

# Yonga Levhaların Bazı Mekanik ve Fiziksel Özellikleri Üzerine Atık Taş Yünü Kullanımının Etkisi

Mehmet Erdal Kara<sup>1</sup>, Hikmet Yazıcı<sup>2,\*</sup>, Enüs Koç<sup>3</sup>, Recep Aykan<sup>4</sup>

<sup>1,3</sup> Kastamonu Entegre Ağaç Sanayi ve Ticaret A.Ş. 37200 Kastamonu/Türkiye  
<sup>2</sup> Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Çaycuma Meslek Yüksekokulu 67900 Çaycuma/Zonguldak/Türkiye  
<sup>4</sup> Sinop Üniversitesi Ayancık Meslek Yüksekokulu 57400 Ayancık/Sinop/Türkiye

## Makale Tarihiçesi

Gönderim: 15.09.2024

Kabul: 19.12.2024

Yayım: 25.12.2024

## Araştırma Makalesi



**Öz** – Bu çalışmada yonga levha üretiminde farklı oranlarda atık taş yünü kullanımının levhaların fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla hazırlanan levha taslağının orta tabakasına tam kuru yonga ağırlığına oranla %1,5, %3, %4,5 ve %6 oranlarında atık taş yünü ilave edilmiştir. Deney levhalarının üretiminde yapıştırıcı olarak orta tabakada %7, yüzey tabakada %12 oranında üre formaldehit (ÜF) reçinesi kullanılmıştır. Karışım oranlarına göre hazırlanan levha taslakları 195±5 °C sıcaklık ve 30 kg/cm<sup>2</sup> basınç altında 5 dk süre ile deney presinde preslenerek 550x550x16 mm ebatlarında 710±10 kg/m<sup>3</sup> hedef yoğunluğunda deney levhaları elde edilmiştir. Elde edilen levhaların mekanik ve fiziksel direnç özelliklerinden yüzeye dik çekme (TS-EN 319), eğilme direnci ve elastikiyet modülü (TS-EN 310), 2 saat kalınlığına şişme ve su alma testleri (TS-EN 317) ile serbest formaldehit (TS EN ISO 12460-5) değerleri belirlenmiş ve kontrol örnekleri ile karşılaştırılmıştır. Test sonuçlarından orta tabaka levha taslağı içerisinde max. %3 oranında atık taş yünü lifi kullanılmasının yonga levhaların mekanik ve fiziksel direnç özellikleri üzerinde olumlu yönde bir etkisinin olduğu ve standartlarda belirtilen limit değerleri sağladığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler** – Mekanik ve fiziksel özellikler, sıfır atık, taş yünü, yonga levha

# The Effect of Using Waste Stone Wool on Some Mechanical and Physical Properties of Particleboards

<sup>1,3</sup> Kastamonu Integrated Wood Industry and Trade Inc. 37200 Kastamonu/Türkiye  
<sup>2</sup> Zonguldak Bülent Ecevit University Çaycuma Vocational School 67900 Çaycuma/Zonguldak/Türkiye  
<sup>4</sup> Sinop University Ayancık Vocational School 57400 Ayancık/Sinop/Türkiye

## Article History

Received: 15.09.2024


Accepted: 19.12.2024


Published: 25.12.2024


## Research Article


**Abstract** – In this study, the effect of using different proportions of waste stone wool in particle board production on the physical and mechanical properties of the boards was investigated. For this purpose, waste stone wool was added to the middle layer of the board draft at the rates of 1.5%, 3%, 4.5% and 6% in proportion to the full dry chip weight. Urea formaldehyde (UF) resin was used as an adhesive in the production of the test boards with 7% in the middle layer and 12% in the surface layer. The board mats prepared according to the mixing ratios were pressed in the test press under 195±5 °C temperature and 30 kg/cm<sup>2</sup> pressure for 5 minutes and test boards with dimensions of 550x550x16 mm and a target density of 710±10 kg/m<sup>3</sup> were obtained. Internal bonding strength (TS-EN 319), bending strength and elasticity modulus (TS-EN 310), 2-hour thickness swelling and water absorption tests (TS-EN 317) and free formaldehyde (TS EN ISO 12460-5) values of the obtained boards were determined from the mechanical and physical resistance properties and compared with the control samples. As a results, it was seen that the use of waste stone wool fiber at a maximum rate of 3% in the middle layer board draft had a positive effect on the mechanical and physical resistance properties of the particle boards and provided the limit values specified in the standards.

**Keywords** – Mechanical and physical properties, zero waste, stone wool, particle board

<sup>1</sup>  erdal.kara7581@gmail.com

<sup>2</sup>  h\_yazici@hotmail.com

<sup>3</sup>  enuskoc@gmail.com

<sup>4</sup>  raykan@sinop.edu.tr

\*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

## 1. Giriş

Son yıllarda dünya genelinde azalan orman varlıkları orman ürünleri endüstrisinde hammadde maliyetlerindeki artışa neden olmuş ve bu durum odun biyokütlesinin küresel ölçekte teminini güçleştirmeye başlamıştır. Bu nedenle, çevre dostu, sürdürülebilir odun esaslı ahşap panel üretimlerinde hammaddeye ikame olarak geri dönüşüme uygun farklı organik ve inorganik malzemelerin odun esaslı malzemelerle düşük oranlarda birlikte kullanımına yönelik ilgi hızla artmaya başlamıştır. Yaşanılan yüzyılın ilk çeyreğinde artan hızlı sanayileşme ve nüfus artışları sonucu ortaya çıkan atıkların geri dönüştürülmesi hem çevre ve doğanın korunması hem de ekonomiler için itici bir güç olması bakımından büyük önem arz etmektedir. İnsanların çevre bilincinin giderek artması ile geri dönüşüm önem kazanmış ve birçok ülkede geri dönüştürülmüş atıklardan üretilen ürünlerin tüketimi ve talebi artmaya başlamıştır (Larney ve Van Aardt, 2010; İstek vd., 2020; Kurt, 2020; Özlüsoylu, 2023).

Yapılarda kullanılan ve hizmet ömrünü tamamlamış atık yalıtım malzemelerinin bertaraf çalışmaları farklı çevre kirliliklerine neden olabilmektedir (Kolak ve Oltulu, 2021). Ülkemizde 2023 yılı verilerine göre toplam yalıtım malzemesi üretimi 1.210.400 ton olarak gerçekleşirken bunun 670.400 tonu ısı, ses ve yangına yönelik üretilmiştir. Sadece taş yünü üretimine yönelik ise 13 girişim bulunmaktadır (İMSAD, 2023). Atık inorganik ve organik kökenli farklı malzemelerin ahşap esaslı levha üretiminde kullanılması üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Düşük yoğunlukta lif levha üretiminde melamin reçinesi emdirilmiş dekor kâğıt atıklarının farklı oranlarda odun lifi ile karıştırıldığı çalışmada lif levhaların mekanik direnç özellikleri ve boyutsal kararlılıkları üzerinde kâğıt atıklarının olumlu bir yaptığı belirtilmiştir (Ayrılmış, 2012). Akbulut vd. (2021) kâğıt fabrikasından çıkan atık çamur elyafının (FSW) yonga levha üretimlerinde hammadde kaynağı olarak değerlendirilmesi yönünde yaptığı araştırma sonunda atık kâğıt partiküllerinin yonga levhanın yüzey ve orta tabakasına katıldığında kalınlığına şişme ve su alma özelliklerini olumlu yönde etkilediğini bildirmiştir. Atık partiküller yonga levhanın sadece yüzey tabakalarına katıldığında ise eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, levha yüzeyine dik yönde çekme direnci ve vida tutma gücü belirgin bir iyileşme göstermiştir. Farklı bir çalışmada ise yönlendirilmiş yonga levhaların (OSB) orta tabakasında üç farklı oranda (%10, %20 ve %30) taş yünü elyafı kullanılmış, elde edilen levhaların mekanik ve fiziksel özellikleri incelenmiştir. Çalışma sonunda teknolojik özellikler bakımından en iyi sonuçlar %10 oranında taş yünü kullanılan OSB deney örneklerinde görülmüştür (Kara ve Ayrılmış, 2022).

Yonga levha üretiminde bor minerali ve farklı emprenye maddelerinin yüzey sağlamlığı üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada borik asitli levhaların yüzey sağlamlığını ve yapışma direncinin olumsuz yönde etkilendiği belirtilmiştir (Var, 2012). Öğütülmüş kalsiyum karbonat (GCC) dolgu ilaveli orta yoğunluklu lif levhaların (MDF) ağırlıkça %10'dan fazla öğütülmüş kalsiyum karbonat içermesi fiziksel ve mekanik özellikleri olumsuz etkilendiği bildirilmiştir (Ozyhar vd., 2020). Yüksek yoğunluklu lif levhaların (HDF) bazı özellikleri üzerine farklı oranlarda emprenye edilmiş kâğıt atıkların kullanıldığı çalışmada emprenyeli atık kâğıt miktarı arttıkça mekanik direnç özelliklerinin genel olarak iyileştiği görülmüştür (Kutluata vd., 2023). MDF üretiminde ZnO nano-partiküllerinin %0,5 ve %1,0 oranında ÜF ve melamin formaldehit (MF) reçinesi ile birleştirilerek kullanıldığı çalışmada ZnO nanopartiküllü levhaların nemli ortamlarda kullanılması nedeniyle fiziksel özelliklerinin önem arz ettiği belirtilmiştir (da Silva vd., 2019).

MDF üretiminde kuru life oranla %3, %6, %9 oranlarında kalsit minerali kullanılan çalışmada yanmaya karşı direnç özelliklerinin iyileştiği belirtilmiştir (Çamlıbel ve Akgül, 2021). Ahşap esaslı levha üretiminde yongalara veya selülozik liflere uygun oranlarda inorganik malzemeler karıştırılarak teknolojik özelliklerin iyileştirilebildiği daha ekonomik panel üretimlerinin yapılabildiği anlaşılmaktadır. Bu inorganik malzemelerden biri de günümüzde izolasyon ve yalıtım amaçlı üretimi yapılan taş yünüdür. Taş yünü, doğal taşların eritilerek liflere dönüştürülmesiyle elde edilmekte olup, yüksek ısı, ses ve neme karşı dayanıklılık gösteren önemli bir yalıtım malzemesidir (Keskin, 2007). Bu özellikleri nedeniyle yapı ve inşaat sektörünün yanı sıra endüstriyel işletmelerde enerji (su, buhar, kızgın yağ vb.) boru hatlarında enerji kaybını önlemek

amacıyla yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Fakat bu malzemeler özellikle endüstriyel işletmelerin enerji hatlarında zamanla oluşan kaçaklar, revizyonlar vb. durumlar nedeniyle çok sık değişimlere uğramaktadırlar, dolayısıyla arzu edilmeyen atıkların oluşmasına yol açmaktadırlar. Oluşan bu atıklar fabrika sahası içerisinde birikmekte ve gün geçtikçe yönetilemez olmaktadır. Literatürde inorganik malzemelerin geri dönüşüm malzemesi olarak farklı oranlarda lif-yonga içerisine ilavesi ile laboratuvar ortamında yapılan pek çok çalışma olmasına rağmen, taş yünü elyafının su itici ve boyutsal kararlılık özelliklerinden yararlanılarak doğrudan kullanıldığı bir çalışmaya rastlanılmamıştır.

Taş yünü erimiş bazaltik kayadan yapılmış lifli inorganik bir malzemedir. Genel olarak %35-45 oranında silikon dioksit, %30-40 oranında kalsiyum oksit, %10-15 oranında alüminyum oksit ve %5-10 oranında magnezyum oksit içerirler (Zihlif ve Ragosta, 2003; Ramírez vd., 2019). Yoğunluğu 470-2250 kg/m<sup>3</sup> aralığındadır ve tek iplikli lif çapı 8-25 µm arasında değişmektedir (Öztürk, 2010). Üstün termal stabilitesi, taş yünüünün yalıtım malzemesi olarak kullanılmasını sağlamıştır (da Rocha vd., 2020; Mróz vd., 2016). Ancak geri dönüştürülemeyen taş yünü ciddi bir atık tehdidini de beraberinde getirmektedir. Avrupa'da her yıl 2,5 ton mineral yün atığının meydana geldiği tahmin edilmektedir (Llantoy vd., 2020; Väntsi ve Kärki, 2014). Bu durum atık taş yünlerinin kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak kullanılmasını cazip kılmaktadır. Ancak son yıllarda takviye elemanı olarak taş yünüünün kullanıldığı çalışmaların oldukça kısıtlı olduğu görülmektedir. Gerçekleştirilen çalışmaların büyük bir bölümünü de polimer kompozitler oluşturmakta, ahşap esaslı malzemeler ile gerçekleştirilen çalışmaların oldukça sınırlı olduğu dikkat çekmektedir.

Bu çalışmada; dünyada ve ülkemizde sıfır atık kapsamında yapılan çalışmalara paralel olarak, endüstriyel işletmelerde izolasyon amaçlı kullanılan ve atık durumuna düşen taş yünü liflerinin odun hammaddesi ile yonga levha üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla atık taş yünü elyafları kullanılacak niteliğe getirilip, yonga levhaların orta tabakasında tam kuru yonga ağırlığına oranla % 1,5, %3, %4,5 ve %6 oranında ilave edilmiştir. Elde edilen deney levhaları üzerinde yapılan test sonuçları kontrol numuneleri ile karşılaştırılarak incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Materyal

Deneme üretimlerinde materyal olarak sıfır atık projesi kapsamında fabrika içi izolasyon değişimlerinde açığa çıkan taş yünü ve odun yongası kullanılmıştır. Deneme çalışmalarında yonga levhanın orta tabakasında kullanılan taş yünü ve bu tabakanın kalınlık kesiti Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Taş yünü (a) ve yonga levha profili (b)

Atık taş yünü blenderden geçirilerek istenilen boyutlara getirilmiştir. Deney örneklerinin üretiminde kullanılan yongalar Kastamonu Entegre A.Ş. Kastamonu Fabrikası yonga levha işletmesinden temin edilmiştir. Kullanılan materyallerin yapıştırılmasında orta ve yüzey tabakada farklı özelliklere sahip üre formaldehit (ÜF) reçinesi kullanılmıştır. ÜF reçinelerine ait özellikler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1  
ÜF reçinelerinin özellikleri

Reçine özellikleri	Birim	Üre Formaldehit (ÜF)	
		Orta tabaka	Yüzey tabaka
Katı madde miktarı	%	65,0	57,0
Yoğunluk	gr/cm <sup>3</sup>	1,265	1,232
Mol oranı	mol	1,22	1,05
Akış zamanı	sn	52-53	35-36
pH		8,0-8,2	8,2-8,4

## 2.2. Yöntem

Deney numuneleri TS EN 312 (2012) standartlarında uygun olarak hazırlanmış olup, her grup için 10 deney örneği alınarak test edilmiştir. Deney örnekleri üzerinde yapılacak mekanik ve fiziksel testler ve bu testlere ait limit değerleri Tablo 2’de verilmiştir. Deney numuneleri üretilen levhaların tamamını temsil edecek ve istatistiksel analizlerin sağlıklı bir şekilde yapılmasını sağlayacak şekilde ve sayıda seçilmiştir.

Tablo 2  
Test standartları ve limit değerler

Mekanik ve Fiziksel Testler	Birim	Standart No	Örnek Boyutları (mm)	Örnek Sayısı	Limit Değerler
Yüzeye dik yönde çekme direnci	N/mm <sup>2</sup>	TS EN 319	50x50	10	≥ 0,35
Eğilme direnci	N/mm <sup>2</sup>	TS EN 310	50x410	10	≥ 13
Elastikiyet modülü	N/mm <sup>2</sup>	TS EN 310	50x410	10	≥ 1600
Kalınlığına şişme (2 saat)	%	TS EN 317	50x50	10	≤ 20
Su alma (2 saat)	%	TS EN 317	50x50	10	≤ 80
Serbest formaldehit tayini	mg/100g	TS EN ISO 12460-5	25x25 (150g)	10	E-1 ≤ 8

### 2.1.1. Deney levhalarının üretimi

Deney levhalarının üretiminde kullanılan yonga ve taş yünü oranları Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3  
Odun yongası ve atık taş yünü kullanım oranları

Levha Tipi	Levha Taslağı Yonga/Taş yünü Oranları		
	Yüzey tabaka (%)	Orta tabaka (%)	Taş yünü oranı (%)
Kontrol	40	60	0
A1	40	58,5	1,5
A2	40	57	3,0
A3	40	56,5	4,5
A4	40	54	6,0

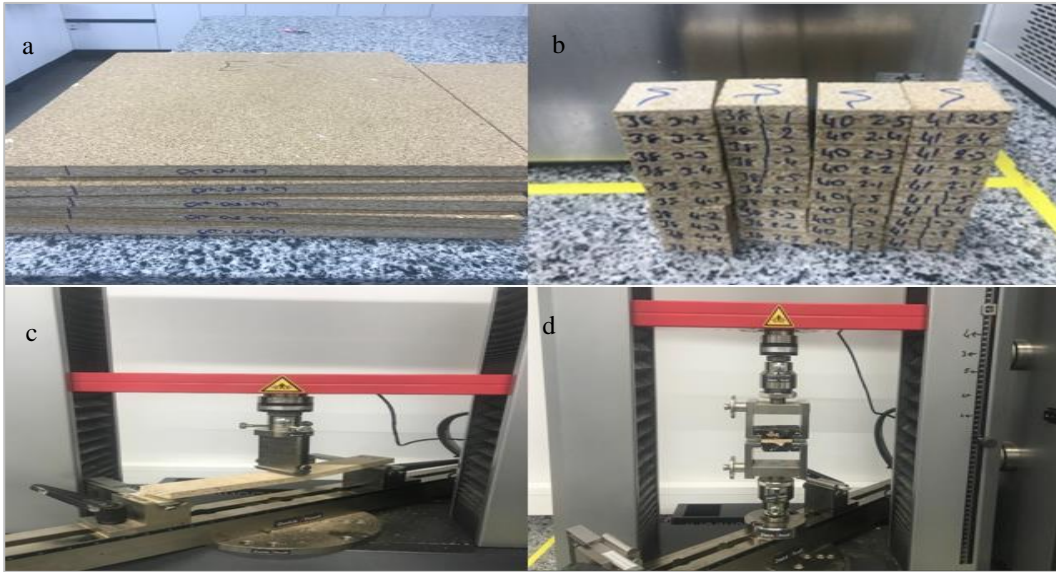
Deney levhalarının üretiminde geleneksel yonga levha iş akışı takip edilmiştir. Yongaların tutkalanmasında tam kuru yonga ağırlığına oranla orta tabakada %7, yüzey tabakada %12 oranlarında, katı madde oranı sırası ile %65 ve %58 olan üre formaldehit reçineleri kullanılmıştır. Sertleştirici olarak tutkal litresine oranla orta

tabakada %2,5, yüzey tabakada %0,5 olacak şekilde %20 katı madde içeriğine sahip amonyum klorür ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) kullanılmıştır. Su itici olarak kuru yonga ağırlığına oranla %0,8 oranında %60 katı madde içerikli parafin emülsiyonu kullanılmıştır. Levha taslağının tabakalara göre ağırlıkça oranı %35 yüzey tabaka, %65 orta tabaka şeklinde olup, orta tabakaya kuru yonga ağırlığına oranla sırasıyla %1,5, %3, %4,5 ve %6 oranında taş yünü elyafı ilave edilmiştir. Presleme işlemi  $195\pm 5$  °C sıcaklık, 5 dakika süre ve  $30 \text{ kg/cm}^2$  basınç koşullarında hidrolik deney presinde gerçekleştirilmiştir. Bu işlemler sonucunda  $550\times 550\times 16$  mm kalınlığında ve  $710 \pm 10 \text{ kg/m}^3$  hedeflenen yoğunlukta deney levhaları üretilmiştir. Deney levhalarının üretimine ait görseller Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Deney örneklerinin üretimi (a: Tutkallama, b: Serme, c: Levha taslağı, d: Sıcak pres)

Üretilen deney örnekleri 4-7 gün kondisyonlanma süreci ( $20\pm 2$ °C ve  $\%65\pm 5$  bağıl nem) tamamlandıktan sonra net kalınlığı  $16\pm 0,1$  mm olacak şekilde kalibre zımpara makinelerinde zımparalanmıştır. Deney levhaları, test örnekleri ve mekanik testlere ait görseller Şekil 3’te gösterilmiştir.



Şekil 3. Deney numuneleri (a, b), eğilme-elastikiyet modülü direnci (c) ve yüzeye dik çekme direnci (d)

### 3. Bulgular ve Tartışma

Araştırmada taş yünü kullanım oranının deney levhalarının bazı fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine etkisi tek yönlü ANOVA analiziyle, faktörler arasında farklılıkların istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı ise %95 güvenle DUNCAN testi ile belirlenmiştir. Yapılan istatistiksel analizlere ilişkin sonuçlar Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3  
Test sonuçlarına ilişkin istatistiksel analizler

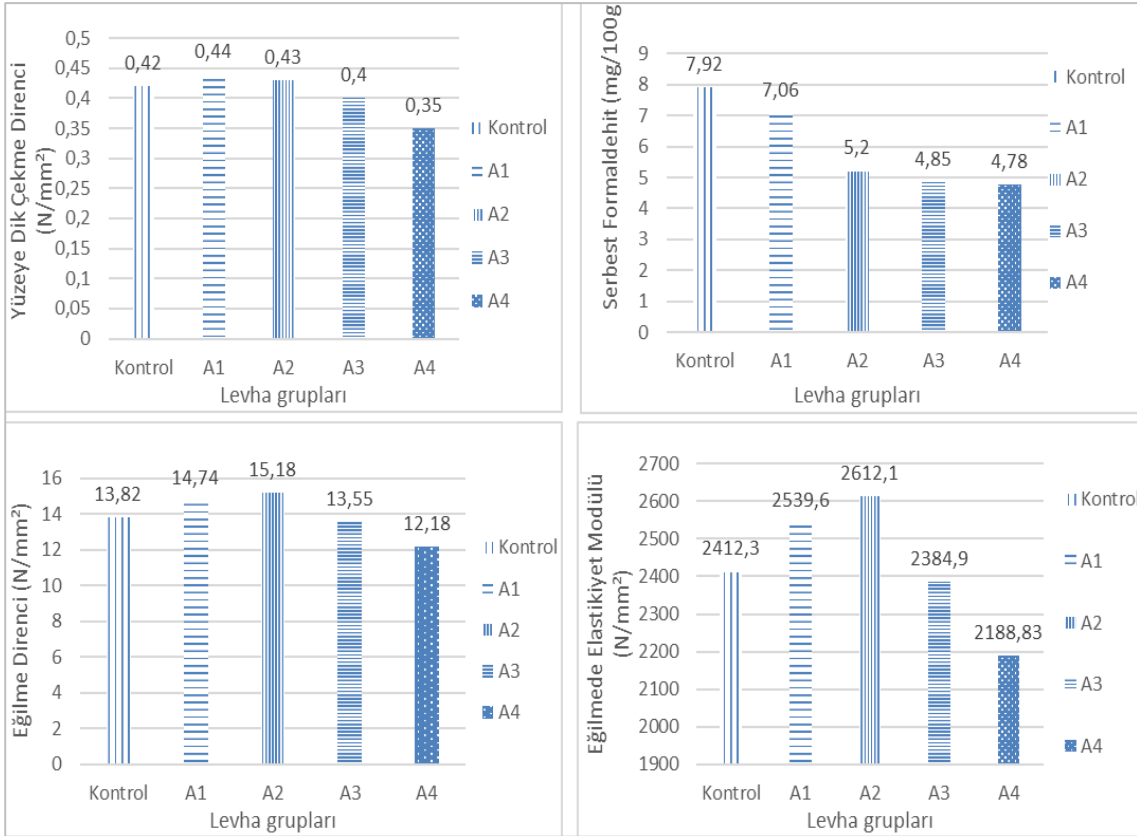
Testler	Faktör	Grup	n	Ortalama	Std sapma	p
Yüze Dik Çekme Direnci (N/mm <sup>2</sup> )	Kontrol	0,00%	10	0,42 <sup>a</sup>	0,014	<0,002*
	A1	1,50%	10	0,44 <sup>a</sup>	0,013	
	A2	3,00%	10	0,43 <sup>a</sup>	0,013	
	A3	4,50%	10	0,40 <sup>b</sup>	0,017	
	A4	6,00%	10	0,35 <sup>c</sup>	0,015	
Eğilme Direnci (N/mm <sup>2</sup> )	Kontrol	0,00%	10	13,82 <sup>b</sup>	0,60	<0,001*
	A1	1,50%	10	14,74 <sup>a</sup>	0,55	
	A2	3,00%	10	15,18 <sup>a</sup>	0,70	
	A3	4,50%	10	13,55 <sup>b</sup>	0,68	
	A4	6,00%	10	12,18 <sup>c</sup>	0,55	
Elastikiyet Modülü (N/mm <sup>2</sup> )	Kontrol	0,00%	10	2412,30 <sup>b</sup>	79,31	<0,001*
	A1	1,50%	10	2539,60 <sup>a</sup>	92,23	
	A2	3,00%	10	2612,10 <sup>a</sup>	90,86	
	A3	4,50%	10	2384,90 <sup>b</sup>	76,21	
	A4	6,00%	10	2188,83 <sup>c</sup>	86,51	
2 Saat Kalınlığına Şişme (%)	Kontrol	0,00%	10	21,69 <sup>c</sup>	1,13	<0,001*
	A1	1,50%	10	20,28 <sup>b</sup>	0,67	
	A2	3,00%	10	18,83 <sup>a</sup>	0,79	
	A3	4,50%	10	21,73 <sup>c</sup>	0,84	
	A4	6,00%	10	23,42 <sup>d</sup>	0,87	
2 Saat Su Alma (%)	Kontrol	0,00%	10	66,65 <sup>c</sup>	1,64	<0,003*
	A1	1,50%	10	64,87 <sup>b</sup>	1,35	
	A2	3,00%	10	60,37 <sup>a</sup>	1,33	
	A3	4,50%	10	66,52 <sup>c</sup>	0,95	
	A4	6,00%	10	71,28 <sup>d</sup>	1,06	
Serbest Formaldehit (mg/100g)	Kontrol	0,00%	10	7,92 <sup>c</sup>	0,65	<0,001*
	A1	1,50%	10	7,06 <sup>b</sup>	0,58	
	A2	3,00%	10	5,20 <sup>a</sup>	0,52	
	A3	4,50%	10	4,85 <sup>a</sup>	0,47	
	A4	6,00%	10	4,78 <sup>a</sup>	0,59	

\*: 0,05 güven aralığına önemli, her bir özellik için aynı harfler istatistik olarak önemli bir fark olmadığını belirtmektedir.

Yapılan istatistiksel analiz sonucunda taş yünü oranının lif levhanın mekanik ve fiziksel özellikleri üzerinde anlamlı bir etkisinin olup olmadığı %95 doğruluk oranı ile analiz edilmiştir. Analiz sonucu taş yünü oranının; yüze dik çekme direnci, eğilme direnci, elastikiyet modülü, kalınlığına şişme, su alma, serbest formaldehit salınımı özellikleri üzerinde anlamlı bir etkisi olduğu tespit edilmiştir (p<0,05). Gruplar arası farklılığı görmek amacıyla Duncan testi yapılmıştır.

#### 3.1. Mekanik Özellikler ve Formaldehit Emisyonu

Deney levhalarının mekanik özellikleri ve formaldehit emisyonuna ilişkin grafikler Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Deney levhalarının mekanik özellikleri ve formaldehit emisyonuna ilişkin grafikler

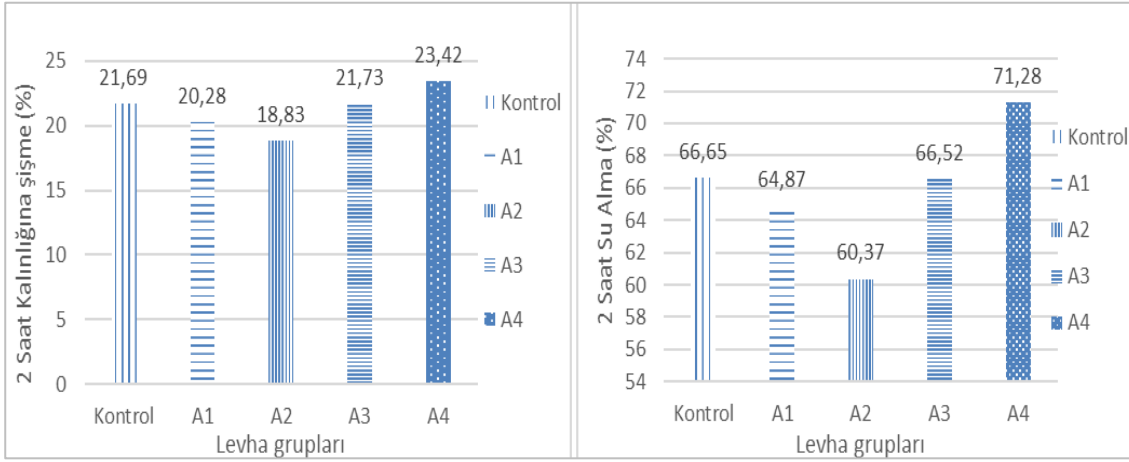
Deney örneklerinin mekanik özelliklerinden yüze dik çekme üzerine taş yünü kullanım oranının istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi olduğu anlaşılmıştır ( $p < 0,05$ ). Test sonuçları kontrol örnekleri karşılaştırıldığında en yüksek değer  $0,44 \text{ N/mm}^2$  ile %1,5 oranında taş yünü kullanılan A1 deney numunesinde, en düşük değer ise  $0,35 \text{ N/mm}^2$  ile %6 oranında taş yünü kullanılan A4 deney örneklerinde olduğu anlaşılmıştır. Test sonuçlarından levha taslağı içerisinde inorganik malzeme olan taş yünü oranı arttıkça iç yapılaşma direnci değerlerinde düşüşler görülmüştür. Bu durum taş yününün morfolojik özellikleri nedeniyle birim alanda lifsel malzemenin reçine ile bağlanma kabiliyetini düşürmesi ile açıklanabilir. Araştırmadan elde edilen bulgular (Kara ve Ayrılmış, 2022)'nin yapmış oldukları çalışmayla benzerlik göstermektedir.

Deney numunelerinin mekanik özelliklerinden eğilme direnci ve elastikiyet modülü üzerine taş yünü kullanım oranının istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi olduğu anlaşılmıştır ( $p < 0,05$ ). Test sonuçları kontrol numuneleri ile karşılaştırıldığında en yüksek değerlere sırasıyla eğilme direncinde  $15,18 \text{ N/mm}^2$ , elastikiyet modülünde ise  $2612,10 \text{ N/mm}^2$  ile %3 oranında taş yünü kullanılan A2 deney numunesinde, en düşük değerlere ise sırasıyla eğilme direncinde  $12,18 \text{ N/mm}^2$ , elastikiyet modülünde ise  $2188,83 \text{ N/mm}^2$  ile %6 oranında taş yünü kullanılan A4 deney numunesinde tespit edilmiştir. Test sonuçlarından levha taslağı içerisinde taş yünü kullanım artışının eğilme direnci ve elastikiyet modülü üzerinde olumsuz bir etkisi olduğu görülmüştür. Bu durumun taş yünü elyafının morfolojik özellikleri nedeniyle birim alanda yonga ile bağ yapmasını olumsuz yönde etkilemesi ile açıklanabilir (Kara ve Ayrılmış, 2022).

Deney örneklerinin serbest formaldehit değerleri üzerine taş yünü kullanım oranının istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi olduğu anlaşılmıştır ( $p < 0,05$ ). Buna rağmen tüm levha grupları aynı emisyon sınıfı ( $E1 = 8 \text{ mg/100g}$ ) içerisinde yer almıştır. Test sonuçları kontrol örnekleri karşılaştırıldığında en düşük değer  $4,78 \text{ mg/100 gr}$  ile A4 deney örneğinde, en yüksek ise  $7,92 \text{ mg/100 gr}$  ile kontrol numunesinde tespit edilmiştir. Test sonuçlarından taş yünü artışına bağlı olarak formaldehit salınımlarının azaldığı görülmüştür. Bu durum üzerinde levha taslağı içinde lifsel malzeme yerine inorganik malzeme (taş yünü) kullanılmasının etkisi olduğu düşünülmektedir.

### 3.2. Su Alma ve Kalınlığına Şişme

Su alma ve kalınlığına şişme değerlerine ait grafikler Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Su alma ve kalınlığına şişme değerlerine ait grafikler

Deney numunelerinin fiziksel özelliklerinden 2 saat kalınlığına şişme ve su alma değerleri üzerine taş yünü kullanım oranının istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi olduğu anlaşılmıştır ( $p < 0,05$ ). Test sonuçları kontrol numuneleri ile karşılaştırıldığında en düşük değerlere sırasıyla kalınlığına şişme %18,83, su almada %60,37 ile %3 oranında taş yünü kullanılan A2 deney numunesinde, en yüksek değerlere ise sırasıyla kalınlığına şişmede %23,42, su almada ise %71,28 ile %6 oranında taş yünü kullanılan A4 deney numunesinde görülmüştür. Test sonuçlarından levha taslağında belli bir düzeyde taş yünü elyafı kullanılmasına bağlı olarak 2 saat kalınlığına şişme ve su alma değerlerinde bir düşüş görülmüştür. Bu durum taş yününün odun yongasına göre su iticilik özelliğinin daha iyi olması ile açıklanabilir. Farklı bir çalışmada benzer sonuçlar elde edilmiştir (Kara ve Ayrılmış, 2022).

### 4. Sonuçlar

Yapılan bu araştırma ile endüstriyel taş yünü elyafının sıfır atık kapsamında yonga levha üretimlerinde belirlenen oranlarda kullanılarak mekanik ve fiziksel direnç özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Deney örnekleri üzerinde yapılan deney ve analizler sonucunda elde edilen önemli sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Kontrol örneği (%0 taş yünü) ile karşılaştırıldığında levha özelliklerindeki en yüksek iyileşme %3 atık taş yünü kullanımında gerçekleşmiştir. Buna göre levhaların 2 saat kalınlığına şişme ve su alma değerlerinde sırası ile %10 ve %13 oranında azalma görülürken, mekanik özelliklerden eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü dirençlerinde ise yine sırası ile %10 ve %8 oranında artış olduğu hesaplanmıştır. Yüzeye dik çekme direncindeki en yüksek artış ise %5 olarak, %1,5 atık taş yünü kullanımında tespit edilmiştir.
- Elde edilen bulguların genel kullanım amaçlı üretimi yapılan yonga levhaların standartlarda belirtilen limit değerleri genel olarak karşıladığı görülmüştür.
- Yonga levhaların orta tabakasında taş yünü içeriğinin %3 ve altında kullanılması durumunda deney örneklerinin yüzeye dik çekme direnci, eğilme ve elastikiyet modülü ve boyutsal kararlılık özellikleri üzerinde olumlu yönde belirgin bir etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Fakat taş yünü kullanım oranının %3'ün üzerinde kullanılması durumunda mekanik ve fiziksel özelliklerinde düşüşler görülmüştür.
- Levha taslağı içerisinde taş yünü elyafının yüzdeler artışına bağlı olarak serbest formaldehit değerlerinde belirgin bir şekilde düşüşler tespit edilmiştir.



- Gelecek çalışmalarda atık camyünü levhaların farklı tabakalarında ve değişik oranlarda kullanılarak bu kullanımın levha özellikleri üzerin etkisi araştırılabilir.

Sonuç olarak atık taş yünü yonga levha üretiminde orta tabakada %3 oranında kullanılması kontrol örneğine (%0 taş yünü) kıyasla levha özelliklerini iyileştirmiştir. Orman kaynaklarının kısıtlı olduğu ülkemizde taş yünü gibi farklı özelliklere sahip inorganik malzemelerin ahşap esaslı levha üretiminde uygun oranlarda kullanılmasının hem levhaların fiziksel ve mekanik özelliklerini iyileştirmesi, hem de hammaddeye alternatif yardımcı bir kaynak oluşturacak olması bakımından oldukça önemli olduğu düşünülmektedir.

### Teşekkür

Bu çalışmanın yapılması aşamasında desteklerinden dolayı Kastamonu Entegre Ağaç Sanayi ve Ticaret A.Ş. Kastamonu fabrikası yöneticilerine ve çalışanlarına teşekkür ederiz.

### Yazar Katkıları

Mehmet Erdal KARA: Çalışmanın istatistiksel analizlerini yapmış ve makaleyi yazmıştır.

Hikmet Yazıcı: Analizleri planlamış, tasarlamış ve makaleyi yazmıştır.

Enüs KOÇ: Hammadde teminini sağlamış ve çalışmayı tasarlamıştır.

Recep AYKAN: Veri toplamış, planlama ve istatistiksel analizi yapmıştır.

### Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

### Kaynaklar

- Akıncı, H. (2007). Günümüzde uygulanan ısı yalıtım malzemeleri, özellikleri, uygulama teknikleri ve fiyat analizleri (Master's thesis, Sakarya Üniversitesi (Turkey)).
- Ayrılmış, N. (2012). Enhancement of dimensional stability and mechanical properties of light MDF by adding melamine resin impregnated paper waste. *International journal of adhesion and adhesives*, 33, 45-49.
- Çamlıbel, O. ve Akgül, M. (2021). Kalsit mineral katkılı orta yoğunlukta liflevha (MDF)'nin yanma performansının araştırılması. *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, 3(1), 29-37.
- da Rocha, E.B.D., de Sousa, A.M.F. ve Furtado, C.R.G. (2020). Properties Investigation of novel nitrile rubber composites with rockwool fibers. *Polymer Testing*, 82, 106291.
- da Silva, A.P.S., Ferreira, B.S., Favarim, H.R., Silva, M.F.F., Silva, J.V.F., dos Anjos Azambuja, M., ve Campos, C. D. (2019). Physical properties of medium density fiberboard produced with the addition of ZnO nanoparticles. *BioResources*, 14(1), 1618-1625.
- İMSAD (2023). Türkiye İnşaat Malzemesi Sanayicileri Derneği (İMSAD) yapı sektörü raporu. Erişim Tarihi: 01.12.2024. [https://imsad.org/dfliip/Uploads/Files/Yapi\\_Sektoru\\_Raporu\\_2023\\_web.pdf](https://imsad.org/dfliip/Uploads/Files/Yapi_Sektoru_Raporu_2023_web.pdf)
- İstek, A., Çelik, S. ve Özlüsoy, İ. (2020). Yonga Levha Üretiminde Motorlu Testere Talaşı Kullanımının Bazı Levha Özelliklerine Etkisi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 22(3), 886-896.
- Kara, M.E. ve Ayrılmış, N. (2022). "Effect of Using Rock Wool on Mechanical and Physical Properties of Oriented Strandboard (OSB)." *International Scientific Journal. "Industry 4.0" ISSN 2534-997X; PRINT ISSN 2534-8582. VII, ISSUE 3, P.P. 102-104.*
- Kolak, M.N. ve Oltulu, M. (2021). Atık Malzeme İçeren Polimer Bazlı Kompozitlerin Isıl İletkenlik Özelliklerinin İncelenmesi. *International Journal of Engineering Research and Development*, 13(2), 310-320.
- Kurt, R. (2020). Determining the priorities in utilization of forest residues as biomass: an A'wot analysis. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 14(2), 315-325.
- Kutluata, N. Ö., Olgun, Ç. ve Gür, M., (2023). Atık Emprenyeli Kağıtların Standart Kalite Yüksek Yoğunluklu Lif Levha (HDF) Üretiminde Kullanılabilirliği Üzerine Bir Laboratuvar Denemesi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 25(3), 369-377.

- Larney, M. ve Van Aardt, A.M. (2010). Case study: Apparel industry waste management: a focus on recycling in South Africa. *Waste Management & Research*, 28(1), 36-43.
- Llantoy, N., Châfer, M. ve Cabeza, L.F. (2020). A comparative life cycle assessment (LCA) of different insulation materials for buildings in the continental Mediterranean climate. *Energy and Buildings*, 225, 110323.
- Mróz, K., Hager, I. ve Korniejenko, K. (2016). Material solutions for passive fire protection of buildings and structures and their performances testing. *Procedia Engineering*, 151, 284-291.
- Ozyhar, T., Depnering, T., Ridgway, C., Welker, M., Schoelkopf, J., Mayer, I. ve Thoemen, H. (2020). Utilization of inorganic mineral filler material as partial replacement for wood fiber in medium density fiberboard (MDF) and its effect on material properties. *European journal of wood and wood products*, 78, 75-84.
- Özluşoylu, İ. (2023). The Effect of Varnish Type, Glue Amount, and Density on the Surface Properties of Low Density Particleboards Produced From Waste Wood Bark. *BioResources*, 18(4).
- Öztürk, B. (2010). Hybrid effect in the mechanical properties of jute/rockwool hybrid fibres reinforced phenol formaldehyde composites. *Fibers and Polymers*, 11, 464-473.
- Ramírez, C.P., del Río Merino, M., Arrebola, C.V., Barriguete, A.V. ve Kosior-Kazberuk, M. (2019). Analysis of the mechanical behaviour of the cement mortars with additives of mineral wool fibres from recycling of CDW. *Construction and building materials*, 210, 56-62.
- TS EN 310 (1999). Ahşap esaslı levhalar-Eğilme dayanımı ve eğilme elastikiyet modülünün tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 312 (2012). Yonga levhalar- Özellikler Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 317 (1999). Yonga levhalar ve lif levhalar-Su içerisine daldırma işleminden sonra kalınlığına şişme tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 319 (1999). Yonga levhalar ve lif levhalar-Levha yüzeyine dik çekme dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 325 (1999). Ahşap esaslı levhalar-Deney numunelerinin boyutlarının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Turgay Akbulut, T., Ayrılmış, N., Özden, Ö. ve Avcı, E. (2021). Potential application of fibrous sludge waste from paper mills in particleboard production. *Forestist*, 71(1), 54-61. DOI: 10.5152/forestist.2020.20051
- Väntsi, O. ve Kärki, T. (2014). Mineral wool waste in Europe: a review of mineral wool waste quantity, quality, and current recycling methods. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 16, 62-72.
- Var, A.A. (2012). Borlu Madde Katılım Oranlarının Yongalevhanın Yüzey Sağlamlığına Katkıları. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 14(1. Special Issue), 112-119.
- Zihlif, A.M. ve Ragosta, G. (2003). A study on the physical properties of rock wool fiber-polystyrene composite. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 16(3), 273-283.