



Araştırma Makalesi

Karaçam (*Pinus nigra* J.F. Arnolds subsp.) Odunundan Orta Yoğunlukta Lif Levha (MDF) Üretimi

Mehmet Erdal Kara¹, Hüseyin Peker², Osman Çamlıbel^{3,*}, Ümit Ayata⁴ ve Göksel Ulay⁵

- ¹ Kastamonu Entegre Ağaç San. ve Tic. A.Ş., Kastamonu Organize Sanayi Bölgesi, 37200, Kastamonu/Türkiye
² Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstrisi Mühendisliği Bölümü, 08000, Artvin/Türkiye
³ Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale Meslek Yüksekokulu, İç Mekân Tasarımı Programı, 71450, Kırıkkale/Türkiye
⁴ Bayburt Üniversitesi, Sanat ve Tasarım Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Böl., 69000, Bayburt/Türkiye
⁵ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van Meslek Yüksekokulu, Mobilya ve Dekorasyon Pr., 65090, Van/Türkiye
* Sorumlu yazar: osmancamlibel@kku.edu.tr

Öz: Günümüzde orta yoğunlukta lif levha (MDF) üretiminde farklı tür ağaçlara ait odun yongaları kullanılmaktadır. Bu çalışmada, orta yoğunlukta lif levha (MDF) üretimi olarak karaçam (*Pinus nigra* J.F. Arnolds subsp.) odununa ait yongalar kullanılarak üretilen levhalar üzerinde mekanik, fiziksel, formaldehit emisyon testi ve yüzey pürüzlülüğüne ait özellikler araştırılmış olup, elde edilen sonuçlar MDF üretiminde istenilen standart değerlere göre hangi sonuçları verdiği belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, kalınlık 9.19 mm, yoğunluk değeri 712.37 kg/m³, rutubet %5.01, kalınlığına şişme (24 saat) % 14.12 ve su alma (24 saat) %41.28, yüzeye dik çekme direnci 0.78 N/mm², elastikiyet modülü 2992.87 N/mm² eğilme mukavemeti 28.55 N/mm², tolüen testi 159 cm, formaldehit emisyon testi 10.30 mg/100 gr ve yüzey pürüzlülüğü değerleri ise R_a için 3.18 μ m ve R_z için 23.43 μ m olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar neticesinde, yoğunluğun, rutubet değerinin, levha kalınlığının, formaldehit emisyon testi için E2 standardını ve yüzey pürüzlülüğüne ait parametrelerinin, yüzeye dik çekme direncinin, eğilme mukavemetinin ve elastikiyet modülünün istenilen standart değerleri açısından sağladıkları belirlenirken, yüzey sertliğinin, kalınlığına şişme testinin ve su alma testinin ise standart değerlerini sağlamadığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: karaçam; MDF; mekanik özellikler; fiziksel özellikler; teknolojik özellikler

Production of Medium Density Fiberboard (MDF) from Black Pine (*Pinus nigra* J.F. Arnolds subsp.) Wood

Atıf: Kara, M.E., Peker, H., Çamlıbel, O., Ayata, Ü. ve Ulay, G. Karaçam (*Pinus nigra* J.F. Arnolds subsp.) Odunundan Orta Yoğunlukta Lif Levha (MDF) Üretimi. Journal of GreenTech 2024, 2(2): 35-41.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.14549477>

Geliş: 29.10.2024
Revizyon: 12.12.2024
Kabul: 21.12.2024
Yayın: 31.12.2024



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract: Nowadays, different types of wood chips from various tree species are used in the production of medium-density fiberboard (MDF). This study investigates the mechanical, physical, formaldehyde emission tests, and surface roughness properties of boards produced using wood chips from black pine (*Pinus nigra* J.F. Arnolds subsp.). The results obtained are compared to the desired standard values for MDF production. According to the results, the thickness is 9.19 mm, the density is 712.37 kg/m³, the moisture content is 5.01%, thickness swelling (24 h) is 14.12%, and water absorption (24 h) is 41.28%. The surface perpendicular tensile strength is 0.78 N/mm², the modulus of elasticity is 2992.87 N/mm², bending strength is 28.55 N/mm², toluene test is 159 cm, formaldehyde emission test is 10.30 mg/100 g, and the surface roughness values are $R_a = 3.18 \mu$ m and $R_z = 23.43 \mu$ m. Based on these results, it was determined that the density, moisture content, board thickness, formaldehyde emission test met the E2 standard, while the parameters related to surface roughness, surface perpendicular tensile strength, bending strength, and modulus of elasticity also met the desired standard values. However, it was observed that the surface hardness, thickness swelling test, and water absorption test did not meet the standard values.

Keywords: black pine; MDF; mechanical properties; physical properties; technological features

1. Giriş

Sanayideki teknolojik ilerleme, düşük maliyetli ve yüksek verimli kaliteli malzemelerin üretilmesini sağlar. Ahşap endüstrisinin büyümesi, teknolojik yenilikler gerektirirken, ahşabın özgün anatomisi bu süreçlerin geliştirilmesi için yoğun araştırmalar yapılmasını gerektirmektedir (Deus ve ark., 2018).

Son yıllarda birçok ülkede kontrplak, yonga levha ve lif levha gibi ahşap esaslı kompozit panellere olan talep oldukça artmıştır. Lif levha, ahşap liflerinin bir bağlayıcı ile birleştirilip yüksek sıcaklık ve basınç altında karışımın sıcak preslenmesiyle oluşturulan bir ahşap esaslı kompozit üründür (Thoemen ve ark., 2010).

Ahşap kompozit malzemeler, kâğıt ve kontrplak gibi diğer ürünlerle karşılaştırıldığında çok eski olmayan ve nispeten yeni ahşap ürünler kategorisinde yer alan çeşitli lif levhalar, yonga levhalar, mineral bağlantılı ahşap esaslı paneller ve kalıplama ürünlerini içermektedir (Doosthoseini, 2012; Kouchaki-Penchah ve ark., 2016).

Orta yoğunluklu lif levha (MDF) (fonksiyonel birim: m³) şu anda dünya çapında üretilmekte ve kullanılmaktadır. MDF, lif levha sektörünün yaklaşık %88.77'sini temsil etmekte olup, 2016 yılında toplam üretimi 59.04 milyon m³ olduğu bildirilmiştir (Wang ve ark., 2018).

Lif levha - yapısal ve dekoratif - lignoselülozik liflerden yapılmış, lifsi-keçeli, homojen bir paneldir. Sentetik bir reçine veya başka uygun bir bağlayıcı sistem ile birleştirilmiş ve ısı ile basınç altında birbirine bağlanmıştır (ANSI, 1994; Ye ve ark., 2007).

MDF, ASTM (2016) tarafından "çoğunlukla selüloz liflerinden oluşan, birincil fiziksel bütünlüğünün ısı ve basınç altında kürlenmiş bir bağlama sisteminin eklenmesiyle sağlandığı bir kompozit panel ürünü" olarak tanımlanmaktadır (ASTM D 1554, 2016; Zimmer ve Bachmann, 2023).

Formaldehit bazlı yapıştırıcılar, şu anda MDF üretiminde kullanılmaktadır. Formaldehit bazlı reçinelerin kullanımında iki büyük dezavantaj bulunmaktadır: insan sağlığına zararlı uçucu organik bileşikler içermeleri ve formaldehit üretiminde kullanılan petrol bazlı hammaddelerin sınırlı olmasıdır (Kumar ve ark., 2002; Li ve ark., 2009).

Panel zımparalama, MDF imalatının son aşamasında kritik bir işlemdir çünkü hem ürünün kalınlığını hem de yüzey kalitesini belirlemektedirler (Ding ve ark., 2020).

Formaldehit (HCOH), ev inşaatında kullanılan preslenmiş ahşap ürünlerinden salındığı bilinen şüpheli bir insan kanserojenidir. Bu ürünlere, üre-formaldehit (UF) reçineleriyle (örneğin sunta, sert ağaç kontrplak, orta yoğunluklu lif levha (MDF) ve kaplama) ve fenol-formaldehit (PF) reçinesiyle (örneğin yumuşak ağaç kontrplak, yönlendirilmiş yonga levha) yapılan ürünler de dahil olmaktadır (Otson ve Fellin, 1992, Kelly ve ark., 1999; Kim ve Kim, 2005).

Yonga levha ve MDF mobilya üretmek için iyi olsa da bir tür toksik kimyasal ve çevresel hormon olan formaldehit emisyonunda kritik bir zayıflığa sahiptirler. Hem yonga levha hem de MDF, esas olarak yongalanmış ahşabı birleştirmek için kullanılan yapıştırıcılar nedeniyle formaldehit yayar. Çünkü ahşaptaki yongalama ve sertleştirme işlemleri sırasında kimyasallar nadiren kullanılır. Başka bir deyişle, yonga levha ve MDF'den yayılan formaldehitin ana kaynağı, yongalanmış ahşabı bir tahta şekline getirmek için birleştirmek için kullanılan yapıştırıcılarıdır. Formaldehit, insan göz ve cilt rahatsızlıklarını uyarabilir ve uzun süreli maruziyetten sonra solunum yolu hastalıklarına, atopiye ve kansere neden olabilmektedir (Kim, 2019).

Mobilya ve ahşap esaslı panel ürünlerinin emisyon özelliklerinin anlaşılması, etkili kaynak kontrol stratejileri önermek, zamanla değişen formaldehit konsantrasyonlarını simüle etmek ve gerçek binalardaki kullanıcıların maruziyetlerini tahmin etmek açısından anlam olmaktadır (Liang ve ark. 2016).

Literatürde farklı hammaddeler kullanılarak üretilen MDF çalışmaları bulunmaktadır. Bunlardan bazılarını örnek olarak;

Çamlıbel, (2020) tarafından dört farklı yüzde oranlarda tutkal katılarak ve %100 huş odununun liflerinden MDF üretimi yapılmıştır. Sonuçlara göre, levhalar üzerinde üre formaldehit tüketim % oranı arttıkça testlerde değerlerin azaldığı belirlenmiştir.

Çamlıbel ve Aydın, (2022) tarafından MDF üretim için demir ağacı odunu kullanılmıştır. Sonuçlara göre, levhaların fiziksel ve mekanik özellikleri çekme mukavemeti dışında TS EN standardının üzerinde belirlendiği tespit edilmiştir.

Çamlıbel, (2006) çalışmasında orman gülü, sarıçam ve saplı meşe lifleri ile farklı oranlarında (100:0, 75:25, 50:50, 25:75 ve 0:100) karıştırarak MDF levhaları üretmiştir. Sonuç olarak orman gülü hammaddesinin MDF üretiminde değerlendirilebileceğini bildirmiştir.

Yapılan bu çalışmalara ait bilgilerden yola çıkarak farklı türlerdeki odunsu materyallerin MDF üretiminde kullanılabileceği görülmektedir. Ama literatürde yapılan araştırma sonunda karaçam odunundan herhangi bir MDF bazlı ahşap ürünün üretilmediği görülmüştür.

Bu çalışmada, karaçam (*Pinus nigra* J.F. Arnolds subsp.) odunundan orta yoğunlukta lif levha (MDF) üretilmiş olup yapılan çeşitli testler ile MDF üretiminde istenilen standartları karşılayıp karşılamadıkları belirlenmiştir. Levhaların fiziksel özellikleri (kalınlık, yoğunluk, 2-24 saat suda kalınlığına şişme), mekanik özellikleri (eğilme mukavemeti, elastikiyet modülü, çekme mukavemeti ve janka yüzey sertlik mukavemeti) ve teknolojik özellikleri (tolüen testi, formaldehit emisyonu, yüzey pürüzlülüğü) ölçülmüştür.

2. Deneysel Çalışmalar

2.1. Materyal

Bu çalışmada, karaçam (*Pinus nigra* J.F. Arnolds subsp.) odunu kullanılmıştır. Kullanılan hammadde Batı Karadeniz Orman İşletme depolarından getirilmiştir. Reçine 0.96 mol üre formaldehit tutkalı Kastamonu Entegre Tutkal Tesislerinde üretimi gerçekleştirilmiştir. Tutkalın özellikleri; Katı madde: 64 ± 1 , üre-formaldehit mol oranı: 0.96, yoğunluk (20°C gr/cm³): 1.226, viskozite (25°C cps): 20-37 s, Jel time (100°C) (20% (NH₄)₂SO₄): 20-48 s, pH: 7.2- 8.6, serbest formaldehit: %0.25 maksimum, metilol grupları: %12-15, raf ömrü: 80 gündür. Üre formaldehit reçinesinin üretim esnasında sıcaklık altında sertleştirilmesinde katalizör olarak amonyum sülfat (NH₄)₂SO₄ kullanılmıştır. Gebze bölgesinden özel bir firmadan getirilmiştir. %20'lik amonyum sülfat solüsyonun özelliği; yoğunluğu: 0.98 gr/cm³, pH:6.5'dir. Kirli beyaz sıvı parafin Denizli ilinden Mercan Kimya A.Ş.'den tedarik edilmiştir. Katı madde: %60, pH: 9-11, Yoğunluğu: 0.98 gr/cm³ dir.

2.2. Metot

2.2.1. Üretim parametreleri

Bu çalışmada uygulanan parametreler Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo1. MDF sürekli pres üretim parametreleri.

Üretim	Parametreler	Levha
Hammadde	<i>Pinus nigra</i> J.F. Arnolds subsp. (%)	100
Üre Formaldehit (0.96 mol / %65 katı)	kg/m ³	85
Sıvı Parafin (%60 katı)	kg/m ³	3.5
Sertleştirici (%20 solüsyon)	kg/m ³	5.6
Sürekli Presleme Zamanı	saniye	85
Sürekli Presleme Basıncı	kg/cm ²	32
Sürekli Presleme Sıcaklığı	°C	220
Sürekli Presleme Hızı	mm/s	650
Levha Ölçüleri	mm	92 x 2100 x 8430

Test grubu levhası karaçam P₁₀₀ sembolize edilmiştir. Üretimde prosesinde, tek tip karaçamdan (0.715 gr/cm³) yoğunlukta MDF levhalar üretilmiştir. Test levhaları Kastamonu ilinde özel bir firmaya ait MDF test laboratuvarında analizleri yapılmıştır.

2.2.2. MDF levhaların üretimi

Orta yoğunlukta liflevha (MDF) üretiminde %100 karaçam üretiminde hammadde olarak kullanılmıştır. Hammadde batı Karadeniz Orman İşletme depolarından tedarik edilmiştir. Bu çalışmada %100 Karaçam yongaları yonga silosu boşaltma helezonu vasıtasıyla üretime verilmiştir. Yongalar üzerinde Dyne screen mekanik eleme sisteminde üretim standardına uygun boyutlarda yonga ayıklama işlemi yapılmıştır. Yongalar, ön pişirme silosunda 135°C 'de 2.5 bar buhar basıncı uygulanarak ön buharlama işlemi yapılmıştır. Buharlanan yongalar helezon vasıtasıyla Asplund-defibratör kazan sistemine taşınmıştır. Asplund-defibratörde 190°C ve 8.2 bar buhar basıncında 3 dakika süreyle pişirme işlemi yapılmıştır. Mantarlaşan yongalar boşaltma helezonu vasıtasıyla defibrilasyon işleminden önce sıvı parafin verilmiştir. Defibratör segmentlerinde lifler üretilmiştir. Üretilen liflere blow line site-

minde sırsıyla sertleştirici ve üre formaldehit tutkalı verilmiştir. Lifler kurutucuda %13 rutubete kadar kurutulmuştur. Kurutulan lifler bunkerler homojen karışımı tırmıklar vasıtasıyla sağlanmıştır. Serme istasyonunda lifler pasta haline getirilmiştir.

Ön presleme işleminde 120-150 kg/cm² basınç uygulanarak pastalara soğuk presleme yapılmıştır. Pastalar; sürekli sıcak presleme işlemi, pres sıcaklığı 220°C ve pres süresi 85 saniye, pres hızı 650 mm/s ve pres basıncı 32 kp/cm² basınç uygulanarak MDF levhaları üretilmiştir. Levhalar yıldız soğutucuda klimatize işlemi yapılmıştır. Levhalar ebatlama ünitesinde 9.2 x 2100 x 8430 mm ölçülerinde boyutlandırılmıştır (Tablo 2).

Tablo2 MDF üretimine ait önemli bilgiler.

Üretim Parametreleri		1m ² MDF Levha Üretiminde Kullanılan Tüketim
Pres Hızı	650 mm/s sürekli pres	-
Pres Sıcaklığı (°C)	220	-
Pres Modeli	Siempelkamp ContiRoll hot press 2008 model, Krefeld, Germany)	-
Pres Basıncı	35 kg/cm ²	-
Pres Süresi	85 saniye	-
U/F mtl Oranı	F/Ü 0.96	-
Bitkisel Materyal Türü (%)	%100 karaçam	-
Üre Formaldehit Katı Oranı (%)	64#10	-
Kuru Life Göre Reçine Katı Oranı (%)	13.50	85 kg/m ²
Kuru Life Göre Sertleştirici Katı Oranı (%)	%0.85	5.6 kg/m ²
Kuru Life Göre Parafin Katı Oranı (%)	%0.50	3.5 kg/m ²
Levha Boyutları (mm)	9.2 x 2100 x 8430	-

Levhalar stok alanında 4 gün dinlendirmeye alınmıştır. Levhalar dinlendirildikten sonra hem alt hem de üst yüzeyleri 40, 100 ve 140 kum zımpara kâğıdı ile zımpara işlemi yapılarak kalınlık 9.2 mm kalınlığında levha ürünü üretilmiştir. Deneme levhaları hava akımı olmayan yüzeyi düzgün beton zemin üstünde takoz üzerinde depolanmıştır.

Deney MDF levhaları %65±5 bağıl nem ve 20±2°C koşullarında %12 rutubete kadar TS 642-ISO 554 (1997) standardına göre kondisyonlama işlemi yapılmıştır.

2.2.3. Test metotları

Uygulan test standartları; TS EN 326-1 (1999) levhalar numunelerinin seçimi, kesimi, muayene ve deney sonuçlarının gösterilmesi, TS EN 324-1 (1999) levhaların kalınlık ölçümü tayini, TS EN 322 (1999) rutubet ölçümü tayini, TS EN 317 (1999) yongalevhalar ve liflevhalar su içinde daldırma işlemleri tayini, TS EN 323 (1999) ahşap yongalevhalar ve liflevhalar özgül kütle tayin işlemleri, TS EN 325 (2012) ahşap esaslı levhaların deney parçalarının boyutlarının tayini, TS EN 310 (1999) levhalarının mekanik özelliklerini ölçmek amacıyla, eğilme mukavemeti ve elastikiyet modülü tayini, TS EN 319 (1999) levhaların dik çekme mukavemeti tayini, TS EN 311 (2005) yüzey sertliği tayini, TS EN 382-1 (1999) tolüen testi tayini, TS EN ISO 12460-5 (2016) formaldehit emisyonu perforatör yöntemiyle analiz, ASTM D 1037-12 (2020) levhaların yüzey janka sertlik mukavemet ölçümleri, ISO 21920-2 (2021) levhaların yüzey pürüzlülüğü ölçüm metodu yapılmıştır.

2.2.4. İstatistiksel analiz

Testlerde 130 adet ölçüm yapılmıştır. Her bir test grubundan 10 adet ölçüm yapılmıştır. Bir istatistik programı ile varyasyon katsayıları, standart sapmaları, maksimum ve minimum ortalama değerleri ve ortalamaya ait olan ölçüm değerleri hesaplanmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Üretilen MDF panellerin fiziksel, mekanik, teknolojik özellikleri üzerine analizler yapılmıştır. Fiziksel özellikler; levha kalınlığı, rutubet oranı, levha yoğunluğu, kalınlığına şişme ve su alma sonuçları Tablo 3'te sunulmaktadır.

Bu sonuçlara göre, levhaların fiziksel özellikleri; kalınlık 9.19 mm, yoğunluk değeri 712.37 kg/m³, rutubet %5.01, kalınlığına şişme (24 saat) % 14.12 ve su alma (24 saat) %41.28 olarak elde edilmiştir. Standart değerleri ile bu araştırmada elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, levha kalınlık, yoğunluk, rutubet istenilen değerden yukarı olarak belirlendiği

standartları sağladığı görülmüştür. Fakat kalınlığına şişme, su alma testlerinin istenilen değerden yukarı olarak ölçüldüğünden dolayı standartlara ait değerleri sağlamadığı görülmüştür (Tablo 3).

Çamlıbel ve Aydın, (2022) tarafından yapılan çalışmada demir ağacı odunu kullanılarak üretilen MDF panellerinde levhaların kalınlığına ait şişme değerleri 2 ve 24 saat için sırasıyla %2.53 ve %6.01, yoğunluk değeri 0.694 g/cm³ ve rutubet değerleri ise %5.01 olarak bulunmuştur.

Tablo3. Üretilen MDF panelleri fiziksel özellikleri üzerinde belirlenmiş olan; levha kalınlığı, rutubet oranı, levha yoğunluğu, kalınlığına şişme, su alma ait sonuçları.

Gruplar	Kalınlık	Rutubet	Yoğunluk	Kalınlığına Şişme (24 saat)	Su Alma (24 saat)
MDF için Standartlar	TS EN324 -1	TS EN322	TS EN323	TS EN317	TS EN317
MDF için Limit Değerler	9±0.2	4 - 11	650 - 800	≤ 12	Maksimum 40
Örnek Sayısı	mm	%	kg/m³	%	%
1	9.19	5.35	701.93	14.41	37.04
2	9.18	5.15	722.46	13.58	35.32
3	9.18	5.14	728.10	13.44	36.27
4	9.19	4.91	735.82	13.47	35.18
5	9.20	4.70	732.22	14.98	41.01
6	9.19	4.79	721.05	14.72	42.57
7	9.20	4.83	701.05	14.35	44.02
8	9.20	5.14	697.94	14.14	44.87
9	9.20	5.13	678.59	14.24	47.66
10	9.19	4.98	704.53	13.90	48.88
Ortalamalar	9.19	5.01	712.37	14.12	41.28
Standart Sapma	0.01	0.20	18.31	0.53	5.13
Minimum Değer	9.18	4.70	678.59	13.44	35.18
Maksimum Değer	9.20	5.35	735.82	14.98	48.88
Varyasyon Katsayısı	0.09	4.07	2.57	3.72	12.42

Üretilen MDF panelleri mekanik özellikleri; yüzey sertliği, yüzeye dik çekme, eğilme direnci ve elastikiyet modülü sonuçları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Üretilen MDF panelleri mekanik özellikleri üzerinde belirlenmiş olan eğilme direnci, elastikiyet modülü, yüzeye dik çekme ve yüzey sertliği sonuçları.

Gruplar	Eğilme Direnci	Elastikiyet Modülü	Yüzeye Dik Çekme Direnci	Yüzey Sertliği
MDF için Standartlar	TS EN310	TS EN310	TS EN319	ASTM D1037 - 12
MDF için Limit Değerler	≥ 20	≥ 2200	≥ 0.55	≥ 1
Örnek Sayısı	N/mm²	N/mm²	N/mm²	N/mm²
1	30.56	3011.62	0.83	0.99
2	29.05	3143.27	0.85	0.86
3	33.23	3193.59	0.85	0.95
4	31.57	3058.91	0.83	0.78
5	24.50	2671.55	0.95	0.78
6	34.39	2875.89	0.70	0.79
7	27.17	2997.23	0.52	0.88
8	28.18	2987.88	0.81	0.85
9	28.14	3043.21	0.82	0.82
10	28.76	2945.55	0.68	0.88
Ortalamalar	28.55	2992.87	0.78	0.86
Standart Sapma	2.82	145.06	0.12	0.07
Minimum Değer	24.39	2671.55	0.52	0.78
Maksimum Değer	33.23	3193.59	0.95	0.99
Varyasyon Katsayısı	9.86	4.85	15.55	8.22

Tablo 4'teki verilere göre; yüzeye dik çekme direnci 0.78 N/mm², elastikiyet modülü 2992.87 N/mm², eğilme mukavemeti 28.55 N/mm² olarak bulunmuş ve istenilen değer üzerinde ölçüldüğünden standartları sağladığı görülmüştür. Fakat yüzey sertliği 0.86 N/mm² ölçülmüş ve istenilen değerden yukarı olarak ölçüldüğünden standartları sağlamadığı görülmüştür. Üretilen MDF panelleri üzerinde belirlenmiş olan formaldehit emisyon testi ve yüzey pürüzlülüğüne ait sonuçları Tablo 5'te sunulmuştur.

Tablo 5. Üretilen MDF panelleri teknolojik özellikleri; tolüen testi, formaldehit emisyonu ve yüzey pürüzlülüğü test sonuçları.

Gruplar	Tolüen	Formaldehit Emisyon Testi		Yüzey Pürüzlülüğü	
		TS EN 382-1 Minimum 150	TS EN ISO 12460-5 mg/100 gr	R _a	R _z
MDF için Standartlar					
MDF için Limit Değerler					
Örnek Sayısı	cm	E ₁ ≤ 8	E ₂ ≤ 8-30	≤ 12 µm	Maksimum 40 µm
1	140		10.40	3.59	23.43
2	158		10.45	3.54	24.56
3	160		10.04	3.18	23.98
4	165		11.01	3.73	24.87
5	155		10.23	2.94	22.87
6	165		10.23	2.83	23.15
7	160		10.32	2.89	22.87
8	170		10.09	2.78	22.56
9	166		10.21	3.12	22.01
10	158		9.98	3.17	24.02
Ortalamalar	159.70		10.30	3.18	23.43
Standart Sapma	8.29		0.29	0.34	0.91
Minimum Değer	140		9.98	2.78	22.01
Maksimum Değer	170		11.01	3.73	24.87
Varyasyon Katsayısı	5.19		2.84	10.64	3.89

Sonuçlara göre, tolüen testi 159 cm, formaldehit emisyon testi 10.30 mg/100 gr ve yüzey pürüzlülüğü değerleri ise R_a için 3.18 µm ve R_z için 23.43 µm olarak buldukları görülmektedir. Standartlar ile bu çalışmada bulunan sonuçlar kıyaslandığında, formaldehit emisyonu; 10.30 mg/100 gr analiz sonucu E₁ yakın E₂ sınıfında yer almaktadır (Tablo 5).

Yapışma ve boya tutma, estetik, yüzey hazırlığı ve tutuşma özellikleri açısından MDF panellerinde yüzey pürüzlülüğü önemli olmaktadır. Yüzey pürüzlülüğüne ait parametreleri R_a: 3.18 µm ve R_z: 23.43 µm ölçüm sonuçları levha yüzeyinin pürüzsüz olduğu ölçülmüştür (Tablo 5).

Çamlıbel ve ark., (2024) tarafından yapılan ahşap bazlı kompozit yüzey kaplı yonga levhaların formaldehit gaz emisyonu ve uygulanan standartlar konulu çalışmada MDF levhalarının perforatör yöntemiyle formaldehit gaz emisyonunun E₂ ≤ 8-30 mg/100 gr değer aralığına ait E₂ sınıfında yer aldığını bildirmişlerdir.

4. Sonuçlar ve Öneriler

Çalışmada elde edilen sonuçlar neticesinde; kalınlığına şişme testinin, yüzey sertliği testinin ve su alma testinin istenilen standart değerlerine sahip olmadıkları belirlenmiştir. Bu testlerin istenilen standart değerleri sağlanması için, daha yüksek özellikte bağlayıcıların kullanılması, buna ek olarak, presleme sıcaklığı, zamanı ve basıncını kullanarak farklı parametrelere ait levhaların üretilmesi önerilmektedir.

Yazar Katkıları: Kavramsallaştırma, E.K., H.P., O.Ç., G.U. ve Ü.A.; metodoloji, O.Ç. ve E.K.; yazılım, O.Ç. ve H.P.; doğrulama, E.K., H.P. ve O.Ç.; içerik analizi, E.K., H.P., O.Ç., G.U. ve Ü.A.; araştırma, E.K., H.P., O.Ç. ve Ü.A.; çalışma olanakları, E.K. ve O.Ç.; veri düzenleme, E.K., H.P. ve O.Ç.; yazma—orijinal taslak hazırlama, E.K., H.P., O.Ç., G.U. ve Ü.A.; yazma—inceleme ve düzenleme, E.K., H.P., O.Ç., G.U. ve Ü.A.; görselleştirme, O.Ç. ve Ü.A.; süpervizyon, E.K. ve O.Ç.; proje yönetimi, E.K., H.P., O.Ç. ve Ü.A.; fon sağlama, E.K., H.P., G.U. ve O.Ç. Tüm yazarlar makalenin yayınlanan versiyonunu okumuş ve kabul etmiştir.

Teşekkür: Kastamonu Entegre Ağaç San. ve Tic. A.Ş., Kastamonu Fabrika direktörü ve yöneticilerinin yardımlarından dolayı teşekkür ederiz.

Çıkar Çatışmaları: Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

Kaynaklar

- ANSI Standards, A208.2-1994. (1994). Medium Density Fiberboard (MDF), National Particleboard Association, Gaithersburg, MD.
- ASTM D 1554. (2016). Standard terminology relating to wood-base fiber and particle panel materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016, DOI: 10.1520/D1554-10R16. DOI: 10.1520/D1554-10R16.
- ASTM D1037-12. (2020). Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials American Society for Testing and Materials, Philadelphia Pa.
- Çamlıbel, O. (2006). Ormangülü biyokütlesinden (*Rhododendron Pontificum* L.) MDF (orta yoğunlukta lif levha) üretimi olanaklarının araştırılması, Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Düzce.

- Çamlıbel, O. (2020). Huş (*Betula pendula* L.) odunu biokütlesinden orta yoğunlukta lif levha (MDF) üretimi, *Turkish Journal of Forestry*, 21(2): 174-178. DOI: 10.18182/tjf.731926.
- Çamlıbel, O., Ayata, Ü., Budak, A. & Yüksek, D. (2024). Ahşap bazlı kompozit yüzey kaplı yonga levhaların formaldehit gaz misyonu ve uygulanan standartlar, *OKU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(2): 592-609. DOI: 10.47495/okufbed.1325037.
- Çamlıbel, O. & Aydın, M., (2022). Demir ağacı (*Casuarina equisetifolia* L.) odunundan üretilen orta yoğunlukta lif levhaların (MDF) fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırılması, *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 9(4): 892-899. DOI: 10.30910/turkjans.1098882.
- Deus, P.R., Alves, M.C., Vieira, F.H. & Bilesky, L.R. (2018). Analysis of the cutting parameters in front milling for medium density fiberboard, *BioResources*, 13(2): 3404-3410. DOI: 10.15376/biores.13.2.3404-3410.
- Ding, T., Zhao, J., Zhu, N. & Wang, C. (2020). A comparative study of morphological characteristics of medium-density fiberboard dust by sieve and image analyses, *Journal of Wood Science*, 66: 1-9. DOI: 10.1186/s10086-020-01896-x.
- Doosthoseini, K. (2012). *Manufacturing and Application of Wood Composite Materials*, University of Tehran press, (in Persian).
- ISO 21920-2. (2021). *Geometrical Product Specifications Surface Texture Profile Method Terms. Definitions and Surface Texture Parameters*, International Standart Organization.
- Kelly, T. J., Smith, D. L., & Satola, J. (1999). Emission rates of formaldehyde from materials and consumer products found in California homes. *Environmental Science & Technology*, 33(1), 81-88. DOI: 10.1021/es980592+.
- Kim, S., and Kim, H.J., (2005). Comparison of standard methods and gas chromatography method in determination of formaldehyde emission from MDF bonded with formaldehyde-based resins. *Bioresource Technology*, 96(13): 1457-1464. DOI: 10.1016/j.biortech.2004.12.003.
- Kim, T., (2019). Production planning to reduce production cost and formaldehyde emission in furniture production process using medium-density fiberboard. *Processes*, 7(8): 529. DOI: 10.3390/pr7080529.
- Kouchaki-Penchah, H., Sharifi, M., Mousazadeh, H. & Zarea-Hosseinabadi, H. (2016). Life cycle assessment of medium-density fiberboard manufacturing process in Islamic Republic of Iran, *Journal of Cleaner Production*, 112: 351-358. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.07.049.
- Kumar, R., Choudhary, V., Mishra, S., Varma, I. K. & Mattiason, B. (2002). Adhesives and plastics based on soy protein products, *Industrial crops and products*, 16(3): 155-172. DOI: 10.1016/S0926-6690(02)00007-9.
- Li, X., Li, Y., Zhong, Z., Wang, D., Ratto, J.A., Sheng, K. & Sun, X.S. (2009). Mechanical and water soaking properties of medium density fiberboard with wood fiber and soybean protein adhesive, *Bioresource Technology*, 100(14): 3556-3562. DOI: 10.1016/j.biortech.2009.02.048.
- Liang, W., Lv, M. & Yang, X. (2016). The combined effects of temperature and humidity on initial emittable formaldehyde concentration of a medium-density fiberboard, *Building and Environment*, 98: 80-88. DOI: 10.1016/j.buildenv.2015.12.024.
- Otson, R., & Fellin, P. (1992). *Characterization and cycling. Gaseous pollutants*. New York: John Wiley and Sons, 335-421.
- Thoemen, H., Irle, M. & Sernek, M. (2010). *Wood-Based Panels: An Introduction for Specialist*. Published by Brunel University Press, London.
- TS 642-ISO 554. (1997). *Kondisyonlama ve/veya Deney İçin Standart Atmosfer - Özellikler*, TSE, Ankara.
- TS EN 310. (1999). *Ahşap esaslı levhalar-Eğilme dayanımı ve eğilme elastikiyet modülünün tayini*, TSE, Ankara.
- TS EN 311. (2005). *Ahşap esaslı levhalar - Yüzey sağlamlığı - Deney metodu*, TSE, Ankara.
- TS EN 317. (1999). *Yonga levhalar ve lif levhalar-Su içerisine daldırma işleminden sonra kalınlığına şişme tayini*, TSE, Ankara.
- TS EN 319. (1999). *Yonga levhalar ve lif levhalar-Levha yüzeyine dik çekme dayanımının tayini*, TSE, Ankara.
- TS EN 322. (1999). *Ahşap esaslı levhalar-Rutubet miktarının tayini*, TSE, Ankara.
- TS EN 323. (1999). *Ahşap esaslı levhalar-Birim hacim ağırlığının tayini*, TSE, Ankara.
- TS EN 324-1. (1999). *Ahşap esaslı levhalar-Levha boyutlarının tayini-Bölüm 1: Kalınlık, genişlik ve uzunluğun tayini*, TSE, Ankara.
- TS EN 325. (2012). *Ahşap esaslı levhalar - Deney parça boyutlarının tayini*, TSE, Ankara.
- TS EN 326-1. (1999). *Ahşap esaslı levhalar-Numune alma kesme ve muayene bölüm 1:Deney numunelerinin seçimi, kesimi ve deney sonuçlarının gösterilmesi*, TSE, Ankara.
- TS EN 382-1. (1999). *Lif levhalar, yüzey absorpsiyonu tayini; Bölüm 1: Kuru metodla üretilen lif levhalarda deney metodu*, TSE, Ankara.
- TS EN ISO 12460-5. (2016). *Ahşap esaslı levhalar- Formaldehit salımının belirlenmesi- Bölüm 5: ekstraksiyon yöntemini (perforatör yöntemi olarak adlandırılan)*, TSE, Ankara.
- Wang, S., Wang, W. & Yang, H. (2018). Comparison of product carbon footprint protocols: case study on medium-density fiberboard in China, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(10): 2060. DOI: 10.3390/ijerph15102060.
- Ye, X.P., Julson, J., Kuo, M., Womac, A. & Myers, D. (2007). Properties of medium density fiberboards made from renewable biomass, *Bioresource Technology*, 98(5): 1077-1084. DOI: 10.1016/j.biortech.2006.04.022.
- Zimmer, A. & Bachmann, S.A.L. (2023). Challenges for recycling medium-density fiberboard (MDF), *Results in Engineering*, 19: 101277. DOI: 10.1016/j.rineng.2023.101277.

Yasal Uyarı/Sorumluluk Reddi: Tüm yayınlarda yer alan ifadeler, görüşler ve veriler yalnızca yazarlara ve (varsa) katkıda bulunanlara aittir; *Journal of Green Technology and Environment* ve/veya editörlerine ait değildir. *Journal of Green Technology and Environment* ve/veya editörleri, içerikte atıfta bulunulan herhangi bir fikir, yöntem, talimat veya üründen kaynaklanan, insanlara veya mallara gelebilecek herhangi bir zararın sorumluluğunu reddeder.