüleşe gözlemedikleri için biyo-atık olarak ortaya çıkan badem kabuklarının organik kompozitlerde takviye malzemesi olarak kullanımını önermişlerdir. Herhangi bir yalıtım özelliği incelenmemiştir. Barbu vd. [32] fındık ve ceviz kabuklarını kompozit yonga levhalarda kullanmışlardır. Çalışmaları tarih itibariyle daha günceldir ve sert kabuklu yemişlerin kabuklarının güncel olarak değerlendirilmemiş doğal bir kaynak olduğunu ifade etmektedirler. Özellikle selüloz temelli biyo-kompozitler için sert kabukların önemli olduğunu vurgulamışlardır. Ahşap yongalar ile sert kabukları yonga levha bünyesinde bağlamak için poliüretan ve melamin-üre formaldehit bağlayıcılarını çalışmada karşılaştırmalı olarak denemişlerdir. Çalışmalarında tek bir levha yoğunluğu sabit parametre olarak ele alınırken, bağlayıcılar, kabuk türü ve katkı yüzdeleri değiştirilmiştir. İmalatta sıcak presleme kullanılmıştır. Elastisite modülü, eğme mukavemeti, yonga plakaların sertliği gibi mekanik özellikler incelenmiştir. Diğer taraftan su emilimi ve levhaların kalınlaşması gibi olaylar da araştırılmıştır. Fakat çalışmanın ana odağında bağlayıcı karşılaştırması bulunmaktadır. Ancak ısı yalıtıcılık üzerinde bir inceleme ve sonuçtan bahsedilmemiştir. Yazarlar sonuç olarak poliüretan bağlayıcıyı önermişlerdir. İlaven, su emilimine bağlı levha kalınlaşmasını önlemek adına yongaların ve kabuk parçalarının küçük boyutta olmasını önermişlerdir. Literatür taraması sırasında yonga levhalarda kullanılan yongaların tane boyutlarının küçük seçilmesinin sıkça önerildiği görülmüştür. Kabukların kullanımı ile sertlik, rijitlik ve su direnci artarken tokluk, eğilme mukavemeti ve çekme mukavemetinin azaldığı bildirilmiştir. Biyo-kompozitler için ilginç bir organik malzeme kullanımı Savio vd. [33] tarafından bildirilmiştir. Yazarlar koyun yünü ve kenevir liflerini alternatif bir yalıtım malzemesi üretmek için birlikte kullanmışlardır. Elde edilen biyo-kompozitin rijitliğini arttırabilmek için badem kabuğu ve benzer sert kabukları

kompozit içerisine katmışlardır. Üretilen plakalar yarı-rijit olarak tanımlanmıştır. Ayrıca üretilen plakaların yalıtım özelliklerinin piyasadaki malzemelerle mukayese edilebilir seviyede olduklarını açıklamışlardır. Yazar 0.05 W/m·K ısı iletim katsayısı raporlamıştır. Mevcut çalışmada da gösterileceği üzere, bu değer badem kabuğu katkılı yonga levhalarla elde edilen ısı iletim katsayısı değerlerine yakındır. McCaffrey vd. [34] ısı işlem görmüş badem kabuklarıyla takviye edilmiş geri dönüştürülmüş polietilen ve polipropilen malzemelerin mekanik özelliklerini incelemiştir. Elde edilen biyo-kompozitlerin çekme gerilimleri ve elastisite modülleri iyileşirken uzamalarında, tokluklarında ve diğer mekanik özelliklerinde kötüleşe olmuştur. Yazarlar bu sonuçlar ile elde edilen biyo-kompozitlerin ticari potansiyeli olduğunu ifade etmişlerdir. Liminana vd. [35] badem kabuklarının öğütülmesiyle elde edilen tozun plastiğe dönüştürülmesinde farklı bitkisel yağları denemişlerdir. Badem kabuğu tozunun PBS (Poly Butylene Succinate) plastiklerinin daha çevresel duyarlı hale getirilmesinde olumlu özellikleri tespit edilmiştir. Badem kabuklarının toz haline getirilip PBS plastikleri içerisinde bir bileşen olarak kullanılmasıyla hem badem kabukları atık olmaktan kurtarılıp geri dönüştürülmüş olmaktadır hem de PBS plastiklerinin uzun dönem bozunmalar üzerinde olumlu etkileri bulunmaktadır. Epoksi, akrilik ve maleik anhidrat ailelerinin her birinden iki tip yağ kullanılmıştır. Elde edilen numunelerde akrilik ailesi dışındaki yağların olumlu etkileri tespit edilmiştir. Liminana vd. [35] diğer bir çalışmalarında badem kabuklarını öğüterek ince bir toz haline getirmiş ve daha sonra bu tozu PBS plastiğinde takviye malzemesi olarak kullanmışlardır. Organik MLO (Maleinized Linseed Oil) yağı ile badem kabuğu tozunun PBS plastiğe dönüştürmüşlerdir. Yazarlar numunelerin morfolojik özelliklerini, çekme gerilmelerini, sertliklerini ve darbe dayanımlarını raporlamışlardır. Yazarlar ayrıca termo-mekanik, termo-gravimetrik ve dinamik-mekanik-ısı ölçümlerinde de bulunmuşlardır. Badem kabuğu tozu miktarı arttıkça numunelerde çekme geriliminin azaldığı tespit edilmiştir. Fakat badem kabuğu tozunun çevresel anlamda olumsuz bir özelliği bulunmadığından kullanımını yine de değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Tasdemir [36] çalışmasında aramit veya cam lifleri gibi sentetik lifler yerine termoplastikler içerisinde selüloz temelli organik lifler kullanılmasını önermekte ve bu uygulamanın çevresel anlamda daha olumlu sonuçlar doğuracağını ifade etmektedir. Yazar polipropilen termoplastiğinde takviye malzemesi olarak öğüttüğü zeytin çekirdeklerini ve badem kabuklarını kullanmıştır. Badem kabukları ile zeytin çekirdeklerinin toz haline getirilmesiyle ve takviye olarak kullanılmasıyla incelenen malzemelerin maliyetinin düştüğü ve rijitliğinin arttığı bildirilmiştir. Ayrıca malzemelerin elastisite modülü ile sertlikleri de artmıştır. Fakat çekme mukavemetinin azaldığı bildirilmiştir. Bu azalmanın sebebi olarak matris ile toz parçacıkları arasındaki arayüz tutunmasında gerçekleşen sorunlar ileri sürülmüştür. Son olarak yazar tarafından olumsuz mekanik özelliklerin düzeltilebilmesi için katkılar ile matris arasında uyumu sağlayacak şekilde ilave bağlayıcı araçların belirlenmesi gerektiği ifade edilmektedir. Nazerian vd. [37] orta yoğunluklu fiber levhalarda badem kabuklarını takviye malzemesi olarak denemişlerdir. Parametrik etkileri incelemek için takviye miktarını, sıkıştırma oranını, sıkıştırma sıcaklığını ve ilave bazı imalat parametrelerini değiştirmişlerdir. Sundukları sonuç içerisinde lifli levhalarda badem kabuklarını takviye malzemesi olarak tavsiye etmektedirler. Chaudhary vd. [38] Hindistan cevizi kabuklarından elde edilen lifler ile badem kabuğu parçalarını takviye malzemeleri olarak kullanıp epoksi matrise sahip biyo-kompozitler içerisindeki ağırlıkça oranlarını değiştirerek inceleme yapmışlardır. Mekanik özellikler, ısı kararlılık ve morfolojik özellikler incelenmiştir. Yazarlar aynı zamanda farklı reçineleri ve bazı çözeltileri de araştırmaya dahil etmişlerdir. Badem kabuğu parçalarının ısı kararlılığı olumlu etkileri olduğu bildirilmiştir. Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) ile 2000 kat büyütülen görsellerde badem kabuğu parçacıklarının gözenekli yapısı belirgin bir şekilde kendini

göstermektedir. Öğütme işlemi sonrasında bile bu gözenekliliği gösteren badem kabuklarının biyo-kompozit içerisindeki miktarı arttıkça kompozitin sıcaklık dağılımının daha doğrusal değiştiği bildirilmiştir. Gürü vd. [39] kompozit yonga levha üretimi için polimer matris içerisinde ceviz kabukları kullanmışlardır. Su direncinin artırılması ve parazitlerin engellenmesi için ise kül ve formaldehit kullanımı tercih edilmiştir. Kül kullanımı ile ayrıca alev direnci de amaçlanmıştır. Üre formaldehit oranı, reaksiyon süresi ve sıcaklığı incelenen parametreler arasındadır. Sertlik ve eğilme mukavemeti değerleri ise çalışmanın sonuçlarını teşkil etmiştir. Yazarlar en iyi eğilme mukavemetini veren parametre kombinasyonunu sunmaktadır. İlaveten, kül muhteviyatına ve üretim parametrelerine bağlı olarak alev direnci ile su emilimi miktarları da raporlanmıştır. Benzer bir çalışma badem kabukları için Gürü vd. [40] tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma mevcut çalışmamızla benzeşen literatürdeki en belirgin çalışmalardan biridir. Yazarlar bir önceki çalışmalarına [39] benzer şekilde eğilme mukavemeti ve sertlik değerlerine formaldehit oranının, reaksiyon sıcaklığı ve süresinin etkileri araştırılmıştır [40]. Mekanik özellikler açısından en iyi parametre değerleri kombinasyonu sunulmuştur. Çalışmada en iyi sonuçlar 0,2 mm veya daha küçük badem kabuğu parçacık çaplarında, 25 dakika reaksiyon süresinde, 70°C reaksiyon sıcaklığında ve 0,92 üre-formaldehit bağlayıcı oranında 84,52 N/mm² eğilme mukavemeti değeri şeklinde bulunmuştur. Bu parametrelerle azami sertlik değeri elde edilmiştir. Bu noktaya kadar yapılan incelemelerde badem kabuklarının kompozit yapılarında genellikle mekanik özelliklere yönelik bilimsel çalışmalarda kullanıldıkları görülmektedir. Isıl yalıtım ve iletkenlik açısından yeterli veri olmadığı anlaşılmaktadır. Yine alev direncine yönelik de yeterli sayıda çalışma bulunamamıştır. Bazı çalışmalar su emilimine, nem direncine, kalınlık artımına odaklanmaktadır. Özellikle ısı yalıtım malzemesi olarak badem kabuklarının değerlendirildiği bir çalışma bulunamamıştır. Benzer şekilde ses yalıtımı için de bir çalışmaya rastlanmamıştır. Diğer taraftan sert kabuklu yemişlerin kabuklarının yonga levhalarda değerlendirilmesine yönelik çalışmalar bulunmamaktadır [29, 39]. Literatürün bu durumu göz önüne alındığında, badem kabuklarının yonga levhalarda takviye, katkı veya matris olarak kullanılıp ısı ve ses yalıtımı konusunda incelenmesinin literatüre katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Badem kabuklarının yonga levhalarda kullanımına yönelik incelemelerden önce bazı alternatif kullanımları aşağıda sunulmaktadır. Das vd. [41] biyolojik temelli malzemelerin karbonizasyona maruz bırakılarak ısı enerji depolamada kullanıldıkları uygulamalara yönelik olarak badem kabuklarının kullanıldığı bazı örnekler değerlendirilmiştir. Başka bir çalışmada Kajeiou vd. [42] bakır, kalay, kurşun gibi metal artıklarının filtrelenmesinde kullanılan malzemeler arasında badem kabuklarını saymaktadır. Badem kabuklarının özellikle kurşun filtrelenmesinde öne çıktığı gösterilmektedir. Bilindiği üzere kurşun atıkları çevre açısından önemli bir sorundur.

Ahşap ve benzeri malzemelerden yonga levha üretimine odaklanmış bir literatür de bulunmaktadır. Orman ve orman ürünleri sektörünün gelişen dallarından biri yonga levha endüstrisidir. Bu sanayi kolunda ahşap üretimi artıklarıyla beraber bütün lignoselülozik kaynaklar ham malzeme olarak değerlendirilebilir. Lignoselülozik çok sayıda bitki kaynağı olduğundan üretimde çok çeşitli ve farklı kaynaklardan gelen hammaddeleri görmek olasıdır. Bu durum aynı zamanda her ülkenin yerel bitkisel ve lignoselülozik kaynaklarını kullanmasına da imkan tanımaktadır [43]. Kalaycıoğlu [44] Akdeniz çamı ağaçlarının yonga levha üretimine uygunluğunu araştırmıştır. Farklı yaşlardaki ve farklı gövde geometrilerindeki ağaçlar kullanılmıştır. Yerel türlerin daha fazla su soğurmasına ve dolayısıyla üretilen levhaların şişerek kalınlıklarının artmasına neden olduğunu bulan yazarlar, bu durumun ilgili sanayi standartları açısından bir sorun teşkil ettiğini bildirmişlerdir. Çolak vd. [45] çam ağaçlarından kontrplak imalatında

çıkan artıkların yonga levha imalatında kullanımına yönelik bazı teknik ve uyumluluk konularını incelemişlerdir. Bu amaçla kontrplak üretiminden çıkan artıklar ile çam yongasını farklı oranlarda karıştırıp yonga levhalar üretmişlerdir. Karışım oranları %25 ile %100 arasında değişmiştir. Üretilen yonga levhaları mekanik özellikler açısından kıyaslayarak en iyi mekanik özellikleri verebilen karışım oranını sunmuşlardır. Çelik [46] ise motorlu testere artıklarının yonga levha imalatında kullanımını incelemiştir. Çalışmada üç farklı ağacın motorlu testere ile kesilmesi sırasında ortaya çıkan yongalar kullanılmıştır. Fiziksel ve mekanik özellikler açısından üretilen yonga levhalar ile standart bir yonga levha karşılaştırılmıştır. Sevincli [47] lavanta bitkisi ile kızıl çam ahşabından elde edilen malzemelerin farklı oranlarda karıştırılmasıyla yonga levha imalatında kullanımını araştırmıştır. Yonga levha yoğunluğunun 0,65 g/cm³ olarak hedeflendiği çalışmada farklı oranlarda üre formaldehit kullanımının etkileri de incelenmiştir. Araştırmacı üretilen levhaların standartları karşıladığını bildirmiştir. Durmus [48] yonga levha endüstrisini genel olarak ele almıştır. Bahsedilen çalışma ilgili sanayi ile alakalı bir fikir verse de daha yeni tarihli bir sektör değerlendirmesi Demirkır ve Çolak [49] tarafından yayımlanmıştır. Yazarlar tarafından dikkat çekilen ve bu çalışmanın motivasyon noktalarından birini de oluşturan bir bulgu olarak yonga levha sanayisinin orman endüstrisini ham madde üretmesi açısından baskı altına aldığı ifade edilmektedir. Bahsedilen ham madde baskısı badem kabukları gibi alternatif takviye malzemeleriyle azaltılabilir. Birçok odunsu malzemenin atığı veya yan ürünü ilave işlemlere uygundur ve katma değer üretimi için kullanılabilirler [50]. Dayanıklılığı [51] çalışmasında odunsu lifler ve yongalara olan ilgili sektör ihtiyacının 13 milyon m³ olduğunu ifade etmektedir. Yazar aynı zamanda çalışmayan tesislerin de devreye sokulması ile ihtiyacın 18 milyon m³ değerine yükselbileceğini bildirmiştir. Türkiye için yonga ihtiyacının %65'i iç üretimle, %35'i ise ithalata karşılanmaktadır. Literatür taramasının bu kısmında yonga levha sektörünün önemli bir talebe maruz kaldığı fakat ham madde konusunda da ilave çözümlere ihtiyacı olduğu anlaşılmaktadır. Sert kabuklu yemişlerin biyo-atık olarak ortaya çıkan kabuklarının odunsu maddelerle alakalı geliştirilen yöntem ve yaklaşımlar kullanılarak yonga levhalarda katkı maddesi veya matris malzemesi ihtiyacına binaen değerlendirilmesi düşünülmelidir.

Literatür taramasının ilk kısmında badem kabuklarının değerlendirilmesine dair çalışmalara değinilirken ikinci kısımda yonga levhalar üzerine yapılan çalışmalara örnekler sunulmuştur. Bu kısımda ise ısı yalıtım ve ısı iletkenlik ölçümü tekniklerinin konuyla kesişen örnekleri özetlenmektedir. Isıl yalıtım modern toplumun en önemli konularından biri olan enerji tüketimi ile doğrudan ilişkilidir [52]. Doğru ısı yalıtım uygulamaları sadece enerji tüketimini azaltmakla kalmaz, aynı zamanda enerji tüketiminin doğal sonucu olan egzoz emisyonlarının azaltılmasına da katkı sağlamış olur [53]. Bu açıdan yonga levhaların ısı yalıtım açısından özelliklerinin bilinmesi, yapısal uygulamalarda değerlendirmelerine dair önemli bir parametreyi değerlendirmeye yardımcı olacaktır. Yonga levhaların ısı yalıtımında kullanılmasına yönelik en belirgin örneklerden biri tanesi Ceviz [54] tarafından gerçekleştirilmiştir. Yazar farklı oranlarda ahşap yonga ve perlit karışımı hazırladıktan sonra sıcak pres ile karışımı sıkıştırarak ısı yalıtımında kullanılabilir yonga levhaları üretmeyi amaçlamıştır. Bu levhaların bina kaplamasında kullanılabilmesi öngörülmüştür. Yazar çalışmasında üre-formaldehit bağlayıcı kullanırken amonyum sülfat da sertleştirici olarak tercih edilmiştir. Üretilen levhalar nem ve sudan koruma amacıyla parafin ile kaplanmıştır. Farklı üretim parametreleri için üretilen levhalar ısı iletkenlik, su alımı ve basma mukavemeti değerleri açısından incelenmiştir. Elde edilen en düşük ısı iletkenlik değeri 0,06761 W/m·K olurken basma mukavemeti %10 bağlı deformasyonda 1.936 kPa olarak bildirilmiştir. Kısa dönem kriterine göre levhaların su alım değerleri 0,631 kg/m² olarak sunulmuştur. Isıl iletkenlik değerinin ölçümü ise farklı tasarımlara sahip deney düzenekleri ile

gerçekleştirilebilir. Yakın zamanda yayınlanmış olan iki örnekte yalıtım malzemelerinin ısı iletkenliklerinin nasıl tespit edildiği tartışılmaktadır [55, 56]. Diğer taraftan Pope vd. [57] düşük iletkenliğe sahip malzemelerin ısı iletkenlikleri ölçülürken ısı çiftleriyle yapılan sıcaklık ölçümlerindeki bozucu etkileri araştırmışlardır. Çalışmalarında örnek olarak düzleştirilmiş bambu malzemesini kullanmışlardır. Deneysel belirsizlik konusunu da incelemişler ve tartışmışlardır. Yüksek ısı akılarında düşük ısı iletkenliğe sahip ısı yalıtım malzemelerinin alev direnci Pope vd. [58] tarafından incelenmiştir. Lahoori vd. [59] parametrik olarak farklı gerilmelere ve neme maruz bırakılan ısı yalıtım levhasının ısı iletkenliğini araştırmışlardır. Çalışmalarında geri dönüştürülmüş veya ilk defa kullanılan biyo-fiberler ile jeotekstil ürünlerini kullanmışlardır. Yazarların deneysel çalışması ile ısı iletkenlik değerlerinin 0,04 ile 0,06 W/m·K arasında değişen ısı iletim katsayısı değerleri tespit edilmiştir. Burada su emiliminin ve difüzyonunun da ısı iletkenliği arttırdığı not edilmektedir. Dolayısıyla yazarlar yalıtım malzemeleri için film kaplamayı da önermektedir. Franco [60] sıcak tel yöntemini kullanarak yalıtım malzemelerinin farklı tabakaların sıralanması durumunda sabit bir ısı iletkenlik katsayısı ölçümünü çalışmıştır. Çalışmada incelenen malzemeler metalik olmayan düşük ısı iletkenliğe sahip malzemelerdir. Yazarın bulduğu ısı iletkenlik değerleri 0,2 ile 4 W/m·K arasında değişmiştir. Yazarın bu yöntemi tercih etmesinin temel nedeni, ısı iletkenliğin tespit edileceği deneylerde bütün bir ısı transfer yüzeyi boyunca bir ısı kaynağı kullanılmasının yerine tek bir noktada ve ısı transferi doğrultusunda ölçüm yapabilecek şekilde ısı akısı oluşturmaktır. Bu yöntemde bir ısı dalgası oluşturulmaktadır ve bu ısı dalgası iki farklı konumdaki ısı çifti tarafından izlenmektedir. Bu noktada literatürdeki çalışmalarda ısı iletkenlik ölçümü için tasarlanan sistemlerin farklı malzemeler için denedikleri ve nispeten geniş bir aralıkta ısı iletkenlik değerlerine sahip malzemelerle sistem tasarımlarının denendiği anlaşılmaktadır. Diğer taraftan ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılacak ve ısı iletkenlik testine tabi tutulacak malzemelerin birçoğunun belirli bir değerden daha düşük ısı iletkenliğe sahip olmaları beklenir. ısı iletkenlik katsayısı 0,1 W/m·K ve daha az olan malzemeler ısı yalıtım malzemesi olarak değerlendirilebilmektedir [61]. Ayrıca ısı yalıtım malzemeleri, içerisinde hava boşluklarını muhafaza etme şekillerine göre ikiye ayrılabilirler. Bunlar arasında genişlemiş polistren gibi kapalı hücreli ısı yalıtım malzemeleri, cam yünü gibi açık hücreli ısı yalıtım malzemelerine göre daha iyi ısı yalıtım özelliklerine sahiptirler [61]. Bu makaledeki ölçüme benzer bir yaklaşım gösteren bir literatür raporunda Büyükkaya vd. [62] polyster malzemeyi organik atıklar ile takviye ederek yonga levhalar oluşturmuştur. Çalışmada yazarlar yonga levhaların yoğunlukları düştükçe ısı iletim katsayısı değerlerinin de azaldığını bildirmişlerdir. Çalışmalarında deneysel olarak tespit edilen ısı iletkenlik aralığı 0,14 ve 0,2 W/m·K arasında gerçekleşmiştir. Her ne kadar mevcut çalışmada ısı iletkenlikten bahsedilirken saf malzemelerde geçerli olan sabit ısı iletkenliğe benzer bir tanım yapıyor olsa da aslında kastedilen "efektif" ısı iletkenlik veya ısı iletim katsayısıdır. Efektif kavramı ile içerisinde saflığı bozan çok çeşitli bileşenler barındıran, içerisinde hava boşlukları bulunduran malzemelerin bir bütün halinde ısı transferine gösterdikleri direnci sayısallaştıran katsayı kastedilmektedir. Bu konu ile ilgili literatürde kavramsal ve sayısal tartışma yapan çalışmalar bulunmaktadır [63].

Sunulan literatür taramasının genel bir değerlendirilmesi yapıldığında, badem kabuklarının yonga levhalarda dolgu veya takviye malzemesi olarak kullanımının ve bu sayede elde edilmiş olacak biyo-kompozitlerin mekanik, fiziksel ve yalıtım özelliklerinin henüz kayda değer bir araştırmaya konu olmadığı anlaşılmaktadır. Diğer taraftan literatür taramasında benzer sert kabuklu yemişlerin kabuklarının değerlendirildiği çalışmalar vardır. Bu kısma kadar yapılan incelemelerle ortaya konulmuş olan badem tüketim rakamları ve benzer sert kabuklu yemişlerin kabuklarının değerlendirildiği

bilimsel ve mühendislik çalışmaları birlikte düşünüldüğünde badem kabuklarının bu çalışma kapsamında çalışma çerçevesi çizildiği şekilde değerlendirilmesinin fayda sağlayacağı düşünülmektedir. Böyle bir çalışma, badem kabuklarının katma değeri daha yüksek uygulamalarda kullanımına yol açacaktır. Ayrıca badem kabuklarının mevcut kullanımının çevreye etkileri de azaltılmış olacaktır. Diğer taraftan üretilecek biyo-kompozitler için çok sayıda süreç parametresi bulunmaktadır. Bu parametrelerin ve değerlerinin oluşturduğu belirsizliğin azaltulabilmesi için çeşitli deneysel sonuçların literatüre raporlanması gerekmektedir. Literatürde karşılaşılan çalışmalarda badem kabuklarının çok geniş bir aralıkta değişen ölçülerde öğütüldüğü görülmüştür. Bu aralık mikrometreden milimetreye kadar değişmektedir. Ayrıca farklı bağlayıcılar, sertleştiriciler, uyumlulaştırıcılar ve bunların farklı oranları da görülebilmektedir. Yöntem bölümünde de açıklanacağı üzere mevcut çalışmada badem kabukları kara çam yongası ile karıştırılarak kullanılmıştır. Bu tür bir karışım daha önceden literatürde bulunamamıştır. Badem kabuklarının cinsi de kabuk yapısını ve içeriğini bir miktar değiştirmektedir ve mevcut çalışmada yerel bir türün kabukları kullanılmıştır. Ayrıca mevcut çalışmada rapor edilen ısı iletkenlik değerlerinin de ilgi uyandıracığı düşünülmektedir. Literatür çalışmalarının sıklıkla mekanik özelliklere odaklandığı görülmektedir. Dolayısıyla bu çalışmada sunulan ısı yalıtımlık değerleri önem arz etmektedir.

1.3. Badem Kabuklarının Yonga Levhalarda Kullanımına Yönelik Çerçeve Plan (Frame Plan Towards Usage of Almond Shells in Particle Boards)

Bu başlık altında sunulan çerçeve plan, deneysel çalışma öncesinde kuramsal olarak yazarlar tarafından hazırlanmış çalışma planıdır. Ayrıca bu plan deneysel çalışma öncesinde bilimsel toplantılarda sunularak tartışılmıştır [3]. Daha sonra deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışma ile kuramsal plan arasında bazı farklılıklar oluşmuştur. Bu başlıkta kuramsal plan sunulmakta, makalenin devamında ise deneysel çalışmanın detayları verilmektedir. Böylece planlama ile uygulama arasındaki farklılıklar da belgelenmiş olmaktadır. Bu nedenle bu başlık altında sunulan içeriğin ilk kuramsal planlama aşısında incelenmesi ve daha sonra gerçekleşen deneysel uygulama ile karşılaştırılması önerilir.

Badem kabuklarının yalıtım amaçlı yonga levhalara dönüştürülmesine ve numunelerle araştırma yapılmasına dair bir çerçeve plan hazırlanmak istenirse aşağıda sıralanan adımların takip edilmesi gerektiği tespit edilmiştir.

- Türkiye pazarındaki yerel ve ithal türlere dair badem kabuklarının temini
- Badem kabuklarının topolojik, morfolojik ve fiziksel incelemelerle sınıflandırılması
- Badem kabuklarının öğütülmesi ve tane büyüklüklerine göre gruplandırılması
- Kompozit araştırmalarında geleneksel hale gelen fiziksel ve kimyasal sınamalarla badem kabuğu parçacıklarının incelenmesi ve ikincil sınıflandırma yapılması
- İşlenmiş badem kabuklarının matris malzemesi olarak veya ahşap yongalara takviye malzemesi olarak kullanılması
- Deneysel inceleme ile üretim yapılabilirliğinin, üretim parametrelerinin, ısı iletkenliğinin, ses yalıtımının, kalınlık artımının, sıkıştırma mukavemetinin, çekme mukavemetinin, eğilme ve yırtılma mukavemetlerinin, sertliğin, tokluğun ve hasar mekanizmalarının araştırılması...

Araştırma parametreleri için badem kabuklarının yonga levha içerisindeki miktarı veya oranı, levha yoğunluğu, levha geometrik boyutları, badem kabuklarının işleniş şekilleri, bağlayıcı, sertleştirici

ve uyumlulaştırıcı kimyasalların türleri ve oranları, kalıp basıncı ve sıcaklığı, nem gibi çevresel şartlar düşünülebilir. Yonga levhaların mekanik ve fiziksel özellikleri için test ve kullanım standartları bulunmaktadır. Diğer taraftan ısı ve akustik yalıtımları için standartlara yönelik çalışmalar yapılması gerekmektedir.

Kuramsal planlama açısından çalışma çerçevesi çizilen badem kabuğu ile üretilen yonga levhalar için yapılacak çalışmaların özgün değeri; Bir biyo-atığa çevreye duyarlı bir çözüm bulunması, bir yan ürüne daha yüksek katma değerli bir uygulama önerilmesi, yerel pazardaki badem cinslerinin kabuklarına yönelik bir değerlendirme yapılıyor olması, konuyla ilgili yapılacak çalışmaların yerel araştırmacı becerilerini ve bilgi birikimini arttıracak olması, badem kabuklarının gözenekli yapısının durgun hava bölgeleri oluşturarak diğer sert kabuklara göre daha iyi ısı yalıtım sağlamasının araştırılması şeklinde sıralanabilir. Şekil 4'te yonga levha üretimi için işlem sırası verilmektedir.

Tablo 2'de öngörülen yonga levha üretim parametreleri ve Tablo 3'te kullanılması öngörülen malzeme oranları verilmiştir.

Tablo 2. Öngörülen yonga levha üretim parametreleri (Projected particle board production parameters)

Sıkıştırma Sıcaklığı (°C)	140-150
Sıkıştırma Süresi (dakika)	6-7
Sıkıştırma Basıncı (N/mm ²)	2,4-2,6
Levha Yoğunluğu (g/cm ³)	0,7
Levha Kalınlığı (mm)	16
En ve Boy (mm)	480-480
İç Dış Katman Oranları (%)	40-60
Numune Sayısı	3

1.4. Deneysel Çalışmanın Gerekçesi ve Sunumu (Justification and Introduction of the Present Experimental Work)

Yukarıda bahsedilen çerçeve daha sonra bir proje kapsamında kısmen gerçekleştirilmiştir [64]. Yapılan çalışmalarda çerçeve plana göre bazı değişiklikler gerçekleşmiştir. Kuramsal plan ile gerçekleşen çalışma

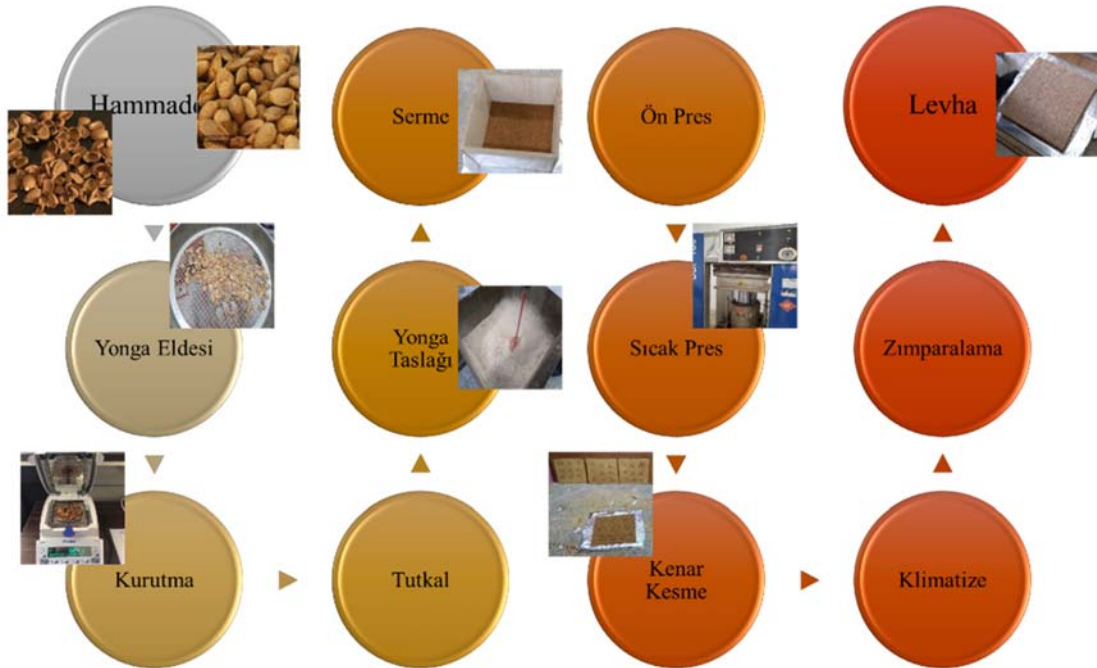
arasındaki farklılıkların karşılaştırılması için 1.3 numaralı başlık ile deneysel çalışmanın tarif edildiği 2 numaralı başlık karşılaştırılmalıdır. Bu başlık altında ise hem deneysel çalışmanın gerekçesi verilmekte hem de kuramsal plan ile deneysel çalışma arasındaki farklılıklar okuyucuya hatırlatılmaktadır. Elde edilen tecrübenin paylaşılması, değişikliklerin çerçeve planla kıyaslanması ve üretilen badem kabuğu parçacıklarını ihtiva eden yonga levhaların çerçeve plan hedeflerinden ısı iletkenlik değerlerinin literatüre sunulması açısından deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Sonraki bölümlerde badem kabuklarından yonga levha üretimine dair deneyimlenen süreç tarif edilmiş, levhaların ısı iletkenliklerinin tespitinde kullanılan yöntem açıklanmış ve sonuçlar kısmında elde edilen bulgular sunulmuştur. Badem kabukları temin edilmiş, öğütülmüş, kara çam yongası ile karıştırılmış, yonga levha üretim süreçlerinden geçirilmiş ve daha sonra ısı iletkenlik testlerinde kullanılacak numuneler için işlenmiştir. Yazarların gerçekleştirdiği geniş kapsamlı literatür taraması sonucunda, üretilen levha türüne yönelik ısı iletkenlik değerlerinin verildiği başka bir çalışma bulunmamaktadır.

Tablo 3. Levha seçenekleri için badem kabuğu ve ahşap malzeme oranları – Kütle Oranı (Ratios of almond shells and wooden material for board variations – Mass Ratio)

Badem Kabuğu Oranı (%)	Oduun Yongası Oranı (%)
0	100
10	90
20	80
30	70
40	60
50	50
100	0

2. Deneysel Yöntem (Experimental Method)

Deneyler için gerekli olan badem kabukları Adıyaman Sert Kabuklu Yemişler Araştırma Enstitüsü'nden 2021 yılında temin edilmiştir. Elde edilen badem kabukları ile ön öğütme denemeleri Konya Teknik

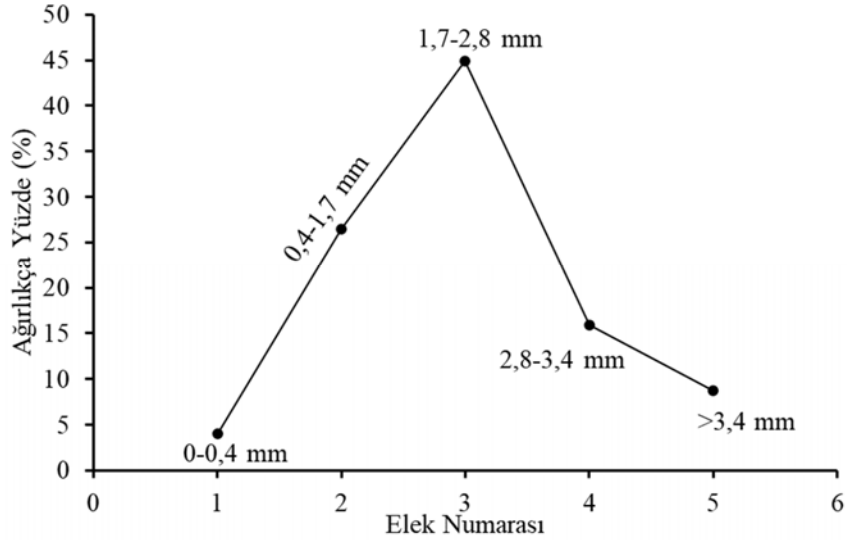


Şekil 4. Yonga levha üretim adımlarının şematik gösterimi (Schematic illustration of particle board production steps)

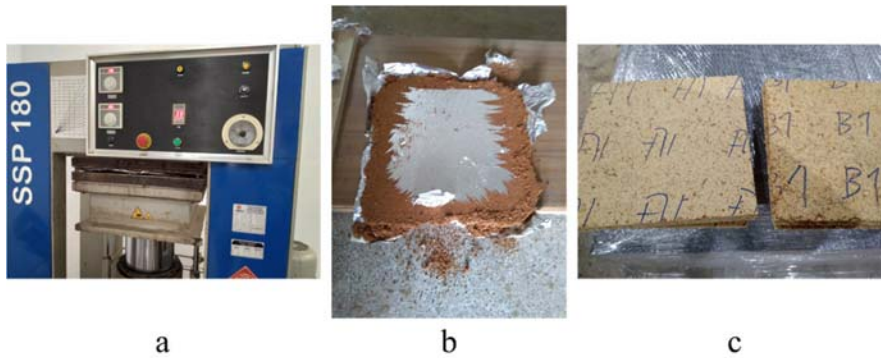
Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'nde gerçekleştirilmiş olup, öğütme işlemi için odunsu malzemeler için kullanılan donanımın daha uygun olacağı sonucuna varılmıştır. Bu amaçla elde edilen badem kabuğu yığı Düzce Üniversitesi, Orman Fakültesi atölyelerinde işlenmiştir. Düzce Üniversitesi, orman Fakültesi yonga levha atölyesinde badem kabukları öğütülmüştür. Öğütülen badem kabuğu parçalarının oluşturduğu yığından ölçekli kaplarla örnekler alınıp tartılmıştır. Daha sonra bu örnekler eleklerle belirli tane boyutu gruplarına ayrılmıştır. Öğütülen badem kabuklarının tane boyutuna göre dağılımı Şekil 5'de sunulmuştur.

Şekil 5'de gösterilmiş olan parçacık dağılımına sahip öğütülmüş badem kabukları kara çam yongaları ile karıştırılmıştır. Ağırlıkça farklı yüzdelere karaçam ve badem kabuğu parçacıkları kullanılmıştır. Karışım için parçacıklar bir kap içerisinde yerleştirilmiş ve elektrik motoruyla tahrik edilen bir mekanik karıştırıcı kullanılmıştır. Karışım kalıp içerisinde yerleştirilirken üre-formaldehit bağlayıcı olarak ve üretilen levhaya göre amonyum sülfat sertleştirici olarak eklenmiştir. Seçilen üretim parametresine bağlı olarak kalıplanan malzeme karışımı sıkıştırılıp ısıtılmıştır. Levha üretimine yönelik örnek görseller Şekil 6'da sunulmaktadır. Tablo 4 ile badem kabuklu yonga levha üretiminde kullanılan oran ve üretim parametreleri sunulmaktadır. Üretilen badem kabuğu içeren yonga

levhalar ve bunlardan deneyler için kesilmiş olan numuneler ise örnek görsellerle Şekil 7'de verilmektedir. Toplamda 17 tip yonga levha üretilmiştir. Öncelikle badem kabuğu parçacıklarının yonga levha içerisinde farklı ağırlık yüzdeleriyle değişiminin ısı iletkenliğini inceleyebilmek için 5 adet yonga levha üretilmiştir. Bunlar birinci üretim seti olarak isimlendirilmiştir. Daha sonra 4 farklı levha yoğunluğu ve her levha yoğunluğunda 3 farklı badem kabuğu yüzdesi deneyebilmek için ikinci bir set levha üretimi gerçekleştirilmiştir. Birinci üretilen sette, Tablo 4'te de ifade edildiği üzere $1,2 \text{ g/cm}^3$ sabit levha yoğunluğu ve daha kalın bir profil tercih edilmiştir. Birinci üretim seti ile deneyler yapılmış ve sabit yoğunluktaki yonga levhalarda farklı badem kabuğu oranlarında ısı iletkenlik değerinin değişimi deneysel olarak tespit edilmiştir. Bu sırada üretim ve kullanım bakımından da bazı atölye deneyimleri elde edilmiştir. Örneğin seçilen levha kalınlığı nedeniyle levhalar ağır ve kullanımı zor olmaktadır. Birinci üretim seti ve sonrasındaki deneylerde elde edilen deneyimlere göre, levha yoğunluğunun etkilerini de görebilmek adına ikinci üretim seti planlanmıştır. İkinci üretim setinde farklı yoğunlukta yonga levhalar için üretim parametreleri belirlenmiştir. Ayrıca deneysel safhada levhaların kolay yönetilebilmeleri için levhalar daha ince ve hafif tasarlanmıştır. Bahsedilen incelemede yapılacak üretimin doğal bir sonucu olarak kalıplama sıcaklığında ve basıncında da bazı değişikliklere



Şekil 5. Yonga levha üretiminde kullanılan badem kabuklarının parçacık büyüklüğü dağılımı (Particle size distribution of almond shells used in particle board production)



Şekil 6. Görüntüler ile yonga levha üretim örneği; a. Isıtılmış kalıpta sıkıştırma, b. Kalıptan çıkarılmış yonga levha, c. Kenar kesimi yapılmış yonga levha

(Example particle board production by images; a. Compression in heated mold, b. Particle board from the mold, c. Particle mold after edge cutting)

Tablo 4. Gerçekleşen üretimler için badem kabuğu içeren yonga levhaların değişkenleri... Birinci ve ikinci üretim setinde birinci ve ikinci kolonlardaki değişken sayılarının çarpımı kadar levha üretilmiştir. Üretilen levhalar bu iki kolondaki sembollerle etiketlenmiştir. Diğer kolonlardaki üretim parametreleri her levha yoğunluğuna karşılık olarak ayarlanmıştır.

(Variables of almond shell containing particle boards for realized productions... Board number that is equal to the multiplication of variable numbers in first and second columns were produced for the first and second production sets. Produced boards were labeled with symbols in these two columns. Production parameters in remaining columns were set that they were corresponding to each board density value)

Badem Kabuğunun Ağırlıkça Yüzdesi (r)	Yonga Levha Yoğunluğu (ρ) (g/cm^3)	Yonga Levha Kalınlığı (mm)	Üre-Formaldehit Miktarı (g)	Amonyum Sülfat Miktarı (g)	Sıkıştırma Basıncı (bar)	Sıkıştırma Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	Sıkıştırma Süresi (s)
Birinci Üretim Seti							
10							
30							
50	1,2	15	400	0	140	140	2040
80							
100							
İkinci Üretim Seti							
30	0,6		230	30			
60	0,7		265	40			
90	0,8	10	300	50	110	150	600
	0,9		335	55			



Şekil 7. Badem kabuğu içeren yonga levhaların numune parçaları. Büyük daireler ısı iletkenlik ölçüm testleri içindir. (Sample pieces from particle boards containing almond shells. Large circles are for thermal effective conductivity measurement tests.)

gidilmiştir. Üretim parametrelerindeki değişikliklerin en önemlisi, sertleştirici olarak amonyum sülfat kullanılmış olmasıdır. Bu sayede sıkıştırma basıncı 140 bar değerinden 110 bar değerine kadar düşürülmüş, kalıplama süresi ise yaklaşık 2.040 saniyeden 600 saniyeye kadar, yani üçte bir oranına kısaltılmıştır. Tablo 4'te verilen yoğunluk değerlerinin hesabında levhalara katılan malzemelerin ağırlıkları ile üretilen levhaların hacimleri kullanılmıştır. Birinci üretim setinde elde edilen levhalardan SEM ile $100\times$ yakınlaştırma ile görüntüler alınmıştır. Bu görüntüler, numunelerin yüzey morfolojisi hakkında bilgi vermek amacıyla Şekil 8'de sunulmuştur. Badem kabuklarının çok daha düz ve net yüzeylere neden olduğu, badem kabuğu parçacıklarının yüzdesi azaldıkça kara çam yongası nedeniyle çok daha değişken bir yüzey oluştuğu görülmektedir.

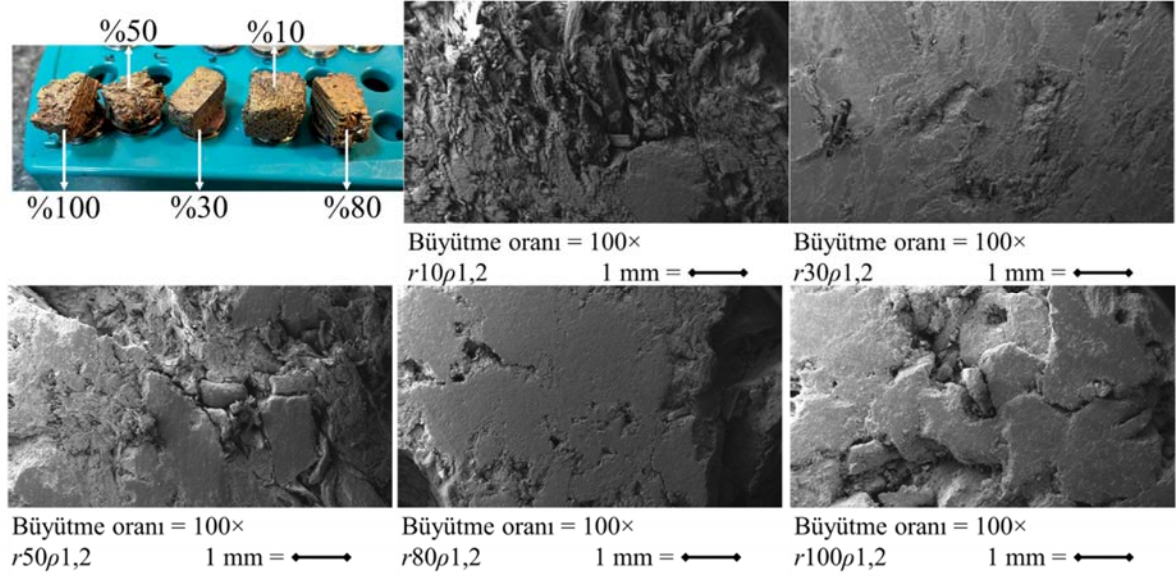
Üretilen badem kabuğu içerikli yonga levhaların ısı iletkenlik değerlerinin belirlenebilmesi için Süleyman Demirel Üniversitesi'nde bulunan bir laboratuvarдан hizmet satın alınmıştır. Bahsedilen üniversitenin ilgili laboratuvarında malzemelerin ısı iletkenliklerinin tespitinin yapılabildiği bir test cihazı bulunmaktadır. Bu cihazın detayları literatürde üç farklı makalede sunulmaktadır [61, 62, 65]. Bahsedilen laboratuvarında kullanılan ısı iletkenlik ölçüm cihazı Lasercomp HFM Fox-50 ısı akış ölçme cihazıdır. Bu makalelerde tarif edilen ve ısı iletkenlik tespitinde kullanılan cihaz için numuneler hazırlanarak gönderilmiştir. Cihazın bildirilen belirsizlik oranı %3'tür [61, 62, 65]. Numuneler 30 mm çapında hazırlanmıştır. Isıl iletkenlik katsayısının tespiti için yapılan testlerde 20 derece sabit sıcaklık farkı kullanılmıştır. Deneyler farklı ortalama sıcaklıklarda tekrarlanmıştır. Bu çalışmada ortalama sıcaklık değeri -10°C ile $+50^{\circ}\text{C}$ arasında değiştirilmiştir. Deneylerde gerçekleşen ısı akışı da ölçüm cihazı

tarafından tespit edildiği için ısı akışı ve sıcaklık farkı kullanılarak sıcaklık gradyanı arasında bulunan numunenin tek doğrultudaki ısı iletkenliği tespit edilebilmektedir.

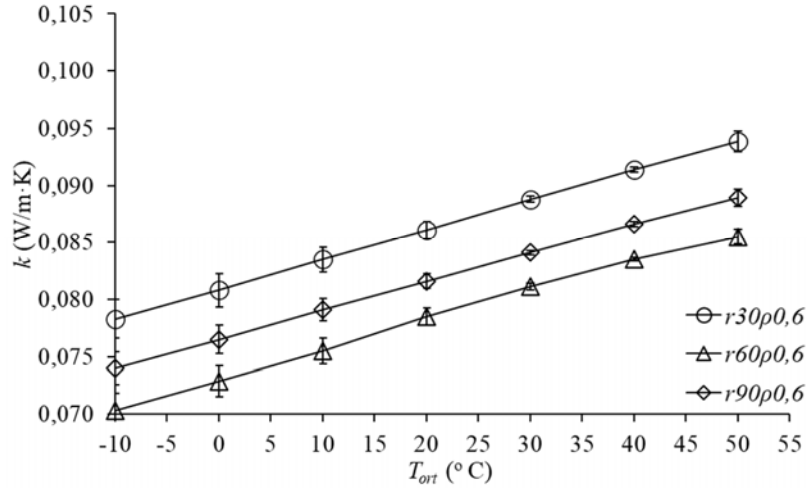
Literatürde ısı iletkenliğin veya ısı direncin deneysel tespiti için farklı cihaz tasarımları ve farklı deneysel yaklaşımlar bulunmaktadır [60]. Örneğin, Jannot vd. [55] yüksek sıcaklıklar (600°C) için "karşılaştırmalı akı-metre" olarak isimlendirdiği ve yaklaşık %11 belirsizlikle sonuç alınabilen bir düzenek tarif etmektedir. Jannot vd. [56] daha sonra "dört katman" olarak isimlendirdikleri diğer bir yöntemi geliştirmiştir. Bahsedilen dört katmanda simetrik biçimde iki iletken ve iki yalıtkan katman bulunmaktadır. Geliştirilen yöntemde 1000°C sıcaklıklara kadar çok yüksek sıcaklıklarda geçici rejimde ısı yayılım (difüzyon) ölçümü yapılabildiği bildirilmiştir. Yazarlar ayrıca deneysel verilerine dayanarak iki cebirsel model de geliştirmiş ve sunmuştur. Bu ikinci geliştirilen yöntemin belirsizliği ise %10 olarak bildirilmiştir. Dolayısıyla deneylerin yapıldığı ortalama sıcaklığın farklı çözümler gerektirdiği anlaşılmaktadır. Literatürde karşılaştırılabilen diğer bir yöntem ise sıcak plaka yöntemidir [59]. Bu çalışmada ise yerel imkanlar göz önüne alınarak, denenen numune kalınlıklarında yüksek doğruluğa sahip, tarifi yapılmış olan, ısı akışı ölçüm yöntemi tercih edilmiştir.

3. Sonuçlar ve Tartışma (Results and Discussion)

Şekil 9'da $0,6 \text{ g/cm}^3$ yoğunluklu badem kabuğu içeren yonga levhaların farklı ortalama sıcaklıklar ve badem kabuğu ağırlık oranlarında ısı iletkenlik değerinin değişimi gösterilmektedir. Yöntem bölümünde açıklandığı üzere bu levhalar ikinci set üretim



Şekil 8. Birinci üretim setinden alınan SEM numuneleri ve 100× yaklaştırma ile elde edilen yüzey görüntüleri (SEM samples that were taken from the first production set and their surface images with 100× magnification)



Şekil 9. Levha yoğunluğunun 0,6 g/cm³ değeri için ısı iletkenlik sonuçları (Thermal conductivity results for board density value of 0.6 g/cm³)

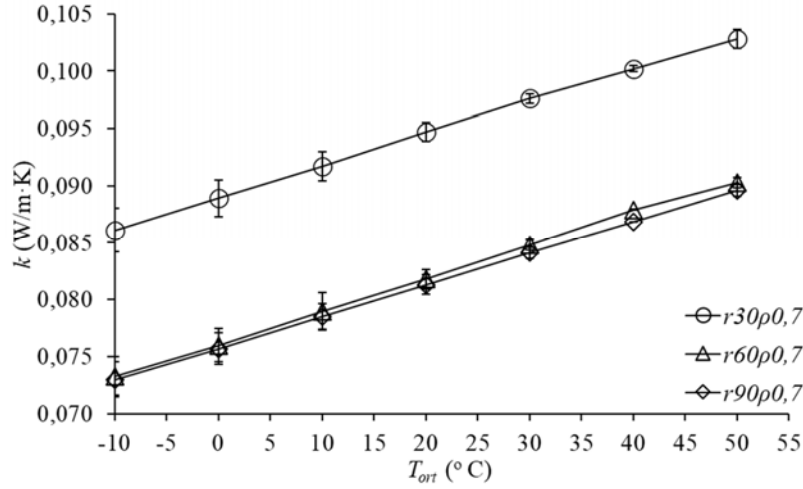
sırasında hazırlanmıştır. Badem kabuklarının levha içerisinde ağırlıkça yüzdeleri sırasıyla %30, %60 ve %90 olarak değişmektedir. Bu oranlar Şekil 9'da ve diğer şekillerde oran gösterir biçimde $r30$, $r60$ ve $r90$ olarak gösterilmiştir. Deney tekrarlarında bağlı olarak elde edilen standart sapma değerleri, grafikteki her veri noktasında mutlak değer olarak hata çubukları ile gösterilmiştir. Sonuçlarda standart sapma değerlerinin göz ardı edilebilir mertebede küçük çıktığı görülmektedir. Bu durum, 0,6 g/cm³ yoğunluklu badem kabuğu içeren yonga levhaların %30, %60 ve %90 badem kabuğu oranlarında kararlı bir ısı iletkenlik davranışı gösterdiğini işaret etmektedir. Ortalama sıcaklıktaki değişim levhaların ısı iletkenliğini doğrusal olarak değiştirmektedir. Ortalama sıcaklıkta gerçekleşen 60°C değerindeki bir artış ısı iletkenliği yaklaşık %18 arttırmaktadır. ısı iletkenlik değerleri 0,07 ile 0,09 W/m·K arasında değişmektedir. Yonga levhalarda badem kabuğu miktarı arttıkça ısı iletkenlik değeri önce azalmakta, daha sonra ise tekrar artış göstermektedir. Diğer bir ifade ile badem oranındaki artış ile ısı iletkenlikteki değişim orantılı değişmemektedir. Örneğin ısı iletim katsayısı 20°C'de $r30$ için 0,086,

$r60$ için 0,076 ve $r90$ için 0,080'dir. Bu doğrusal olmayan ve tekdüze davranmayan değişimin iki farklı lignoselülozik malzeme arasında farklı oranlarda oluşan boşluk dağılımından, miktarından ve büyüklüğünden kaynaklandığı düşünülmektedir. Badem kabuklarının karaçam yongasından sert ve gözenekli olduğu, ayrıca badem kabuğu oranı arttıkça levhaların daha rijit hale geldiği bilinmektedir [26]. Badem kabuğu miktarındaki artışın öncelikle sert badem kabuğu parçacıkları arasında boşluklara neden olduğu, daha fazla badem kabuğu miktarında ise rijit badem kabuğu parçalarının bir kafes yapısı oluşturarak boşlukları koruduğu düşünülmektedir. Diğer taraftan, kafes yapısının oluşturacağı ısı köprüleri de ısı iletkenliği bir miktar arttırmaktadır. Literatürde ahşap temelli yonga levhalarda ısı iletkenlik değerlerinin 0,09 ile 0,20 W/m·K arasında olduğu bildirilmektedir [54, 62]. Bu açıdan 0,6 g/cm³ yoğunluklu badem kabuğu içeren yonga levhaların %60 badem kabuğu oranı için daha iyi bir ısı yalıtım sağladığı değerlendirilmektedir. Özellikle -10°C ortalama sıcaklık değeri için ısı iletkenlik değerleri ticari ısı yalıtım malzemelerine yaklaşmaktadır [61, 65].

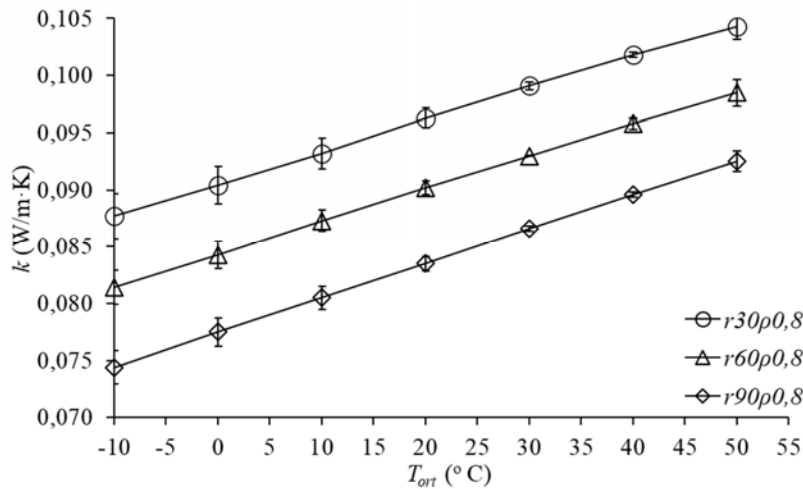
Levhaların yoğunluğu $0,7 \text{ g/cm}^3$ değerine geldiğinde, Şekil 10'dan da görüleceği üzere, ısı iletkenlik bir miktar artmaktadır. Artış oranı ortalama %10 civarındadır. Artan levha yoğunluğu ile parçacıklar arası boşluklar azalacağı için bu beklenen bir durumdur. Diğer taraftan %60 ve 90 oranında badem kabuğu içeren levhaların ısı iletkenlik değerleri birbirine çok yakın değerler oluşturmaktadır. Daha farklı bir ifade şekli ile, %90 badem kabuğu oranına sahip levha ısı iletkenlik değerleri çok değişmezken %60 badem kabuğu oranına sahip levhanın ısı iletkenliğinde artış gerçekleşmiştir. Levha yoğunluk değerinin $0,6 \text{ g/cm}^3$ 'den $0,7 \text{ g/cm}^3$ 'ye arttığında, %90 badem kabuğu oranının oluşturduğu düşünülen rijit kafes yapısı boşlukları koruyacağı için ısı iletkenlik değerleri çok değişmezken %60 badem kabuğu oranında yoğunluk artışına bağlı olarak boşlukların azaldığı ve bu badem kabuğu oranında boşlukların korunmadığı değerlendirilmektedir. Deneysel sonuçların standart sapma değerleri yine göz ardı edilebilir mertebededir. Nispeten düşük ortalama sıcaklıklarda standart sapma değerleri bir miktar artmaktadır. Gerçekleştiği düşünülen ısı transferi mekanizmalarının teyidi için bir sonraki levha yoğunluğu $0,8 \text{ g/cm}^3$ için ısı iletkenlik değerleri Şekil 11'de gösterilmiştir. Gerçekten de Şekil 9 ve 10 için yapılan değerlendirmeleri doğrular nitelikte Şekil 11'de ısı iletkenlik

değerleri artarken, kafes yapısının oluştuğu düşünülen %90 badem kabuğu barındıran levha ısı iletkenlik değerleri çok değişmemektedir. Bu durum, levhaların yoğunluk değerleri arttıkça ısı iletkenliklerinin artmasının ana nedeninin parçacıklar arası boşluğun azalması olduğunu doğrulamaktadır. Ayrıca %90 badem kabuğu bulunduran levhalarda yoğunluğundaki değişimin ısı iletkenlik üzerine etkisi çok azalmaktadır. Bu durum, %90 oranının badem kabuğu içeren yonga levhalar için önemli bir değer olduğunu işaret etmektedir. Ortalama sıcaklıktaki artışa bağlı olarak doğrusal artan ısı iletkenlik değeri eğiliminde de bir değişiklik görülmemekte ve standart sapma değerleri göz ardı edilebilir mertebede kalmaktadır. Bu levha yoğunluğunda %30 ve %60 oranlarında badem kabuğu bulunduran levhaların ısı yalıtım amacıyla kullanıma potansiyelleri ciddi oranda azalmıştır.

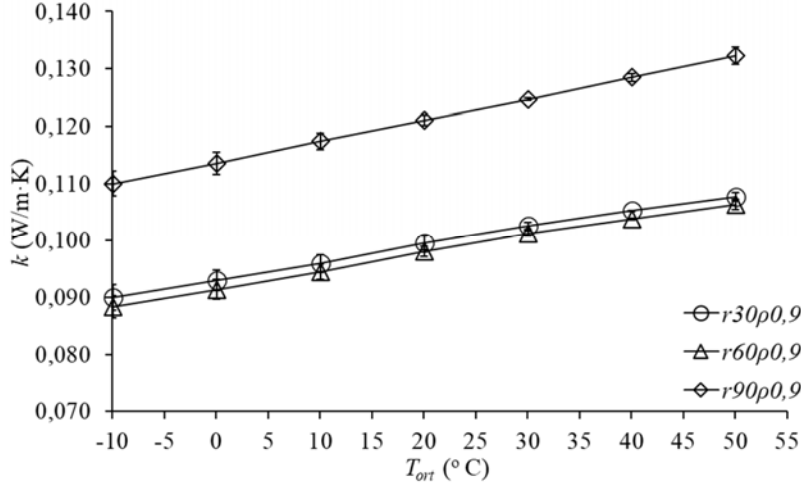
Şekil 12'de gösterilen $0,9 \text{ g/cm}^3$ levha yoğunluğundaki ısı iletkenlik değerleri incelendiğinde, önemli değişimler olduğu görülmektedir. Levha yoğunluğu arttığında artık badem kabuğu parçacıklarının oluşturduğu düşünülen kafes yapısının boşlukları koruyamadığı, ilaveten bu kafes yapısının oluşturduğu ısı köprüleriyle iletim katsayısı değerlerinin dramatik bir şekilde arttığı gözlemlenmiştir.



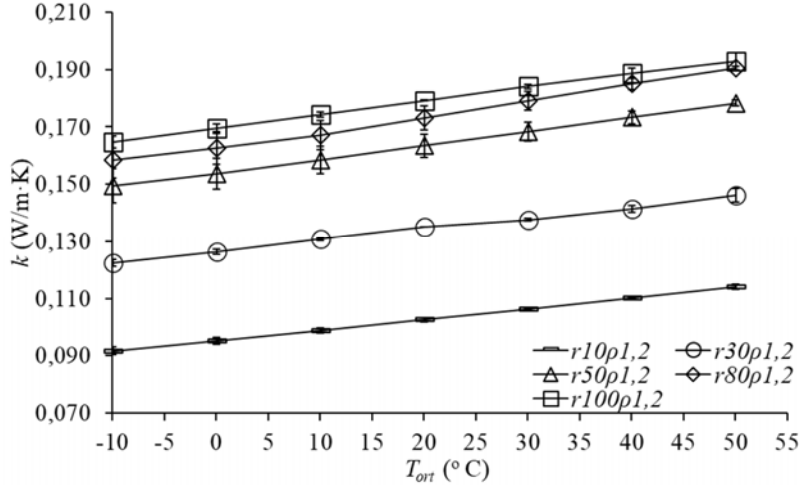
Şekil 10. Levha yoğunluğunun $0,7 \text{ g/cm}^3$ değeri için ısı iletkenlik sonuçları
(Thermal conductivity results for board density value of 0.7 g/cm^3)



Şekil 11. Levha yoğunluğunun $0,8 \text{ g/cm}^3$ değeri için ısı iletkenlik sonuçları
(Thermal conductivity results for board density value of 0.8 g/cm^3)



Şekil 12. Levha yoğunluğunun 0,9 g/cm³ değeri için ısı iletkenlik sonuçları
(Thermal conductivity results for board density value of 0.9 g/cm³)



Şekil 13. Levha yoğunluğunun 1,2 g/cm³ değeri için ısı iletkenlik sonuçları
(Thermal conductivity results for board density value of 1.2 g/cm³)

Levha yoğunluğunun 0,9 g/cm³ değeri için %30 badem kabuğu oranına sahip levhanın ısı iletkenlik değerleri 0,8 g/cm³ yoğunluk değerine göre çok değişmezken artık badem oranındaki artış ısı iletkenlik değerlerini arttırmaktadır. Bu noktada artan badem kabuğu miktarının ısı köprülerini arttırdığı düşünülmektedir. Bu levha yoğunluğunda badem kabuğu içeren levhaların ısı yalıtkan olarak nitelendirilmesi mümkün görünmemektedir. Yine de uygulama açısından sayısal niceliklerin sunulmasının faydalı olduğu açıktır.

Şekil 12'ye kadar verilen grafiklerde levha yoğunluğuna bağlı olarak ısı iletkenliğinin badem oranına göre değişiminde farklılıklar gözlemlenmiştir. Levha yoğunluğu arttıkça badem oranındaki artış da ısı iletkenliği daha fazla arttırmaya başlamaktadır. Levha yoğunluğundaki marjinal bir artış ile bahsedilen değişimin devam edip etmediği kontrol edilebilir. Birincil üretim setindeki levha yoğunluğu 1,2 g/cm³ olduğu için bu levhaların ısı iletkenlik katsayısı sonuçları bahsedilen davranışın devam edip etmediğini göstermektedir. Şekil 13'den de görüleceği üzere, levha yoğunluğunu 0,9 g/cm³ değerinden 1,2 g/cm³ değerine çıkarmak artık bir davranış değişikliğine neden olmamakta, ısı iletkenlik değerleri hem yoğunluk artışı hem de badem kabuğu oranındaki artışa bağlı olarak

artmaktadır. Bu nedenle badem kabuğu içeren yonga levhalarda, mekanik gereklilikleri sağlaması kaydıyla en düşük yoğunluk değerlerinin ve orta seviyede badem kabuğu oranlarının kullanılmasının ısı yalıtım becerisi açısından önemli olacağı düşünülmektedir.

Çalışma kapsamında elde edilen deneysel verilerden ampirik Eş. 1 elde edilmiştir. Eşitliğin determinasyon katsayısı (R^2) 0,95'dir. Eşitlik kullanılarak bütün eğilimler tekrar çizdirilebilmektedir.

$$k = 0,000269T + \left(0,042874\rho^{4,404164} \times 0,101994r^{0,517525}\right) \quad (1)$$

Deneysel sonuçlar incelendiğinde badem kabuklarının ana malzemelerden biri olarak kullanıldığı yonga levhalarda ısı iletkenlik katsayısının 0,070 W/m·K ile 0,190 W/m·K değeri arasında değişebildiği görülmüştür. Bu değişim sıcaklık farkının ortalama değerine, levhalardaki badem miktarına ve levha yoğunluğuna bağlı olarak belirtilen aralıkta gerçekleşmiştir. Isıl iletkenlik katsayısının değişiminde sıcaklık farkının ortalama değeri doğrusal ve doğru orantılı bir değişime neden olmaktadır. Levha yoğunluğu arttıkça ısı

iletkenlik katsayısı artmaktadır. Badem kabuğu oranındaki artış düşük yoğunluklu levhalarda tekdüze olmayan değişken bir etkiye neden olurken yüksek yoğunluklu levhalarda doğrusal ve doğru orantılı bir etkiye sahip olmaktadır. Deneysel çalışma sonucunda ısı iletkenlik katsayısının nicel değerleri de literatüre kazandırılmış olmaktadır.

4. Simgeler (Symbols)

k	: Isıl iletkenlik (W/m·K)
r	: Ağırlıkça badem kabuğu oranı (%)
ρ	: Yoğunluk (g/cm ³)
T	: Sıcaklık (°C)
T_{ort}	: Sıcaklık gradyanının ortalama değeri (°C)

5. Sonuçlar (Conclusions)

Bu çalışmada badem kabuklarının yonga levha üretiminde kullanılması fikri sunulmuş, konuyla ilgili geniş bir literatür taraması yapılmış, badem kabuğu içeren yonga levhalar üretilmiş ve üretilen levhaların ısı iletkenlik değerleri deneysel olarak belirlenmiştir. Gerek badem kabuklarının kullanım şekli gerekse ısı iletkenlik değerleri açısından mevcut çalışma önemli yeni bilgileri sunmaktadır. Çalışmada elde edilen deneysel verilere göre badem kabuklarından üretilen yonga levhaların ısı yalıtım malzemesi olarak değerlendirilemeyeceği fakat yapısal uygulamalarda tasarım ve hesaplama kolaylığı sağlayacak şekilde farklı ortam sıcaklıkları için ısı iletkenliklerinin belirlenmiş olduğu sonucuna varılmıştır. Özellikle düşük ortam sıcaklıklarında, badem kabuğu içeren yonga levhaların düşük yoğunluğa sahip olmaları durumunda dikkate değer oranda ısı iletkenlikleri azalmaktadır. Badem kabuğu içeren yonga levhaların ısı iletkenlik değerleri 0,07 ile 0,19 W/m·K arasında değişmektedir. Levha yoğunluğu azaldıkça ısı iletkenlik azalmaktadır. Levha içerisindeki badem kabuğu miktarının etkisi farklı levha yoğunlukları için farklılaşmaktadır. Isı akısını sağlayan sıcaklık gradyanının ortalama değeri ısı iletkenlik değerini doğrusal olarak değiştirmektedir. En düşük ısı iletkenlik değeri 0,6 g/cm³ levha yoğunluğa ve %60 badem kabuğu oranı için elde edilmiştir.

Çalışmanın geleceğine yönelik olarak çeşitli ölçeklerdeki mikroskop görüntüleri ile elde edilen ısı iletkenlik sonuçları hakkındaki değerlendirmelerin tekrardan gözden geçirilmesi ve yeni değerlendirilmelerin yapılması düşünülebilir. Ayrıca badem kabuğu parçacıklarının farklı boyutlarının ve en/boy oranlarının denenmesi düşünülmektedir. İlave olarak farklı yonga geometrilerinin farklı katmanlar şeklinde uygulanması durumunun araştırılması gelecekte düşünülebilir. Diğer araştırma başlıkları farklı bağlayıcı ve sertleştiricilerin denenmesi, çeşitli yalıtım köpükleri ve yalıtım malzemelerine takviye olarak badem kabuklarının kullanılma durumunun incelenmesi, sıcaklık, basınç, süre gibi üretim parametrelerinin farklı aralıklarının denenmesi ve en iyi parametre değerlerinin tespiti olarak sıralanabilir. Tedarikinden son ürün durumuna kadar olan süreçte badem kabuklarının malzeme olarak kullanıldıkları yonga levhalar için karbon izinin, tam üretim ve süreç maliyetinin ve ikinci yasa açısından enerji verimliliğinin tespiti de araştırması gereken endüstriyel ve akademik konular arasında yer almaktadır. Literatürde son yıllarda bu tarz araştırmaların daha çok göze çarptığı ifade edilebilir ve bu durumun endüstriyel bir ihtiyaçtan kaynaklandığı düşünülmektedir [66-69]. Diğer başka araştırılması gereken konular ise yanma ve yorulma dayanımı, kimyasal etkileşim durumu, ömür tayini gibi yapısal malzemeler için araştırılması gereken konulardır.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma, Anılcan Sarıkaya'nın yüksek lisans çalışmaları kapsamında üretilen verileri kullanmaktadır. Yazarlar çalışma

sırasında altyapılarını kullandıkları Selçuk Üniversitesi, Düzce Üniversitesi ve Süleyman Demirel Üniversitesi'ne teşekkürü bir borç bilir. Çalışmanın çeşitli safhalarında maddi desteği sağlayan Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü, desteği 21201060 ve 22701003 numaralı projeler aracılığıyla sunmuştur. Bu makalenin kavramsal kısımları Sertkaya vd. [3] tarafından, ısı iletkenlik deneyleri ile ilgili kısımları ise Sarıkaya vd. [18] tarafından daha önce bildiri olarak sunulmuştur.

Kaynaklar (References)

1. Hoornweg, D., Bhada-Tata, P., What a Waste : A Global Review of Solid Waste Management, World Bank - Urban Development Series, Knowledge Papers No. 15 2012.
2. Kosseva, M.R., Processing of food wastes, Advances in food and nutrition research, 58 57-136, 2009.
3. Sertkaya, A.A., Canli, E., Guler, C., Sarıkaya, A., Almond shells for insulation purposes by particle board production, 23rd Congress on Thermal Science and Technology (ULIBTK 2021), Gaziantep, Turkey, 1267-1274, 8-10 September 2021.
4. Anonim, Hard Shell Fruits (originally in Turkish: Sert Kabuklu Meyveler), Meyveler), H.S.F.o.i.T.S.K., Editor, 2021, Turkish Institution of Statistics (TUIK) (originally: Türkiye İstatistik Kurumu - TÜİK): Türkiye, 2021.
5. Anonymous, Almond Production by Country 2023, <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/almond-production-by-country>, 01 Mart 2023.
6. Anonymous, World's top Almond Producing Countries, <https://www.atlasbig.com/en-us/countries-almond-production>, 01 Mart 2023.
7. Esfahlan, A.J., Jamei, R., Esfahlan, R.J., The importance of almond (Prunus amygdalus L.) and its by-products, Food chemistry, 120 (2), 349-360, 2010.
8. Prgomet, I., Gonçalves, B., Domínguez-Perles, R., Pascual-Seva, N., Barros, A.I., Valorization challenges to almond residues: Phytochemical composition and functional application, Molecules, 22 (10), 1774, 2017.
9. Barral-Martínez, M., Fraga-Corral, M., Garcia-Perez, P., Simal-Gandara, J., Prieto, M.A., Almond by-products: Valorization for sustainability and competitiveness of the industry, Foods, 10 (8), 1793, 2021.
10. Ghorbal, A., Ben Arfi, R., Application of Almond Shell-Based Materials for Aquatic Pollutants Removal: A Mini-Review, Recent Advances in Environmental Science from the Euro-Mediterranean and Surrounding Regions (2nd Edition) Proceedings of 2nd Euro-Mediterranean Conference for Environmental Integration (EMCEI-2), Tunisia, 115-120, 2019.
11. Rodriguez-Reinoso, F., Molina-Sabio, M., Activated carbons from lignocellulosic materials by chemical and/or physical activation: an overview, Carbon, 30 (7), 1111-1118, 1992.
12. Quiles-Carrillo, L., Montanes, N., Garcia-Garcia, D., Carbonell-Verdu, A., Balart, R., Torres-Giner, S., Effect of different compatibilizers on injection-molded green composite pieces based on polylactide filled with almond shell flour, Composites Part B: Engineering, 147 76-85, 2018.
13. Moure, A., Gullón, P., Domínguez, H., Parajó, J.C., Advances in the manufacture, purification and applications of xylo-oligosaccharides as food additives and nutraceuticals, Process Biochemistry, 41 (9), 1913-1923, 2006.
14. Torres, F., Rodriguez, S., Saavedra, A., Green composite materials from biopolymers reinforced with agroforestry waste, Journal of Polymers and the Environment, 27, 2651-2673, 2019.
15. Anonim, Wood based boards - Characteristic values for structural purpose designs - Section 1: OSB, particle boards and fibre boards (originally in Turkish: Ahşap esaslı levhalar - Yapısal amaçlı tasarım için karakteristik değerler - Bölüm 1: Osb, yonga levhalar ve lif levhalar), Turkish Institute of Standards (TSE) (originally: Türk Standartları Enstitüsü - TSE): Türkiye, 2001.
16. Anonim, Particle boards and fibre boards - Determining vertical tensile strength to board surface (originally in Turkish: Yonga levhalar ve lif levhalar-Levha yüzeyine dik çekme dayanımının tayini), Turkish Institute of Standards (TSE) (originally: Türk Standartları Enstitüsü - TSE): Türkiye, 1999.

17. (ISO), I.S.O., Wood-based panels — Particleboard, International Standard Organization (ISO), 2021.
18. Sarıkaya, A., Sertkaya, A.A., Canlı, E., Guler, C., Thermal conductivity of grinded almond shell particle boards, Latin American International Conference on Natural and Applied Sciences-II, Colombia, Bogotá, 384-395, 30 April 2022.
19. (FAO), F.a.A.O.o.t.U.N., Crops and livestock products, (FAO), F.a.A.O.o.t.U.N., Editor. 2021.
20. (OWD), O.W.i.D., OurWorldInData.org/crop-yields CC BY, Almond yields, 1961 to 2020, https://ourworldindata.org/grapher/almond-yields?tab=chart&country=TUR~OWID_WRL~USA, 01 Mart 2023.
21. Anonymus, Global Almond Market - Forecasts from 2022 to 2027, Research and Markets. 146, . 2022.
22. (TEPGE), S.G.B., Tarım Ürünleri Piyasaları – Badem, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü Müdürlüğü: Türkiye, 2022.
23. Anonymous, The Observatory of Economic Complexity (OEC), Almonds, fresh or dried, shelled - Historical Data - Exporters and Importers, <https://oec.world/en/profile/hs/almondsfresh-or-dried-shelled>, 1 Mart 2023.
24. (USDA), U.S.D.o.A., U.S. Department of Agriculture (USDA), Data Products - Fruit and Tree Nuts Data - Data by Commodity - Imports and Exports - Tree Nuts - Almonds, https://data.ers.usda.gov/reports.aspx?programArea=fruit&top=5&HardCopy=True&RowsPerPage=25&groupName=Tree%20nuts&commodityName=Almonds&ID=17851#P8a8dab1498384062bdf2a31c5e8bc682_4_585iT5R0R0R1x0, 1 Mart 2023.
25. Anonim, Turkish Institute of Statistics (TUIK) (originally: Türkiye İstatistik Kurumu - TÜİK), Metadata - Plant production statistics - Almond (originally in Turkish: Metaveri – Bitki Üretim İstatistikleri – Badem), <https://data.tuik.gov.tr/Search/Search?text=badem&dil=1>, 03 Mart 2021.
26. Güler, C., Sarıkaya, A., Sertkaya, A.A., Canlı, E., Some physical and mechanical properties of particle boards produced from almond shells, Karabakh III. International Congress of Applied Sciences "Year of Shusha- 2022", Karabakh, Azerbaijan, 194-205, 30 June 2022.
27. Sarıkaya, A., Investigation Of The Thermal Conductivity Of Almond Shell Added Particle Boards (originally in Turkish: Badem kabuğu katkılı yonga levhaların ısı iletkenliklerinin incelenmesi), Selçuk Üniversitesi, Mechanical Engineering (Makine Mühendisliği), Konya, Türkiye, 2022.
28. Pirayesh, H., Khazaeian, A., Using almond (*Prunus amygdalus* L.) shell as a bio-waste resource in wood based composite, Composites, Part B, 43 (3), 1475-1479, 2012.
29. Pirayesh, H., Khanjanzadeh, H., Salari, A., Effect of using walnut/almond shells on the physical, mechanical properties and formaldehyde emission of particleboard, Composites, Part B, 45 (1), 858-863, 2013.
30. Liuzzi, S., Rubino, C., Stefanizzi, P., Martellotta, F., Performance characterization of broad band sustainable sound absorbers made of almond skins, Materials, 13 (23), 5474, 2020.
31. Ibáñez García, A., Martínez García, A., Ferrándiz Bou, S., Study of the influence of the almond shell variety on the mechanical properties of starch-based polymer biocomposites, Polymers, 12 (9), 2049, 2020.
32. Barbu, M.C., Sepperer, T., Tudor, E.M., Petutschnigg, A., Walnut and hazelnut shells: untapped industrial resources and their suitability in lignocellulosic composites, Applied Sciences, 10 (18), 6340, 2020.
33. Savio, L., Thiebat, F., Bosia, D., Pennacchio, R., Natural fibers insulation panels: an adaptive production, 2018.
34. McCaffrey, Z., Torres, L., Flynn, S., Cao, T., Chiou, B.-S., Klamczynski, A., Glenn, G., Orts, W., Recycled polypropylene-polyethylene torrefied almond shell biocomposites, Industrial Crops and Products, 125 425-432, 2018.
35. Liminana, P., Garcia-Sanoguera, D., Quiles-Carrillo, L., Balart, R., Montanes, N., Development and characterization of environmentally friendly composites from poly (butylene succinate) (PBS) and almond shell flour with different compatibilizers, Composites, Part B, 144 153-162, 2018.
36. Tasdemir, M., Effects of olive pit and almond shell powder on polypropylene, Key Engineering Materials, 65-68, 2017.
37. Nazerian, M., Dalirzadeh, A., Farrokhpayam, S.R., Use of almond shell powder in modification of the physical and mechanical properties of medium density fiberboard, BioResources, 10 (1), 169-181, 2015.
38. Chaudhary, A.K., Gope, P., Singh, V., Suman, A., Verma, A., Thermal analysis of epoxy based coconut fiber-almond shell particle reinforced biocomposites, Advances in Manufacturing Science and Technology, 38 (2), 2014.
39. Gürü, M., Atar, M., Yıldırım, R., Production of polymer matrix composite particleboard from walnut shell and improvement of its requirements, Mater. Des., 29 (1), 284-287, 2008.
40. Gürü, M., Tekeli, S., Bilici, İ., Manufacturing of urea-formaldehyde-based composite particleboard from almond shell, Mater. Des., 10 (27), 1148-1151, 2006.
41. Das, D., Bordoloi, U., Muigai, H.H., Kalita, P., A novel form stable PCM based bio composite material for solar thermal energy storage applications, J. Energy Storage, 30, 101403, 2020.
42. Kajeiou, M., Alem, A., Mezghich, S., Ahfir, N.-D., Mignot, M., Devouge-Boyer, C., Pantet, A., Competitive and non-competitive zinc, copper and lead biosorption from aqueous solutions onto flax fibers, Chemosphere, 260, 127505, 2020.
43. Güler, C., Utilization of some annual plants in wood-based composite production (originally in Turkish: Odun esaslı kompozit malzeme üretiminde bazı yıllık bitkilerin değerlendirilmesi), Selçuk University Journal of Engineering Sciences, 14 (2), 70-78, 2015.
44. Kalaycıoğlu, H., Means of using coastal pine (*Pinus pinaster*) wood in particle board production (originally in Turkish: Sahil Çamı (*Pinus pinaster*) Odunlarının Yongalevha Üretiminde Kullanılması İmkânları), Orman Endüstri Müh. Böl. Karadeniz Teknik Üniversitesi, 1991.
45. Çolak, S., Öztürk, H., Demir, A., Demirkır, C., Utilization of plywood waste for particleboard manufacturing (originally in Turkish: Yongalevha üretiminde kontrplak atıklarının kullanılması), Selçuk University Journal of Engineering Sciences, 14 (2), 601-612, 2015.
46. Celik, S., Evaluation of chainsaw dust in particle board production (originally in Turkish: Motorlu Testere Talaşının Yongalevha Üretiminde Değerlendirilmesi), Bartın Üniversitesi, 2017.
47. Sevincli, Y., Investigation of the mechanical and physical properties of the particleboard produced from lavender plant waste (originally in Turkish: Atık Lavanta Bitkisinden Üretilen Yongalevhanın Mekanik ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi), Süleyman Demirel Üniversitesi, 2014.
48. Durmus, M.T., Demand estimation in particle board industry in Turkey (originally in Turkish: Türkiye'de Yonga levha Endüstrisinde Talep Tahmini), Karadeniz Üniversitesi, 2002.
49. Demirkır, C., Çolak, S., Reuse of wood based solid waste in panel production industry (originally in Turkish: Odun kökenli atıkların levha endüstrisinde yeniden kullanım imkânları), Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 7 (1), 41-50, 2011.
50. Türkoğlu, T., Baysal, E., Ergun, M.E., Toker, H., Yüksel, M., Özçifci, A., Evaluation of wood waste management practices in forest products enterprises (originally in Turkish: Orman ürünleri işletmelerinde odunsu atık yönetimi uygulamalarının değerlendirilmesi), Selçuk-Teknik Dergisi, 14 (2), 517-529, 2015.
51. Dayanıklıoğlu, S., Sectoral evaluation of boards (originally in Turkish: Levha Sektör Değerlendirmesi). 2016, Yonga Sanayiciler Derneği: İstanbul.
52. Ertürk, M., Keçebaş, A., Prediction of the effect of insulation thickness and emission on heating energy requirements of cities in the future, Sustainable Cities and Society, 75, 103270, 2021.
53. Ertürk M., Calculation amount of carbon dioxide and sulfur dioxide per capita area, per unit area for the heating period: Example of Izmir, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 36 (1), 319-332, 2021.
54. Ceviz, A., Developing of Outside Coating Element Isolated Heat by Using Waste Wood Shaving (originally in Turkish: Atık Odun Talası Kullanılarak Isı Yalıtımlı Dış Cephe Kaplama Elemanının Geliştirilmesi), Selçuk Üniversitesi, Mechanical Engineering (Makine Mühendisliği), Konya, Türkiye, 2008.
55. Jannot, Y., Meulemans, J., Schick, V., Capp, M., Bargain, I., A comparative fluxmetric (CFM) method for apparent thermal conductivity measurement of insulating materials at high temperature, Int. J. Thermophys., 41 (7), 1-15, 2020.
56. Jannot, Y., Degiovanni, A., Schick, V., Meulemans, J., Thermal diffusivity measurement of insulating materials at high temperature with a four-layer (4L) method, Int. J. Therm. Sci., 150 106230, 2020.
57. Pope, I., Hidalgo, J.P., Osorio, A., Maluk, C., Torero, J.L., Thermal behaviour of laminated bamboo structures under fire conditions, Fire Mater., 45 (3), 321-330, 2021.

58. Pope, I., Hidalgo, J.P., Torero, J.L., A correction method for thermal disturbances induced by thermocouples in a low-conductivity charring material, *Fire Saf. J.*, 120 103077, 2021.
59. Lahoori, M., Rosin-Paumier, S., Stoltz, G., Jannot, Y., Thermal conductivity of nonwoven needle-punched geotextiles: effect of stress and moisture, *Geosynth. Int.*, 28 (2), 186-194, 2021.
60. Franco, A., An apparatus for the routine measurement of thermal conductivity of materials for building application based on a transient hot-wire method, *Appl. Therm. Eng.*, 27 (14-15), 2495-2504, 2007.
61. Kuru, M., Determination of thermal conductivity of closed-cell insulation materials that depend on temperature and density, *Arabian Journal for Science and Engineering*, 41 (11), 4337-4346, 2016.
62. Büyükkaya, K., Güler, B., Kuru, M., Investigation of the thermal and mechanical properties of organic waste reinforced polyester composites, *Iran. J. Sci. Technol. Trans. Civ. Eng.*, 45 (2), 757-766, 2021.
63. Canli, E., Sepetcioglu, H., Determination of Effective Thermal Conductivity of Composites by Literature Models, *International Conference on Engineering Technologies (ICENTE'21)*, Konya, Turkey, 258-262, November 18-20, 2021.
64. Sertkaya, A.A., Thermal Conductivity Determination of Almond Shells and Their Design as an Insulation Material (originally in Turkish: Badem Kabuklarının Isıl İletkenliklerinin Tespiti ve Yalıtım Malzemesi Olarak Tasarımı), Scientific Coordinatorship Office of Selçuk University (BAP) (originally: Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü - BAP): Türkiye, 2022.
65. Kuru, M., Determination of temperature based on thermal conductivities of open cell insulation materials by heat flow meter method (in Turkish - Acık hücreli yalıtım malzemelerinin sıcaklığa bağlı ısı iletkenlik katsayılarının ısı akış ölçer yöntemiyle belirlenmesi), *1st International Conference on Engineering Technology and Applied Sciences*, Afyon, Turkey, 333-339, 21-22 April 2016.
66. Dolgun, G.K., Keçebaş, A., Ertürk, M., Daşdemir, A., Life cycle cost assessment for thermal insulation of above-ground spherical container with different capacities in hot fluid storage processes, *Journal of Cleaner Production*, 403, 136875, 2023.
67. Karadayı-usta S., Kadaifci C., An integrated methodology proposal for sustainable fashion: Understanding and examining criteria affecting the second-hand clothes shopping, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 37 (2), 873-888, 2022.
68. Bilen K., Işık B., Dağdır K., Arcaklıoğlu E., Thermodynamic analysis of usage of R134a, R1234yf, R450A, R513A, and R515B in the mechanical vapor compression refrigeration system, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 39 (1), 161-176, 2024.
69. Altun M., Meral Akgül Ç., Akçamete A., Effect of envelope insulation on building heating energy requirement, cost and carbon footprint from a life-cycle perspective, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35 (1), 147-164, 2020.