

Koyun Yünü ve Ahşap Yonga Karışımı ile Üretilmiş Malzemede Yalıtım Özelliklerinin Belirlenmesi

Hasan ŞEN^{1*}  Hamza ÇINAR¹ 

¹ Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Ağaççşleri Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

Article Info

Research article
Received: 14/01/2025
Revision: 13/03/2025
Accepted: 12/04/2025

Keywords

Wood-based panels
Thermal conductivity
Thermal permeability

Makale Bilgisi

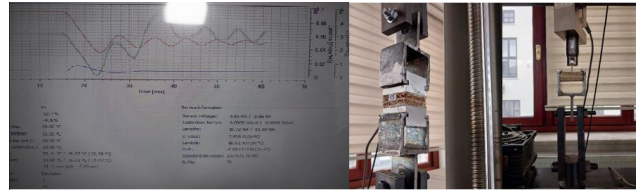
Araştırma makalesi
Başvuru: 14/01/2025
Düzeltilme: 13/03/2025
Kabul: 12/04/2025

Anahtar Kelimeler

Ahşap esaslı levhalar
Isı iletkenliği
Isı geçirgenliği

(Grafik Özet) Graphical/Tabular Abstract

Enerji verimliliği ve çevresel etki değerlendirmelerinin öneminin anlaşıldığı günümüzde ahşap yapı sektöründe petrol türevi yalıtım malzemelerine alternatif koyun yünü ve ahşap yonga karışımı levha üretilerek ısı yalıtım özellikleri ile mekanik dayanım analizleri yapılmıştır. Ulaşılan değerlerde beklendiği gibi ısı iletkenlik katsayısının yoğunluk ve yün oranı ile doğrudan ilişkili olduğu tespit edilmiştir. / In today's world, where the importance of energy efficiency and environmental impact assessments are acknowledged, sheep wool and wood chip mixture boards were produced as an alternative to petroleum-derived insulation materials in the wood construction sector and their thermal insulation properties and mechanical strength were analysed. As expected from the values obtained, the coefficient of thermal conductivity was found to be directly related to the density and wool ratio.



Şekil 1: Isı yalıtım özellikleri ve mekanik testler **Figure 1: Thermal insulation characteristics and mechanical tests**

Önemli noktalar (Highlights)

- Düşük yoğunluktaki levhaların orta yoğunluktaki levhalara göre % 36 oranında daha düşük ısı iletkenlik değerine sahip olduğu belirlenmiştir. / Low density panels were found to have 36 % lower thermal conductivity value than medium density panels.

Aim (Amaç): Ahşap esaslı bir levha üretimi ile kullanım alanlarında ısı yalıtımının sağlanması için geliştirilen levhanın standartlara uygun fiziksel ve mekanik özelliklere sahip olması, ısı yalıtım için hazırlanan malzemenin ısı iletkenlik ve ısı geçirgenlik özelliklerinin tespit edilip sayısal ifadeler ile tanımlanması hedeflenmiştir. / The aim of this study is to ensure that the board developed to provide thermal insulation in the areas of use with the production of a wood-based board has physical and mechanical properties in accordance with the standards, and to determine the thermal conductivity and thermal permeability properties of the material prepared for thermal insulation and to define them with numerical expressions.

Originality (Özgünlük): Levha üretiminde farklı yoğunluk ve yün oranı karışımıyla ısı iletim özelliklerinin iyileştirildiği ve yonga levha inovasyonu ile benzersiz bir çalışmadır. / This research, which is a unique study with chipboard innovation where thermal conductivity characteristics are improved with different density and wool ratio blends in board production.

Results (Bulgular): Düşük yoğunluklu üretilen levhalarda en yüksek (λ) değeri 0.0681 W/m.K ile %0 yün katkılı kontrol grubunda, en düşük değer ise 0.044 W/m.K ile %20 yün katkılı grupta tespit edilmiştir. / The highest (λ) value was 0.0681 W/m.K in the control group with 0% wool blended and the lowest value was 0.044 W/m.K in the group with 20% wool blended.

Conclusion (Sonuç): Bu değerlerin analizi ile %20 yün karışımı grubun, vida tutma ve iç yapışma özelliğinin önemsiz olduğu ahşap karkas içi yalıtım uygulamalarında kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır. / Based on the analysis of these values, it was concluded that the 20% wool blended group can be used in wood carcass insulation applications where screw retention and internal adhesion properties are insignificant.



Koyun Yünü ve Ahşap Yonga Karışımı ile Üretilmiş Malzemede Yalıtım Özelliklerinin Belirlenmesi

Hasan ŞEN^{1*} Hamza ÇINAR¹

¹Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Ağaççışleri Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 14/01/2025
Düzeltilme: 13/03/2025
Kabul: 12/04/2025

Anahtar Kelimeler

Ahşap esaslı levhalar
Isı iletkenliği
Isı geçirgenliği

Öz

Son yıllarda, çevrenin mümkün olan tüm yöntemlerle korunmasına yönelik endişeler giderek artmaktadır. Yapı sektörü en büyük enerji tüketicisi ve atık üreticisi olduğundan, tasarruf için bilimsel araştırmaların ve inovasyon çalışmalarının odağı konumdadır. Bu bağlamda çalışma; yenilenebilir doğal lif olan koyun yünü ve ahşap yonga karışımı ile yeni ısı yalıtım malzemeleri önermektedir. Bu maksatla çalışmada, kontrol grubu örnekler ile ahşap yonga ve yün karışımı (YYK) örnekler ile ara katmanlarda oranları sırasıyla %10, %20 ve %30 olan, düşük ve orta yoğunlukta levhalar üretilmiştir. Hazırlanan deney örneklerinin yoğunlukları TS EN 323 ile ısı iletkenlik ve ısı geçirgenlik katsayıları TS EN 12667, Levha yüzeyine dik çekme direnç hesaplaması TS EN 319, Levha yüzeyine dik yönde vida çekme direnci tayini TS EN 13446 standartlarına uygun olarak tespit edilmiştir. Gruplar arasındaki anlamlı farklılıklar, ortalama değerlerin en küçük anlamlı fark (LSD ve DUNCAN) testi ile karşılaştırılarak incelenmiştir. Sonuç olarak ısı iletkenlik katsayısı; Düşük yoğunluklu grup kendi arasında değerlendirildiğinde en yüksek %0 yün karışımı grupta (0,068 W/m.K), en düşük %20 yün karışımı grupta (0,058 W/m.K) elde edilmiştir. Orta yoğunluklu grup kendi arasında değerlendirildiğinde %0 yün karışımı grupta (0,093 W/m.K), en düşük ise %20 yün karışımı grupta (0,086 W/m.K) elde edilmiştir. Isı geçirgenlik katsayısı; en yüksek orta yoğunluklu %0 yün katkı kontrol grubunda (4,675 W/m².K) en düşük ise düşük yoğunluklu %20 yün karışımı grupta minimum (1,713 W/m².K) değeri elde edilmiştir. Ulaşılan değerlerde beklendiği gibi ısı iletkenlik katsayısının yün oranı ile doğrudan ilişkili olduğu tespit edilmiştir.

Determination of Insulation Characteristics of The Material Produced With a Mixture of Sheep Wool and Wood Chip

Makale Bilgisi

Research article
Received: 14/01/2025
Revision: 13/03/2025
Accepted: 12/04/2025

Anahtar Kelimeler

Wood-based panels
Thermal conductivity
Thermal permeability

Abstract

There has been a growing concern in recent years for protecting the environment by all possible means. The building sector is at the centre of scientific research and innovation efforts for conservation, as it is the largest energy consumer and waste producer. In this context, the study proposes new thermal insulation materials with a mixture of renewable natural fibres, sheep wool and wood chips. For this purpose, low and medium density boards were produced with control group samples and wood chip and wool mixture (YKK) samples with 10%, 20% and 30% respectively in intermediate layers. Densities of the prepared test samples were decided in accordance with TS EN 323, thermal conductivity and thermal permeability coefficients were in accordance with TS EN 12667, tensile strength calculation perpendicular to the board surface was in accordance with TS EN 319, and screw tensile strength estimation perpendicular to the board surface was in accordance with TS EN 13446 standards. Significant differences between the groups were studied by comparing mean values with the least significant difference (LSD and DUNCAN) test. The highest thermal conductivity coefficient was reached in the 0% wool mixture group (0,068 W/m.K) and the lowest was reached in the 20% wool mixture group (0,058 W/m.K) when the low density group was evaluated among themselves. In the medium level density group, the highest of this value was obtained in the 0% wool mixture group (0,093 W/m.K) and the lowest value was reached in the 20% wool mixture group (0,086 W/m.K). The highest thermal permeability coefficient was recorded in the control group with medium density 0% wool mixture (4,675 W/m².K) and the lowest value (1,713 W/m².K) was recorded in the low density 20% wool mixture group. As expected from these values, the thermal conductivity coefficient is directly related to the wool ratio.

1. INTRODUCTION (GİRİŞ)

Ahşap, barınma ihtiyacını karşılamak için sağlamlık, işlenebilirlik, fonksiyonellik ve ulaşılabilirlik özellikleri sebebiyle ev yapımında tercih edilen bir yapı malzemesidir[1]. Dünya genelinde birçok ülkede ahşap ve çelik karkas ev yapımı mevcut olmakla birlikte tarihi Osmanlı evleri, avluları ve bahçe kullanımlarıyla yatay mimari örnekleri olmuştur. Günümüz yapı stoğunun ise betonarme ile dikey mimari tercihi sebebiyle depremde hasar görme riski vardır. Bu durumun tespiti ve çözüm önerilerini içeren, yatay mimariye geçilmesi için başlatılan çalışmalar hakkındaki araştırmalarında Bıçkıcı ve Kırkan (2022)'ye göre; dikey mimari ile oluşturulan yapı stokunun depreme dayanıklı üretimi için yüksek yapım maliyeti ve gelişmiş teknolojik ürünlerin kullanımı gerekmektedir. Bu bakış açısı ile yatay mimari ile maliyet etkin binalar ve kentsel direnci artırılmış yapı stoğu oluşumu sağlanabilir[2]. Yatay mimari denildiğinde ahşap ve çelik yapılar ile bahçeli evler akla gelmektedir. Türkiye'de ahşap ev yapımında kullanılacak teknoloji ve laminasyon yöntemleri ile ahşap karkas yapıların oluşturulması için birleştirme teknikleri uygulanmaktadır. Karkas yapının kaplanması ve ısı yalıtımı sağlanması aşamasında yoğun işçilik ve ahşap malzeme kullanılması yapının maliyetini arttırmaktadır. Bu durumu tersine çevirerek yapı sektöründe ahşap ev kullanımının artırılması için yapım maliyetlerinin düşürülmesine ihtiyaç vardır. Kullanılan malzeme ahşap esaslı yonga levha olduğunda maliyet etkin bir çalışma ile gereksiz kaynak kullanılmaması sonucu düşük maliyetli ahşap ev üretimi sağlanabilir. Ahşap esaslı levhaların üretim sebebi farklı teknik ve teknolojik yöntemlerle gerekli şartlara uygun maliyet etkin olarak üretilmesidir[3]. Mobilya sektörünün temel bileşenlerinden ve yarı mamul hammaddelerinden olan MDF, yonga levha, kontrplak ve OSB gibi levhaların, yalıtım malzemesi olarak kullanılabilmesi ise ısı iletkenlik değerlerinin iyileştirilmesi ile mümkündür. Uluslararası Standartlar Örgütü (ISO) ve Avrupa Standardizasyon Komitesi (CEN) tarafından belirlenen tanımlamalara göre, 0,065 W/mK değerinin altında kalan malzemeler "ısı yalıtım malzemesi" olarak adlandırılırken, bu değer üzerinde kalan malzemeler "yapı malzemesi" olarak sınıflandırılmaktadır[4]. Şahin, 2018'e göre bu levhaların mevcut üretim değerleri ölçülmüş sırasıyla ortalama(0.099-0.097-0.101-0.085 W/m.K)değerleri tespit edilmiştir[5]. İlgili standarda göre bu levhalar yalıtım malzemesi sınıfında değildir. Enerjinin etkin bir şekilde kullanılmaması, hem enerji israfını ve ithalatı artırmakta hem de çevre kirliliğine yol

açmaktadır[6]. Ahşap yapıların imalatında kullanılacak, düşük maliyetli ve enerji tüketimini azaltacak düşük ısı iletkenlik değerlerine sahip malzemelerin geliştirilmesi gerekmektedir. Ahşap yapı kullanımı için yıllar süren tanıtım ve pazarlama stratejileri ile ahşap ev yapımında gelişme sağlansa da yapı stoğu betonarme yoğunluklu oluşmaktadır. Teknik ve teknolojik gelişmelerin sektörde kullanımı ile inovasyon çalışmaları akademik düzeyde araştırmalar ile desteklenmelidir. Farklı kompozit malzemelerin üretimi ile enerji kaynaklarının etkin kullanılmasına ve dünya pazarlarına yenilik sunulmasına ihtiyaç vardır. Mobilya üretimi için kullanılan yonga levha endüstrisinde, ısı iletkenliği düşük doğal ürünler ile yalıtım malzemesi olarak kullanılabilecek levhalar üretilmelidir. Zamanla birçok araştırmacı inşaat sektörünü, ilgili değerlendirmeler yaparak incelemeye yönelik çalışmalar yapmıştır. Bu kapsamda yapılan bir çalışmada, kumaş atıklarından üretilen ahşap esaslı malzeme binaların ısı yalıtımını arttırmak için dış duvarda kullanılmıştır. Atık kumaşların duvarın ısı iletkenliği direncini %56 oranında artırdığı tespit edilmiştir[7]. Martin Volf vd. 2015' te yapılan çalışmada doğal elyaf bazlı ısı yalıtım ürünlerinin ısı yalıtım malzemesi olarak kullanıldığı mineral yünlerin ısı iletkenliğinin daha düşük olduğunu tespit etmiştir. Ancak ısı tutma kapasitesi olarak koyun yününün mineral yünden %11 daha yüksek olduğu belirtilmiştir[8]. Ahşap yapı yalıtım sektöründe ise ahşap karkas içine doğal lifler, cam ve taş yünü, koyunyünü ile kaplama yöntemleri kullanılmaktadır. Polat 2017'ye göre koyun yününde insan sağlığına zararlı hiçbir özellik yoktur. Doğallığı sayesinde yaşam döngüsü değerlendirmelerinde çevresel etki bakımından zararsız kabul edilmektedir. 2017 yılı verilerine göre 30 milyon koyundan 60 bin ton yapağı üretimi yapılmaktadır. Yün karışımı ürünlerin yalıtım amaçlı kullanılabileceği belirtilmektedir[9]. Ancak bu yalıtım malzemeleri doğrudan levha olarak değil rulo halinde karkas arası serilerek kullanılmaktadır. Bu durum emek yoğun yapı sektörüne maliyet artırıcı etkisi bilinmektedir. Isı yalıtımı yapılmayan bina yoğunluğunun enerji tüketimini 5 kat artırdığı söylenebilir[10]. Yalıtım sektöründe kullanılan yapı malzemeleri levha halinde kullanımı montaj kolaylığı sebebiyle tercih edilmektedir. Doğal, ısı iletkenliği düşük ve kullanımı mümkün olarak gösterilen koyunyünü ile yeterli düzeyde ısı yalıtımı sağlayan, fiziksel dayanımı yüksek doğal malzemelerden ısı yalıtım levhası üretilebilir. Bu bakış açısı ile çalışmanın amacı, kontrol grubu örnekler ile ahşap yonga ve yün karışımı (YYK) örneklerde ara katmanlarda oranları sırasıyla %10, %20 ve %30 olan, düşük ve orta yoğunlukta

levhalar üretilerek en uygun ısı iletim katsayısına ve teknik özelliklere sahip olan karışımın belirlenmesidir.

2. MATERIALS AND METHODS (MATERYAL VE METOD)

2.1. Deneysel Ekipman (Experimental Equipment)

2.2. YYK levha üretiminde kullanılan yongalar, Kastamonu Entegre yonga levha üretim fabrikası depolama tesisinden temin edilmiş olup, %1,5-3 rutubettedir. Orta tabakada kullanılan yongalardan kullanılmıştır. Uygulama için temin edilen yongaların %50'si karaçam (Pinus Nigra Arnold), %25'i kayın (Fagus Oryantalıs Lipsyk) ve %25'i ise piyasa talaşı karışımından oluştuğu yetkili tarafından belirtilmiştir. Üretimde kullanılan üre formaldehit (ÜF) tutkalının katı madde içeriği %55'tir ve bu tutkal, tam kuru yonga ağırlığına göre %15 oranında karışıma püskürtme yöntemi ile uygulanmıştır. Diğer katkı maddesi olarak %0-10-20-30 oranlarında kullanılan koyun yünü yıkanmış ve taranmış olarak kullanılmıştır. Ayrıca, tutkal katı madde oranına göre %0,6 oranında sertleştirici (amonyum sülfat) eklenmiştir.

Araştırma kapsamında planlanan fiziksel, mekanik ve yalıtım ile ilgili testlerde kullanılan, koyunyünü ile ahşap yongaları, İki farklı yoğunlukta ve üç farklı oranda karıştırılarak 50x50 cm ölçülerinde Her grup için 5 adet olmak üzere toplam 6 grup halinde 18 mm kalınlığında 30 adet levha üretilmiştir.

Yonga levhalar yoğunluğuna göre (ANSI A 208-1) Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Yoğunluğuna göre yonga levhalar[11] (Particleboards according to density)

1. Düşük yoğunluktaki yonga levhalar(DYL)	0.64 g/cm ³ 'ten daha düşük
2. Orta yoğunluktaki yonga levhalar(OYL)	0.64-0.80g/cm ³ arasındaki
3. Yüksek yoğunluktaki yonga levhalar(YYL)	0.80 g/cm ³ 'ten yüksek

Levhaların hammadde yüzdeleri ve üretim şartları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Levhaların hammadde yüzdeleri ve üretim şartları (Raw material percentages and production conditions of the boards)

Yoğunluk	Yün Oranı (%)	Yonga Oranı (%)	Pres	
			Basıncı (N/mm ²)	Süresi (dk)
DYL	0	100	4	18
DYL	10	90	4	18
DYL	20	80	4	18
DYL	30	70	4	18
OYL	0	100	4	18
OYL	10	90	4	18
OYL	20	80	4	18

DYL: Düşük Yoğunluklu Levha OYL: Orta Yoğunluklu Levha

Üretilen ahşap esaslı levhalar kontrol grubu numunelerde tek katman halinde ve üç katmanda ise %10-20-30 oranında ilk katman yonga, ikinci katman yün ve üst katman yonga olacak şekilde preslenmiştir. Yonga yün karışımı levhalar yüksek sıcaklık (150 ± 10 °C) ve basınç (4 n/mm^2) altında 18 dk. Süre ile preslendikten sonra düzlemsel formunu korumak için soğuk preste 24 saat bekletilerek hazırlanmıştır. Bütün levha çeşitleri için aynı pres şartları uygulanmış ve Resim 1.'de verilen özelliklerdeki test numuneleri elde edilmiştir.



Resim 1. Farklı yoğunluk ve yün karışımı numuneler (Samples with different density and wool blends)

Elde edilen deney levhalarının fiziksel ve mekanik özelliklerinin tespiti için standartlar Tablo 3' te verilmiştir.

Tablo 3. Levha özelliklerinin tespiti için standartlar
(Standards for determining plate properties)

Birim hacim ağırlık tayini	TS EN-323
Isı İletim Katsayıları	TS EN 12667
Levha yüzeyine dik çekme direnç hesaplaması	TS EN 319
Levha yüzeyine dik yönde vida çekme direnci tayini	TS EN 13446

2.3. Deney tasarımı (Experimental design)

2.2.1. Yoğunluk tayini

Ağırlık ölçümleri yoğunluk hesabı için TS EN 323'e göre 24 saat aralıkla yapılmış olup, son iki ölçüm sonucu ağırlık farklarının deney numunesi ağırlığının % 0,1'inden fazla olmadığı durumundaki ağırlık değerleri sabit ağırlık değeri olarak kabul edilmiştir[12].

2.2.2. Isı iletkenlik ve ısı geçirgenlik tayini

Ahşap yonga yün karışımı TS EN 12667 (2003) esaslarına göre hazırlanmıştır[13]. Her bir tip için 300x300 mm ölçülerinde 5'er adet olmak üzere toplam 30 (6x5) adet örnek hazırlanmıştır. Üretilen levha örnekleri, 20 °C sıcaklık ve % 65 bağıl nem koşullarında iklimlendirme odasında sabit ağırlığa ulaşana kadar bekletilmiştir. Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde bulunan test laboratuvarındaki Linseis HFM 300 test cihazı ile ısı iletim katsayıları belirlenmiştir.

2.2.3. Levha yüzeyine dik çekme direnci tayini

Levha yüzeyine dik çekme direnç hesaplaması, TS EN 319 (1999)' da belirtilen esaslara göre yapılmıştır. Örnekler, test için özel hazırlanan kavramalı ahşap aparatlar vasıtasıyla universal test cihazına bağlanmıştır. Cihaza bağlanan örneklerde direnç, 2 mm/dk.' lık sabit çekme kuvvetinin uygulanmaya başlanmasından kopma anındaki en büyük kuvvete kadar tespiti yapılmıştır. Test için hazırlanan düzenek Resim 2.'de verilmiştir.

**Resim 2.** Deney örneklerinin universal test cihazındaki durumu (Condition of test samples in universal testing machine)

Örneklerin levha yüzeyine dik yönde çekme direnç değerleri TS EN 319, (1999)'a göre hesaplanmıştır.

Isı yalıtım levhası statüsü kazanabilecek düşük ve orta yoğunluktaki levhalar üzerinde çalışılmış düşük yoğunluklu levhalarda %30 yün karışımı 270,98kg/m³ yoğunluktaki levhadan alınan örnekler üzerinde yapılan levha yüzeyine dik yönde çekme direnç tayini testlerinde gerekli dayanımı gösteremeyen levhada yün yonga ve tutkal karışımında başarısız olduğu tespit edilmiştir. Yün ağırlıkça %30 olduğunda yapışma sürecini etkileyerek tutkalın yeterli gelmediği belirlenmiş ve bu grup analiz dışı bırakılmıştır.

2.2.4. Levha yüzeyine dik yönde vida çekme direnci tayini

Vida tutma direnci, TS EN 13446 (2005)' de belirtilmiş olan esaslara göre yapılmıştır. Levha yüzeyine dik olarak yapılan vida çekme testinde, boyun çapı 4 mm, diş dibi çapı 2,4 mm, diş adımı 1,8 mm, uzunluğu 50 mm olan tam boy dişli ve yıldız başlı, düşük karbon esaslı çelikten üretilmiş vidalar kullanılmıştır. Örnekler deney cihazına bağlandıktan sonra, 2 mm/dk.'lık sabit hızla yüzeye dik olacak şekilde çekme kuvveti uygulanmış, çekme anındaki en büyük kuvvet tespiti yapılmıştır. Test için hazırlanan düzenek Resim 3'te verilmiştir.

**Resim 3.** Levha yüzeyine dik vida çekmede kullanılan deney örnekleri ve kalıp (Test samples and molds used in pulling screws perpendicular to the plate surface)

3. BULGULAR (RESULTS)

3.1. Yoğunluk

Ahşap esaslı levha örneklerinin hava kuru yoğunlukları için ortalama değerleri Tablo 4.'te verilmiştir.

Tablo 4. Yoğunluk ortalama değerleri (Density average values)

Levha Tipi	Yoğunluk	Yün Oranı	x	s
T1		%0	0,446	0,044
T2	DY	%10	0,442	0,117
T3		%20	0,477	0,066
T4		%0	0,669	0,050
T5	OY	%10	0,659	0,027
T6		%20	0,687	0,028

x: Aritmetik ortalama s: Standart sapma DY: Düşük Yoğunluk OY: Orta Yoğunluk

Hava kuru yoğunluk değeri ortalaması en yüksek T6 tipi levhalarda (0,687 g/cm³), en düşük ise T2 türü levhalarda (0,442 g/cm³) elde edilmiştir. Orta yoğunlukta hazırlanan levhaların hava kuru yoğunluğu düşük yoğunluklu levhalardan yüksektir. Levhaların hazırlık amacına uygun değerlere yakın üretildiği görülmektedir.

3.2. Isı İletkenlik ve Isı Geçirgenlik Katsayısı

3.2.1. Isı İletkenlik katsayısı (λ)

Ticari olarak temin edilen yonga karışımı ile yıkanmış taranmış olarak temin edilen yün karışımı levhaların TS EN 323 (1999) standartlarına uygun olarak gerçekleştirilen yoğunluk belirleme testinin sonuçlarına göre; DY'taki levhaların hava kuru yoğunluk ortalaması 0.45 g/cm³, OY'taki levhaların hava kuru yoğunluk ortalaması 0.67 g/cm³ olduğu görülmüştür. Bu yoğunluğa sahip olan levhaların ısı

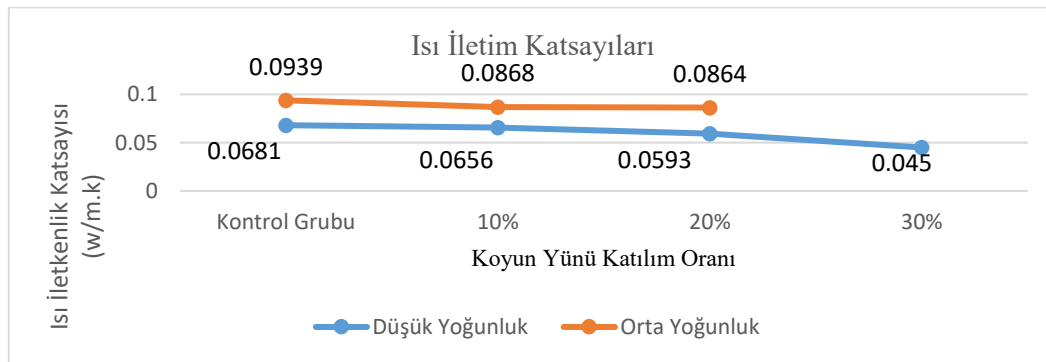
iletim katsayılarına dair istatistiksel bulgular Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Ahşap yonga yün karışımı levhalara ait ısı iletim katsayısı (λ) değerlerine dair istatistiksel bulgular (Statistical findings on the thermal conductivity coefficient (λ) values of wood chip wool blended panels)

Levha Tipi	Yoğunluk	Yün Oranı	Yoğunluk Ortalama (kg/m ³)	Isı İletkenlik (λ)			Std.sp.
				Ortalama (W/m.K)	Min (W/m.K)	Max (W/m.K)	
T1	Düşük Yoğunluk	Kontrol	446,28	0,0681	0,0577	0,0738	0,007
T2		%10	442,17	0,0656	0,0469	0,0743	0,011
T3		%20	477,90	0,0587	0,0446	0,0761	0,013
		%30	270,98	0,0450	-	-	-
T4	Orta Yoğunluk	Kontrol	669,11	0,0939	0,0888	0,0999	0,004
T5		%10	659,14	0,0864	0,0816	0,0930	0,004
T6		%20	687,33	0,0864	0,0839	0,0881	0,003

Yoğunluk ve yün karışımı oranlarının levha ısı iletimliliğine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($\alpha=0,05$). Kullanılan malzeme türleri arasındaki karşılaştırma sonuçları LSD testi ile elde edilmiş olup, Şekil 2.1'de sunulmuştur.

Farklı karışım oranlarına sahip yün yonga karışımı levhalara ait ısı iletim katsayısı grafiği Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Yün yonga karışımı levhalara ait ısı iletim katsayısı grafiği (Thermal conductivity coefficient graph of wool chip blend boards)

Düşük yoğunluklu üretilen levhalarda en yüksek (λ) değeri 0.0681 W/m.K ile %0 yün katkılı kontrol grubunda, en düşük değer ise 0.045 W/m.K ile %30 yün katkılı grupta tespit edilmiştir.

3.2.2. Isı Geçirgenlik Katsayısı (U)

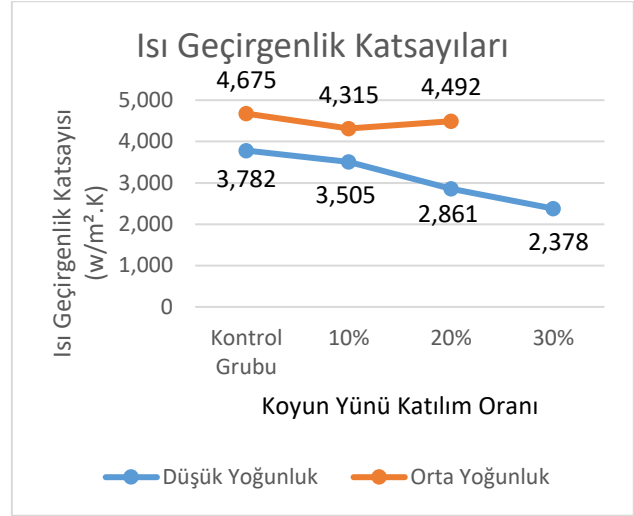
Deney örneklerinin ısı geçirgenlik katsayıları Tablo 6'da sunulmuştur.

Tablo 6. Deney örneklerinin ısı geçirgenlik katsayısı (Heat permeability coefficient of test samples)

Yoğunluk	Yün Oranı	Yoğunluk Ortalama (kg/m ³)	Isı Geçirgenlik (U)			
			Ortalama (W/m ² .K)	Min (W/m ² .K)	Max (W/m ² .K)	Std.sp.
DY	Kontrol	446,28	3.782	3.027	4.357	0,241
	%10	442,17	3.505	2.475	3.984	0,621
	%20	477,90	2.861	1.713	4.100	1,005
	%30	270,98	2.378	-	-	-
OY	Kontrol	669,11	4.675	4.364	5.284	0,397
	%10	659,14	4.315	3.954	4.720	0,289
	%20	687,33	4.492	4.298	4.686	0,144

Isı geçirgenlik katsayısının levha tipine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($\alpha=0,05$).

Kullanılan malzeme türleri arasındaki karşılaştırma sonuçları LSD testi ile elde edilmiş olup, Şekil 2'de sunulmuştur.



Şekil 2. Levha tipinin ısı geçirgenlik katsayısına etkisine ilişkin LSD testi sonuçları (LSD test results regarding the effect of board type on heat transfer coefficient)

Isı geçirgenlik katsayısı en yüksek T4 tipi levhalarda (Orta yoğunluk kontrol grubu) 4.657W/m².K, en düşük ise T3 tipi levhalarda (Düşük yoğunluk %20 yün karışımı) 2.861 W/m².K elde edilmiştir. TS 825 Isı Yalıtım Kuralları standardında yeni yapılar için önerilen U= 2,4 W/m².K değerinin altında minimum 1.713 W/m².K'dır.

3.2.3. Yoğunluk ve Yün Oranının Isı İletkenliğine Etkisi

Ahşap yonga yün karışımı levhaların ısı iletim deneyleri sonucu elde edilen yoğunluk ve yün oranı etkilerine ilişkin varyans analizi sonuçları Tablo 7'de sunulmuştur. Metod kısmında da açıklandığı üzere %30 yün karışımı grup analize alınmamıştır.

Tablo 7. Ahşap yonga yün karışımı levhaların ısı iletim katsayılarına ait çoklu varyans analiz sonucu (Multivariate analysis results of heat transfer coefficients of wood chip wool blended boards)

Varyans Kaynağı	S D	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	Anlamlılık Düzeyi P<0.05
Yoğunluk	1	4228.807	4228.807	178.6105	0.0000*
Yün Oranı	2	419.938	209.969	8.8684	0.0017*
Yoğunluk-Yün Oranı	2	59.622	29.811	1.2591	0.3055
HATA	20	473.523	23.676		
TOPLAM	29	6362.194			

*: Anlamlı, SD: Serbestlik derecesi

Üretilen plaka tiplerinden düşük yoğunluktaki deney örnekleri düşük ısı iletim katsayısı değerleri vermişlerdir. En yüksek ısı iletim katsayısı ise orta yoğunlukta T4 kontrol grubu numunesi örneklerinden elde edilmiştir. Tablo 7'deki çoklu varyans analizine göre yonga yün karışımı panellerde yoğunluk ve yün oranının ısı iletim katsayısına olan etkileri ($p \leq 0.05$) istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Bu iki faktörün ikili etkileşimi istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Etkileri anlamlı olan faktörlerin grupları arasındaki farklılıkları belirlemek için Duncan testi uygulanmıştır. Yoğunluk oranına göre levha ısı iletim katsayısına ait homojenlik grubu Tablo 8'de sunulmuştur.

Tablo 8. Panellerin yoğunluk oranına göre ısı iletim katsayısına ait homojenlik grupları (Homogeneity groups of thermal conductivity coefficient according to density ratio of panels)

Yoğunluk Etkisi	N	Isı İletkenlik (W/m.K)	
		X	HG
Düşük Yoğunluk	15	65.07	A
Orta Yoğunluk	15	88.81	B
LSD: 3.634			

HG: Homojenlik grubu; N: Numune Sayısı
Tablo 8'e göre levha ısı iletim katsayısı; panellerin yoğunluk değişimine göre farklı olduğu tespit

edilmiştir. Panellerde yoğunluk ile ısı iletim katsayısı arasında doğru orantı olduğu söylenebilir. Yün oranına göre levha ısı iletim katsayısına ait homojenlik grubu Tablo 9.'da verilmiştir.

Tablo 9. Panellerin yün oranına göre ısı iletim katsayısına ait homojenlik grupları (Homogeneity groups of thermal conductivity coefficient according to wool ratio of panels)

Yün Oranı	N	Isı İletkenlik (W/m.K)	
		X	HG
% 0 (Kontrol Grubu)	10	81.97	A
%10	10	75.85	B
%20	10	73.00	B
LSD: 4.451			

Tablo 9'a göre levha ısı iletim katsayısının panellerin yün karışımı oranlarına göre farklı olduğu tespit edilmiştir. Panellerde yün oranı ile ısı iletim katsayısı arasında ters orantı olduğu söylenebilir. %20 yün karışımında ısı iletim katsayısının %12 oranında düştüğü görülmektedir. %10'luk karışımında kontrol grubu numunelerinden anlamlı düzeyde ayrıştığı söylenebilir.

3.3. Levha yüzeyine dik çekme direnç tayini

Yoğunluk değişimi ve yün oranına göre oluşan levhanın yüzeyine dik çekme direncine ilişkin değerler Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10. Yoğunluk değişimi ve yün oranına göre oluşan levhanın yüzeyine dik çekme direnç özellikleri (Tensile strength properties perpendicular to the surface of the formed board depending on density change and wool ratio)

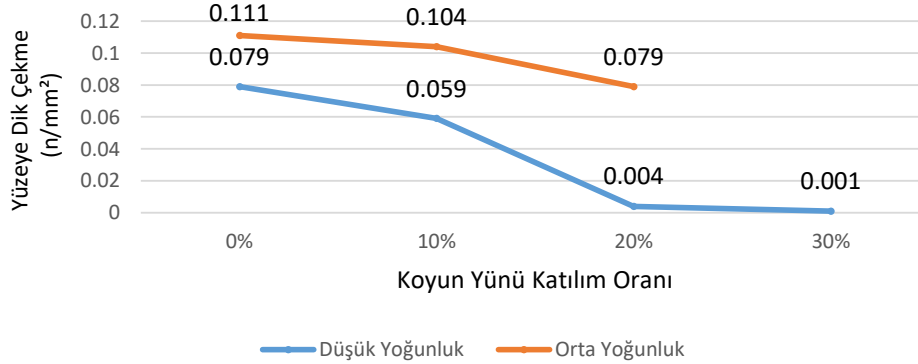
Yoğunluk	Yün Miktarı(%)	Levha yüzeyine Dik Çekme Direnci (N/mm ²)			
		Xmin	Xmax	Xort	ss
Düşük Yoğunluk	0	0,039	0,149	0,079	0,040
	10	0,047	0,078	0,059	0,009
	20	-	0,012	0,004	0,004
	30	-	0,008	0,001	0,002
Orta Yoğunluk	0	0,071	0,149	0,111	0,022
	10	0,039	0,192	0,104	0,059
	20	0,051	0,106	0,079	0,020

Levha örneklerinde levha yüzeyine dik çekme direnç değeri; en düşük %20 ve %30 yün katkılı grupta çekme direnci tespit edilemeyecek kadar düşük numunelerin olduğu, en yüksek 0,192 N/mm² ile %10 yün katkılı orta yoğunlukta levha grubunda olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuca en yakın değer 0,149 N/mm² ile %0 yün katkılı orta yoğunluktaki

levhalarda tespit edilmiştir. Düşük yoğunluktaki levhalar kendi aralarında değerlendirildiğinde; en düşük %30 yün katkılı grup iç yapışma dayanımı hususunda yeterli görülmemiş ve bu grup analiz dışı bırakılmıştır. Orta yoğunluktaki levhalar kendi aralarında değerlendirildiğinde; en düşük 0,039 N/mm² ile %10 yün katkılı grupta, en yüksek 0,192

N/mm² ile %10 yün katkılı grupta olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun ortalama değerlerde farklılaştığı sırasıyla %0, %10 ve %20 yün katkılı grubun yapışma direncinin 0,111, 0,104 ve 0,079 N/mm² olduğu ve yün oranı arttıkça yapışma

direncinin azaldığı tespit edilmiştir. Yoğunluk değişimi ve yün oranına göre oluşan levhanın yüzeyine dik çekme direnç özelliklerine ilişkin değerleri Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Yoğunluk değişimi ve yün oranına göre oluşan levhanın yüzeyine dik çekme direnç özelliklerine ilişkin değerler (Values related to the tensile strength properties perpendicular to the surface of the formed board according to density change and wool ratio)

Tablo 11. Yoğunluk değişimi ve yün oranına göre yüzeyine dik çekme direncine ait çoklu varyans analizi (Multiple variance analysis of tensile strength perpendicular to the surface according to density change and wool ratio)

Varyan s Kaynağ	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Ortalama Kareler	F Değeri	p<0,05
1					
Yoğunluk (A)	1	0,038	0,038	41.526	0.0000
Yün Oranı (B)	2	0.031	0.016	16.8454	0.0000
AxB	2	0.005	0.002	2.5245	0.0914
Hata	45	0.042	0.001		
Toplam	59	0.131			

Yoğunluk değişimi ve yün oranına göre levhaların yüzeyine dik çekme direncine ait çoklu varyans analizi Tablo 11'de verilmiştir. Yoğunluk değişimi ve yün oranına göre levhaların yüzeyine dik çekme direncine ait çoklu varyans analizlerinde; Yoğunluk (A), Yün

Oranı(B) değerlerinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür ($p \leq 0,05$). Yoğunluk değişimine göre levhanın yüzeyine dik çekme direncine ait homojenlik grupları Tablo 12'de verilmiştir.

Tablo 12. Yoğunluk değişimine göre levhaların yüzeyine dik çekme direncine ait homojenlik grupları (Homogeneity groups of tensile strength perpendicular to the surface of the plates according to density change)

Levha Yüzeyine Dik Çekme Direnci (N/mm ²)		
Yoğunluk Değişimi (A)	X (N/mm ²)	HG
Düşük Yoğunluk	0.047	A
Orta Yoğunluk	0.098	B
LSD: 0.01634		

Yoğunluk değişimine göre levhaların yüzeyine dik çekme direnci ortalama değeri; en yüksek 0,098 N/mm² ile orta yoğunlukta üretilen levhalarda, en düşük 0,047 N/mm² ile düşük yoğunlukta üretilen levhalardan elde edilmiştir. Ayrıca yoğunluğuna göre, homojenlik gruplarına bakıldığında; Düşük ve Orta yoğunlukta üretilen gruplar arasında anlamlı farklılık olduğu farklı homojenlik gruplarında olduğu tespit edilmiştir. Yün oranına göre levhaların, yüzeyine dik çekme direnç değerlerine ait homojenlik grupları Tablo 13'te verilmiştir.

Tablo 13. Yün oranı değişimine göre levhaların yüzeyine dik çekme direncine ait homojenlik grupları (Homogeneity groups of tensile strength perpendicular to the surface of the boards according to the change of wool ratio)

Levha Yüzeyine Dik Çekme Direnci (N/mm ²)		
Yün Oranı (B)	X (N/mm ²)	HG
0	0.095	A
10	0.081	A
20	0.042	B
LSD: 0,02001		

Yün oranı bakımından levhanın yüzeyine dik çekme direnci ortalama değeri; en yüksek 0,095 N/mm² ile %0 yün karışımı levhalarda, en düşük 0,042 N/mm² ile %20 yün karışımı levhalarda elde edilmiştir. Ayrıca kullanılan yün oranına göre homojenlik gruplarına bakıldığında; %20 yün katkılı levhalar farklı homojenlik grubunda (B) yer alırken, %0 ve %10 yün katkılı levhalar aynı grupta yer almaktadır.

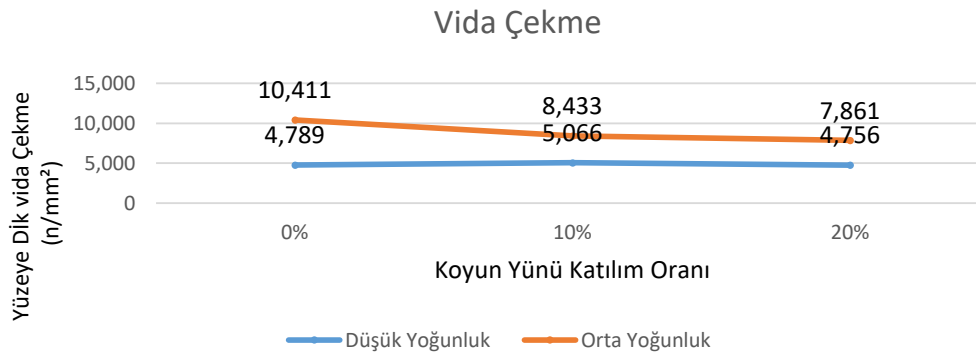
3.4. Levha yüzeyine dik yönde vida çekme direnci tayini

Yoğunluk değişimi ve yün oranına göre levhaların yüzeyine dik vida çekme direncine ilişkin değerler Tablo 14'te verilmiştir.

Tablo 14. Yoğunluk değişimi ve yün oranına göre levhaların yüzeyine dik vida çekme direnç değerleri (Screw pull resistance values perpendicular to the surface of the boards according to density change and wool ratio)

Yoğunluk	Yün Miktarı (%)	Levha yüzeyine Dik Vida Çekme Direnci (N/mm ²)			
		X _{min}	X _{max}	X _{ort}	ss
Düşük Yoğunluk	0	3,759	6,211	4,789	0,762
	10	2,779	6,865	5,066	1,380
	20	1,961	6,538	4,756	1,649
Orta Yoğunluk	0	8,499	12,585	10,411	1,203
	10	5,067	12,422	8,433	2,580
	20	5,394	9,643	7,861	1,359

Levha örneklerinde levha yüzeyine dik vida çekme direnç değeri; en düşük 1,961 N/mm² ile düşük yoğunluklu %20 yün katkılı grupta, en yüksek 12,585 ile Orta yoğunlukta %0 yün katkılı grupta olduğu tespit edilmiştir. Düşük yoğunluklu levhalar kendi arasında değerlendirildiğinde; en düşük 1,961 N/mm² ile %20 yün katkılı grupta, en yüksek 6,865 N/mm² değer ile %10 yün katkılı kontrol grubu levhalarda olduğu tespit edilmiştir. Orta yoğunlukta üretilen levhalar kendi arasında değerlendirildiğinde; en düşük 5,067 N/mm² ile %10 yün katkılı grupta, en yüksek 12,585 N/mm² ile %0 yün katkılı levha grubunda olduğu tespit edilmiştir. Yoğunluk değişimi ve yün oranına göre levhaların yüzeyine dik vida çekme direnç değerlerine ilişkin değerleri Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Yoğunluk değişimi ve yün oranına göre levhaların yüzeyine dik vida çekme direnç değerleri (Screw pull resistance values perpendicular to the surface of the boards according to density change and wool ratio)

Yoğunluk değişimi ve yün oranına göre levhaların yüzeyine dik vida çekme direncine ait çoklu varyans analizi Tablo 15'te verilmiştir.

Tablo 15. Yoğunluk değişimi ve yün oranına göre levhaların yüzeyine dik vida çekme direncine ait çoklu varyans analizi (Multiple variance analysis of screw pull resistance perpendicular to the surface of the boards according to density change and wool ratio)

Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Ortalama Kareler	F Değeri	p<0,05
Yoğunluk (A)	1	243.799	243.799	90.019	0.000
Yün Oranı (B)	2	17.231	8.615	3.181	0.051
AxB	2	19.148	9.574	3.535	0.037
Hata	45	121.873	2.708		
Toplam	59	416.689			

Yoğunluk değişimi ve yün oranına göre levhaların yüzeyine dik vida çekme direncine ait çoklu varyans analizlerinde; Yoğunluk (A), Yün Oranı(B) değerlerinin ve bunların ikili etkileşimi olan (AxB) değerlerinin istatistiksel

olarak anlamlı olduğu görülmüştür ($p \leq 0,05$). Yoğunluk değişimine göre levhanın yüzeyine dik vida çekme direncine ait homojenlik grupları Tablo 16'da verilmiştir.

Tablo 16. Yoğunluk değişimine göre levhaların yüzeyine dik vida çekme direncine ait homojenlik grupları (Homogeneity groups of screw pull resistance perpendicular to the surface of the boards according to density change)

Levha yüzeyine Dik Vida Çekme Direnci (N/mm ²)		
Yoğunluk Değişimi (A)	X (N/mm ²)	HG
Düşük Yoğunluk	4,871	B
Orta Yoğunluk	8,902	A
LSD:0,8502		

Yoğunluk değişimine göre levhaların yüzeyine dik vida çekme direnci ortalama değeri; en yüksek 8,902 N/mm² ile orta yoğunlukta üretilen levhalarda, en düşük 4,871 N/mm² ile düşük yoğunlukta üretilen levhalardan elde edilmiştir. Ayrıca yoğunluğuna göre, homojenlik gruplarına bakıldığında; Düşük ve Orta yoğunlukta üretilen gruplar arasında anlamlı farklılık olduğu farklı homojenlik gruplarında olduğu tespit edilmiştir.

Yün oranına göre levhaların, yüzeyine dik vida çekme direnç değerlerine ait homojenlik grupları Tablo 17'de verilmiştir.

Tablo 17. Yün oranı değişimine göre levhaların yüzeyine dik vida çekme direncine ait homojenlik grupları (Homogeneity groups of screw pull resistance perpendicular to the surface of the boards according to the change of wool ratio)

Yün Oranı (B)	Levha yüzeyine Dik Vida Çekme Direnci (N/mm ²)	
	X (N/mm ²)	HG
0	7,600	A
10	6,750	AB
20	6,309	B
LSD: 1,041		

Yün oranı bakımından levhanın yüzeyine dik vida çekme direnci ortalama değeri; en yüksek 7,600 N/mm² ile %0 katkılı levhalarda, en düşük 6,309 N/mm² ile %20 yün karışımı levhalarda elde edilmiştir. Ayrıca kullanılan yün oranına göre homojenlik gruplarına bakıldığında; %20 yün katkılı levhalar farklı homojenlik grubunda (B) yer alırken, %10 yün katkılı levhalar AB grubunda yer almaktadır. Yoğunluk değişimi ve yün oranına göre levhanın yüzeyine dik vida çekme direnç değerleri ve homojenlik grupları Tablo 18'de verilmiştir.

Tablo 18. Yoğunluk değişimi ve yün oranına göre levhanın yüzeyine dik vida çekme direnç değerleri ve homojenlik grupları (Screw pull resistance values and homogeneity groups perpendicular to the surface of the board according to density change and wool ratio)

Yoğunluk ve Yün Oranı Karışımı (AxB)	X (N/mm ²)	HG
DY %0 Yün Karışımı	4,789	C
DY %10 Yün Karışımı	5,067	C
DY%20 Yün Karışımı	4,756	C
OY %0 Yün Karışımı	10,41	A
OY %10 Yün Karışımı	8,434	B
OY %20 Yün Karışımı	7,862	B
LSD: 1,473		

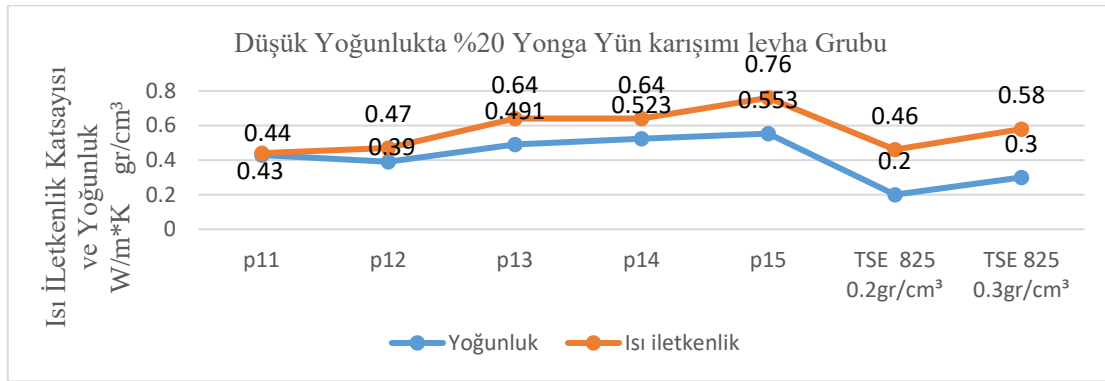
Kullanılan yün oranı ve yoğunluk değişimine göre levhanın yüzeyine dik vida çekme direnci ortalama değeri; en yüksek 10,41 N/mm² ile Orta yoğunluklu %0 yün katkılı grupta, en düşük 4,756 N/mm² ile Düşük yoğunluklu %20 yün

katkılı levhalarda elde edilmiştir. Düşük yoğunlukta üretilen levhaların levha yüzeyine dik vida çekme direnci ortalama değerlerinde; en yüksek 5,067 N/mm² ile %10 yün katkılı levha grubunda, en düşük 4,756 N/mm² ile %20 yün katkılı levha grubunda olduğu tespit edilmiştir. Orta yoğunlukta üretilen levhalara bakıldığında; en yüksek 10,41 N/mm² ile %0 yün katkılı kontrol grubu levhalarda, en düşük 7,862 N/mm² ile %20 yün katkılı levha grubunda olduğu tespit edilmiştir.

4.TARTIŞMA

4.1. Isı İletkenlik Katsayısı

Yoğunluğu düşük üretilen yonga yün karışımı levhalarda yün oranı arttıkça ısı iletim katsayısı düşerek minimum P11-12 nolu panellerle 0,044 W/m.K değerine ulaşılmıştır. Düşük yoğunlukta %20 yonga yün karışımı levha grubu yoğunluk ve ısı iletimlik değişimi Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Yoğunluk ve ısı iletimlik değişimi (Density and thermal conductivity change)

Isı yalıtım malzemesi olarak kullanılacak panel üretimi için sadece ısı iletim katsayıları değil aynı zamanda fiziksel ve mekanik dayanım da önemlidir. Direnci yüksek ve ısı yalıtımı en optimum levha analizinde %20 yün karışımı P11-12-13-14-15 nolu levhalar sırasıyla 0,044- 0,047- 0,064- 0,064- 0,076 W/m.K değerleri elde edilmiştir. TSE 825 binalarda ısı yalıtım kurallarına göre hafif odun lifi levhalarda yoğunluk < 0,2gr/cm³ = 0,046 W/m.K, Yoğunluk < 0,3gr/cm³ = 0,058 W/m.K'dır. Elde edilen sonuçlar literatürde verilen değerlerin altında ve olumludur. Düşük yoğunluklu %20 yün karışımı levhaların ortalama yoğunluk değeri 0,47gr/cm³ ile lamda değeri ortalaması 0,059 W/m.K olarak tespit edilmiştir.

4.2. Isı Geçirgenlik Katsayısı

Isı Geçirgenlik Katsayısı U (W/m²K): Farklı malzemelerin ardışık olarak bir araya gelmesiyle

meydana gelen bir yapı elemanının ısı transferine karşı gösterdiği dirençtir. P11 tipi DYL'da %20 karışımla elde edilen minimum U değeri ise 1.713W/m²K'dır. Bu durum literatürde; Yonga levhalar için 5.272W/m²K, Kaplan ve Aruntaş, 2021'e göre dış cephe kaplaması olarak kullanılan XPS levhalar kullanılarak ısı yalıtımı yapılan duvarlarda, en ideal yalıtım kalınlığının 5 cm olduğu belirlenmiş ve bu durumda U değeri 1.943 W/m²K olarak hesaplanmıştır[14]. Elde edilen iletim değerleri ile Tip3 DYL'ların yalıtım uygulamaları için kullanıma uygun olduğu söylenebilir.

4.3. Levha yüzeyine dik çekme direnç tayini

Levha yüzeyine dik çekme direnç sonuçlarına göre; en düşük 0,000 N/mm² ile düşük yoğunluklu %10 ve %20 yün katkılı grupta olduğu, en yüksek 0,534

N/mm² ile %10 yün katkılı orta yoğunlukta levha grubunda olduğu tespit edilmiştir. Ortalama direnç tayinlerine bakıldığında düşük ve orta yoğunluklu her iki grupta da yün oranı arttıkça iç yapışma direncinin azaldığı tespit edilmiştir. Yine %20 yün katkılı grupta iç yapışma dayanımı düşük bulunsada benzer çalışma olarak Özen, 2009' a göre; 0,21 N/mm² direnç değerine sahip %100 çam yongasından yonga levha üretilmiştir[15]. Bu tespitle %20 yün katkılı grubun vida tutma ve iç yapışma ihtiyacı olmayan alanlarda karkas yapı arasında kullanılabileceği düşünüldüğünden farklı fiziksel ve mekanik özelliklerinin kontrol edilmesine değeri görülmüştür.

TS EN 622-5 (2011)'e göre kuru şartlarda kullanılan ultra hafif lif levhalar için levha yüzeyine dik çekme direnci en az 0,15 N/mm² olduğu belirtilmiştir. Ultra hafif MDF'nin yoğunluğu ise 0,45 gr/cm³ ile 0,55 gr/cm³ aralığında olduğunu belirtmiştir[16]. Gündüz ve Yılmaz, 2005' te Türkiye'de yonga levha üreten 16 farklı işletmeden tedarik ettikleri levhaların yüzeye dik çekme direnç değerlerinin 0,15 N/mm² ile 0,76 N/mm² arasında değiştiğini belirtmişlerdir[17]. Elde edilen levha yüzeyine dik çekme direnç sonuçlarının düşük yoğunluklu %20 yün katkılı grup hariç sınır değerlere yakın olduğu görülmüştür. %20 yün karışımı grupta iç yapışma direnci değerlerinin düşük çıkması nedeni olarak yün ağırlıkça arttırıldığında yapıştırıcının yün tarafından tutularak karışıma yeterli olmadığı tespiti yapılmıştır. Elde edilen değerlerin oldukça düşük sonuçlar vermesinin nedeni olarak; Zach ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada da belirtildiği gibi test edilen koyun yünü numunelerinde %35'e kadar yüksek higroskopisite değerleri elde edilmiştir[18]. Bu durum ortamdaki nem dengesinin korunması için olumlu olsa da panel yapışma süreçlerini etkilediği tespit edilmiştir. En yüksek iç yapışma direnci 0,192 N/mm² ile %10 yün katkılı orta yoğunlukta levha grubunda olduğu tespit edilmiştir. Ancak yün kullanımının ısı iletkenliğe etkisinin düşük yoğunluklu levhalarda yükseldiği görülmüştür. Bu durum göz önüne alındığında en uygun ve kararlı sonuç veren karışımın 0,078 N/mm² ile %10 yün katkılı düşük yoğunluklu levhalarda olduğu sonucuna varılmıştır.

4.4. Levha yüzeyine dik yönde vida çekme direnci tayini

Levha örneklerinde levha yüzeyine dik vida çekme direnç değeri; en düşük 1,961 N/mm² ile düşük yoğunluklu %20 yün katkılı grupta, en yüksek 12,585 N/mm² ile Orta yoğunlukta %0 yün katkılı grupta olduğu tespit edilmiştir. Düşük yoğunluklu levhalar kendi arasında değerlendirildiğinde; en düşük 1,961 N/mm² ile %20 yün katkılı grupta, en yüksek 6,865 N/mm² değeri ile %10 yün katkılı kontrol grubu levhalarda olduğu tespit edilmiştir. Orta yoğunlukta üretilen levhalar kendi arasında değerlendirildiğinde; en düşük 5,067 N/mm² ile %10 yün katkılı grupta, en yüksek 12,585 N/mm² ile %0 yün katkılı levha grubunda olduğu tespit edilmiştir. Levha yüzeyine dik yönde vida çekme sonuçlarına göre; en düşük 1,961 N/mm² ile düşük yoğunluklu %20 yün katkılı grupta, en yüksek 12,585 N/mm² ile Orta yoğunlukta %0 yün katkılı grupta olduğu tespit edilmiştir.

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

DYL'ların OYL'lara göre % 36 oranında daha düşük ısı iletkenlik değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, panellerin ısı iletim katsayıları üzerinde en büyük etkiye yoğunluk değişiminin sahip olduğu belirlenmiştir (F: 178.6105). Yün oranı etkisi ise düşük olduğu (F: 8.8684) tespit edilmiştir. Ancak yün oranı artışı ile ısı iletkenlik değerinin %12 oranında düştüğü belirlenmiştir.

Isı iletim katsayısı bakımından uygun karışım düşük yoğunlukta (0,27 gr/cm³) P16 nolu %30 luk yonga yün karışımında (0,045 W/m.K) elde edilmiştir. Fakat bu levha vida tutma ile iç yapışma testlerine alınamayacak kadar dayanıksız görülerek daha homojen dağılım görülen %20 lik karışımlar üzerine durulmuştur. P11 ve P12 nolu numunelerde grup değiştirmeden yine düşük yoğunlukta (0,43-0,39 gr/cm³) yoğunluk arttırılarak levha mukavemeti arttırılmış %30luk karışım ile benzer ısı iletim (0,044 W/m.K) değerlerine ulaşılmıştır. Isı yalıtım malzemesi olarak kullanılacak panel üretimi için sadece ısı iletim katsayıları değil aynı zamanda fiziksel ve mekanik dayanım da önemlidir. Panel üretimi için ısı yalıtımı en optimum levha analizinde %20 yün karışımı P11-12-13-14-15 nolu levhalar sırasıyla 0,044- 0,047- 0,064- 0,064- 0,076 W/m.K değerleri elde edilmiştir. Bu değerlerin analizi ile %20 yün karışımı grubun, vida tutma ve iç yapışma özelliğinin önemsiz olduğu ahşap karkas içi yalıtım

uygulamalarında kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır. %10 yün karışımı grubun ise fiziksel ve mekanik özelliklerinin şuan yalıtım amaçlı kullanılan levha grupları arasında yeterli görüldüğü ısı iletkenliğinin en düşük 0,0469 W/m.K değerine ulaştığı ve uygun şartlarda standart üretim ile vida tutma kabiliyetinin yeterli olduğu belirlenmiştir. %10 yün karışımı grubun yalıtım uygulamalarında kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Deney sonuçlarının etkisiyle aşağıda belirtilen önerilerde bulunulabilir:

5.1.Yonga yün karışımı levhalarda (YYL) yoğunluk arttıkça ısı iletkenlik katsayısının da arttığı görülmüştür. Üretilen düşük yoğunluktaki levhalarda (DYL) yün oranı arttırıldıkça ısı iletim katsayısının düştüğü görülmektedir. Bu durum orta yoğunluktaki levhalarda (OYL) aynı olmayıp yoğunluk arttıkça yün karışım oranının etkisinin azaldığı söylenebilir. Fiziksel ve mekanik özellikleri ilgili standartlara uygun levha üretimi ile DYL'ların yalıtım amaçlı kullanılması,

5.2. Levha ara katmanına %10-20 oranında yün karışımı sonucunda yonga levhalarda ısı iletkenlik katsayısı %8-12 oranında azalmıştır. Dikici 2018'e göre dış cephe kaplaması olarak kullanılan Xps levhalarda ısı iletkenlik Lamda değeri 0,036 W/m.K olarak tespit edilmiştir[19]. Düşük yoğunluklu %20 yün karışımı levha grubunda, Panel 11 ve 12'nolu levha için ısı iletkenlik değerleri 0,044 W/m.K olarak belirlenmiştir. Yine DYL'larda %10 yün karışımı grupta en düşük 0,0469 W/m.K değeri belirlenmiştir. Bu sonuçlarla ısı yalıtımı için doğal, biyobozunur özellikteki DYL'ların tercih edilebilir olduğu,

5.3. Levha tiplerine yönelik en uygun yonga yün karışımı yoğunluk oranı tespit edilmiş olup, mekanik ve fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesi (modifikasyon) ve yangın riski için koruyucu boya ve vernikler ile borlu alev geciktiricilerin kullanımıyla ahşabın alevlenme süresi geciktirilmesi önerilmiştir.

ACKNOWLEDGMENTS (TEŞEKKÜR)

Yapmış olduğum araştırmada desteklerini esirgemeyen değerli danışman hocam Prof.Dr. Hamza ÇINAR'a, çalışmamda vermiş olduğu değerli bilgilerinden ve tecrübelerinden dolayı hocam Doç.Dr. Nihat DÖNGEL'e, çalışma sırasında değerli katkılarından ve uyarılarından

ötürü TİK üyesi Doç.Dr. Harun DİLER hocama, hazırlık aşamasında birçok alanda bana yardımcı olan, deney çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşım Dr. Ramazan BÜLBÜL'e, yazım kontrol sürecinde katkı sağlayan İbrahim TÜRKER'e sonsuz teşekkür ederim.

DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS (ETİK STANDARTLARIN BEYANI)

Bu makalenin yazarı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

AUTHORS' CONTRIBUTIONS (YAZARLARIN KATKILARI)

Hasan ŞEN: Deneyleri yapmış, sonuçlarını analiz etmiş ve maklenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

Hamza ÇINAR: Deney sonuçlarının düzenlenmesi, analizlerin değerlendirilmesi ve yazım kontrolü işlemlerini gerçekleştirmiştir.

CONFLICT OF INTEREST (ÇIKAR ÇATIŞMASI)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

REFERENCES (KAYNAKLAR)

- [1] Şişman, M. E. (2018). Amerika Birleşik Devletleri'nde ahşap evin gelişimi ve prefabrik ahşap ev katalogları (Master's thesis, Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü). Eroğlu H, Usta M (2000). Lif Levha Üretim Teknolojisi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Genel Yayın No:200, Fakülte Yayın No:30, 351 s. Trabzon, Türkiye
- [2] Bıçkı, D., & Kirkan, M. (2022). Bilge mimar Turgut Cansever'in perspektifinden Türkiye'de "yatay mimari" meselesi. Journal of Economy Culture and Society, 65, 289-311.
- [3] İstek, A., Özlüsoylu, İ., & Kızılkaya, A. (2017). Türkiye Ahşap Esaslı Levha Sektör Analizi. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 19(1), 132-138. <https://doi.org/10.24011/barofd.297231>
- [4]İnternet:https://9lib.net/article/yal%C4%B1t%C4%B1m-malzemeleri-konutlarda-enerji-verimlili%C4%9Fi-derece-b%C3%B6lgelerine-farkl%C4%B1.7qv7g6lq#google_vignette
- [5] Şahin ve Döngel 2018 "Bazı ahşap ve ahşap esaslı levhaların ısı iletkenlik özelliklerinin belirlenmesi." 5. Uluslararası Mobilya Kongresi

- [6] Yalçın, A.H., Elazığ ilinde kullanılan Farklı duvar tipleri için optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi ve ekonomi analizi. Fırat Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, (2012) Elazığ.
- [7] Briga-Sá, A., Paiva, A., Boaventura-Cunha, J., Lanzinha, JC. 2012. Contribution of the Trombe wall to sustainable buildings: experimental work. In: 38th IAHS World Congress on Housing Science, İstanbul, Turkey.
- [8] Martin Volfa,b, Jakub Diviša,b, Filip Havlíka, Energy Procedia 78 (2015) 1599 – 1604
- [9]İnternet:Polat,2017<https://www.yenimeram.com.tr/bina-yalitimlarinda-alternatif-urun-koyun-yunu> 265487.htm
- [10] Aşkadar, M.A., 2006. Isı Yalıtımı ve Konutlarda Enerji Verimliliği, İzolasyon Dünyası, 55. sayı, 54–58.
- [11] İnternet: Akbulut, T., & Ayrılmış, N. (2024). Yongalevha endüstrisi. İstanbul: İÜC Yayınevi.
- [12] TS EN 323/1. (1999). Ahşap esaslı levhalar-birim hacim ağırlığının tayini, TSE Standardı, Ankara.
- [13] TS EN 12667. (2003). Yapı malzemeleri ve mamullerinin ısı performans-mahfazalı sıcak plâka ve ısı akış sayacı metotlarıyla ısı direncin tayini-yüksek ve orta ısı dirençli mamuller, TSE Standardı, Ankara.
- [14] Kaplan G., Aruntaş H. Y., “XPS Yalıtımlı Dış Duvarların Isıl Performanslarının Deneysel İncelenmesi”, Politeknik Dergisi, 24(2): 645-653, (2021).
- [15] Özen, E. (2009). Bağ budama artıklarından elde edilen levhaların bazı mekanik ve fiziksel özelliklerinin belirlenmesi ve mobilya köşe birleştirmelerinin performans özelliklerinin araştırılması. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [16] Ayrılmış, N. 2000. MDF'nin teknolojik özellikleri üzerine ağaç türünün etkisi. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi
- [17] Gündüz, G., Yılmaz, A.Z., 2005. Türkiye’de 16 Farklı Tesiste Üretilen Yonga Levhaların Teknolojik Özellikleri, ZKÜ, Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 7(8).
- [18] Zach, J., Korjenic, A., Petranek, V., Hroudova, J., Bednar, T. (2012). Performance evaluation and research of alternative thermal insulations based on sheep wool. contents lists available at sciverse sciencedirect. Energy and Buildings 49, 246–253
- [19] Dikici A, Kocagül M., ‘Isı Yalıtımında Kullanılan Eps, Xps Ve Taş Yünü İzolasyon Malzemelerinin Deneysel Olarak Karşılaştırılması’ Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi 31(1), 129-136, 2019.