



Mobilya endüstrisinde MDF levhalarda yüzey pürüzlülüğü ve yapışma performansına kesim parametrelerinin etkileri

İzham Kılınç* 

ÖZ: Bu çalışmada, farklı yoğunluk seviyelerine sahip orta yoğunluklu lif levhalarda (MDF) kesim parametrelerinin kenar yüzey pürüzlülüğü (Ra) ve Polivinilklorür (PVC) kenar bantlarının yapışma direnci üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Deneylerde 18 mm kalınlığında, düşük (0,65 g/cm³) ve yüksek (0,72 g/cm³) yoğunlukta MDF levhalar kullanılmıştır. Kesimler, 96 dişli ATB geometriye sahip daire testere ile 3000 ve 4500 dev/dk dönme hızlarında ve 6, 9, 12 m/dk ilerleme hızlarında gerçekleştirilmiştir. Kesim sonrası yüzey pürüzlülüğü ölçümleri TS EN ISO 21920-2 standardına uygun olarak yapılmış, yapışma direnci ise ASTM D6862 standardına göre 90° soyma testi ile belirlenmiştir. Varyans analizi (ANOVA) sonuçlarına göre yoğunluk, dönme hızı ve ilerleme hızı faktörlerinin hem yüzey pürüzlülüğü hem de yapışma direnci üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkileri bulunmuştur ($p < 0,05$). Yüksek yoğunluklu MDF, yüksek dönme hızı ve düşük ilerleme hızı koşullarında en düşük Ra (3,91 µm) ve en yüksek yapışma direnci (5,87 N/mm) değerlerini vermiştir. Ayrıca yüzey pürüzlülüğü ile yapışma direnci arasında negatif yönlü güçlü bir korelasyon ($r = -0,72$; $p < 0,001$) belirlenmiştir. Sonuç olarak, MDF'nin işlenmesinde özellikle yüksek yoğunluklu levhaların ve yüksek dönme hızı ile düşük ilerleme hızı parametrelerinin seçilmesinin, hem yüzey kalitesini hem de PVC kenar bantlarının yapışma performansını optimize ederek artırdığı ortaya konmuştur.

Anahtar kelimeler: Kenar Bantlama, MDF, Yapışma Direnci, Yüzey Pürüzlülüğü

Effects of cutting parameters on surface roughness and adhesion performance of MDF panels in the furniture industry

ABSTRACT: In this study, the effects of cutting parameters on edge surface roughness (Ra) and adhesion strength of Polyvinyl Chloride (PVC) edge bands in medium-density fiberboard (MDF) with different density levels were investigated. MDF panels with 18 mm thickness and two density levels (low: 0.65 g/cm³ and high: 0.72 g/cm³) were used in the experiments. Cutting was performed using a 96-tooth circular saw blade with an alternate top bevel (ATB) geometry at spindle speeds of 3000 and 4500 rpm and feed rates of 6, 9, and 12 m/min. Surface roughness was measured according to TS EN ISO 21920-2, while adhesion strength was determined by the 90° peel test in accordance with ASTM D6862. Analysis of variance (ANOVA) revealed that density, spindle speed, and feed rate had statistically significant effects on both surface roughness and adhesion strength ($p < 0.05$). High-density MDF combined with higher spindle speed and lower feed rate yielded the lowest Ra value (3.91 µm) and the highest adhesion strength (5.87 N/mm). Furthermore, a strong negative correlation was found between surface roughness and adhesion strength ($r = -0.72$; $p < 0.001$). Overall, the findings demonstrated that selecting appropriate cutting parameters in MDF processing improves both surface quality and the adhesion performance of PVC edge bands.

Keywords: Adhesion Strength, Edge Banding, MDF, Surface Roughness

1 Giriş

Ahşap esaslı levhalar, özellikle orta yoğunluklu lif levhalar (MDF), mobilya ve iç mekân endüstrisinde yaygın kullanım alanı bulmaktadır. Liflerin reçine ve katkılarla ısı ve basınç altında birleştirilmesiyle üretilen MDF, homojen yapısı sayesinde doğal ahşaba kıyasla daha öngörülebilir işlenebilirlik ve yüzey kalitesi sunmaktadır. Bununla birlikte, işleme sırasında ortaya çıkan yüzey kusurları, özellikle kenar bantlama uygulamalarında yapışma performansını doğrudan etkilemektedir (Karaman, 2021; Demir ve ark., 2021). Kenar bantlama işlemi, MDF levhaların estetik görünümünü iyileştirmenin yanı sıra darbe direnci ve nem direncini artırmak amacıyla gerçekleştirilmektedir. Bu bağlamda, yüzey kalitesi ile kenar bantlarının yapışma gücü arasında yakın bir ilişki olduğu literatürde sıklıkla vurgulanmaktadır (Rudawska, 2020).

MDF levhaların yoğunluğu, liflerin sıkışma derecesini ve iç gözenek yapısını belirleyerek hem işlenebilirliği hem de yüzey pürüzlülüğünü etkilemektedir. Yoğunluğun yanı sıra, yüzey pürüzlülüğü üretimde kullanılan odun liflerinin morfolojik özelliklerine, reçine tipine (Hiziroğlu ve Suzuki, 2007) ve özellikle levha üretim hattındaki son kalibrasyon/zımparalama işlemlerinin kalitesine (Palija ve ark., 2019) yakından bağlıdır. Yoğunluğu yüksek levhalarda lifler daha sıkı bir şekilde bağlandığından, yüzey kalitesi genellikle daha düzgün olurken, düşük yoğunluklu levhalarda liflerin gevşek yapısı pürüzlülüğü artırabilmektedir. Bu durum, MDF'nin yüzey özellikleriyle bağlantılı olarak tutkal ıslanabilirliği ve yapışma direncini de etkilemektedir (Kúdela ve Liptáková, 2006; Kureli ve Doğanay, 2015).

Kesim işlemlerinde kullanılan parametreler de yüzey pürüzlülüğü üzerinde kritik rol oynamaktadır. Özellikle yatar daire testere gibi döner kesim sistemlerinde dönme hızı (İşleyen ve Karamanoğlu, 2019) ve ilerleme hızı (Sütçü ve Karagöz, 2012) kenar yüzey kalitesini belirleyen en önemli faktörlerdendir. Literatürde yüksek dönme hızı ile düşük ilerleme hızının daha düşük yüzey pürüzlülüğü sağladığı; buna karşılık ilerleme hızının artmasıyla pürüzlülüğün yükseldiği sıkça rapor edilmiştir (Davim ve ark., 2009; Sütçü ve Karagöz, 2012). Ayrıca kesim parametrelerinin yalnızca yüzey kalitesi değil, iş sağlığı ve güvenliği açısından da (örneğin; toz ve gürültü oluşumu) önemli çıktılar üzerinde etkili olduğu bildirilmektedir (Gül ve Korkmaz, 2025). Bunun yanında, bazı çalışmalarda malzeme sıcaklığı gibi çevresel koşulların da yüzey pürüzlülüğünü doğrudan etkileyebildiği ortaya konmuştur (Korkmaz ve ark., 2024). Ancak bazı çalışmalar, kesim derinliği ya da testere geometrisi gibi parametrelerin yüzey pürüzlülüğü üzerinde sınırlı etkili olabileceğini göstermektedir (İşleyen ve Karamanoğlu, 2015; Li ve ark., 2017). Bu nedenle, yüzey kalitesinin yalnızca tek bir parametreye değil, kesim sürecindeki değişkenlerin birlikte etkisine bağlı olduğu kabul edilmektedir.

Yüzey pürüzlülüğünün, PVC kenar bantlarının yapışma direnci üzerinde doğrudan etkisi bulunduğu birçok çalışmada gösterilmiştir (Özdemir ve Hiziroğlu, 2009; Budhe ve ark., 2015a; Kureli ve Doğanay, 2015). Yapışma mekanizması hem mekanik kilitlenmeye hem moleküler bağlanmaya dayandığından, optimum yüzey pürüzlülüğü düzeyi tutkalın yüzeye nüfuz etmesini ve güçlü bir yapışma sağlamayı desteklemektedir. Ancak yüzey çok pürüzlü olursa temas yüzeyi azalabilir; çok düzgün olması durumunda da tutkal nüfuz kabiliyeti düşebilir.

Kenar bant kalınlığı da yapışma performansında önemli bir değişkendir. PVC bantlarda yaygın olarak kullanılan kalınlık olan 0.80 mm, bazı çalışmalarda yapışma / gömme dayanımı açısından daha yüksek performans göstermiştir (Vlaović ve ark., 2024; Karaman ve ark., 2025). Bu sebeple, literatürde sıkça tercih edilen bant kalınlığından yola çıkılarak yapılacak

değerlendirmelerin, çalışmanın hem akademik hem de pratik geçerliliğini artırabileceği düşünülmektedir.

Bu çalışmanın amacı; farklı yoğunluk düzeylerine sahip orta yoğunluklu lif levhalarda (MDF) yoğunluk, dönme hızı ve ilerleme hızı gibi kesim parametrelerinin kenar yüzey pürüzlülüğü (R_a) ile 0,80 mm kalınlığındaki PVC kenar bantlarının yapışma direnci üzerindeki etkilerini istatistiksel olarak ortaya koymak ve bu bulgular doğrultusunda optimum kesim koşullarını tanımlamaktır.

2 Materyal ve Metot

2.1 Materyal

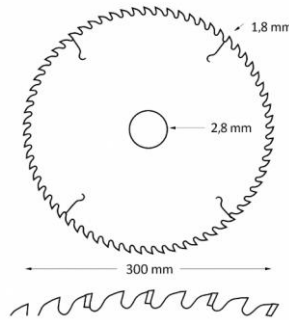
Bu çalışmada mobilya endüstrisinde yaygın olarak kullanılan düşük ve yüksek yoğunlukta MDF levhaları kullanılmıştır. Levhalar 18 mm kalınlıkta olup, deneylerden önce 23 ± 2 °C sıcaklık ve $\%50 \pm 5$ bağıl nem koşullarında 24 saat boyunca kondisyonlanmıştır. Çalışmada kullanılan MDF levhaların yoğunluk değerleri ve nem içerikleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Deneylerde kullanılmak üzere MDF levhalar 200×100 mm boyutlarında kesilmiştir. Kesim işlemleri, üç fazlı elektrik motoru ile çalışan bir yatar daire testere makinesinde gerçekleştirilmiştir. Tezgâh, yüksüz durumda 3000 ve 4500 dev/dk olmak üzere iki farklı dönme hızında çalışabilmektedir. İlerleme hızları ise 6, 9 ve 12 m/dk olarak uygulanmıştır. Sabit ilerleme hızını sağlamak için dört tekerlekli bir itici düzenek kullanılmıştır.

Çizelge 1. MDF örneklerinin yoğunluk ve nem değerleri

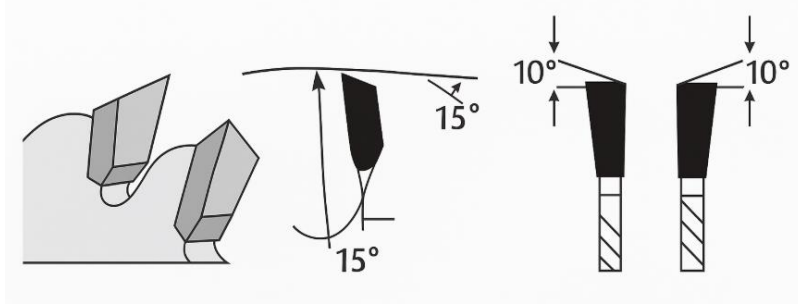
Malzeme	Ortalama Yoğunluk (g/cm ³)	Nem İçeriği (%)
MDF – Düşük Yoğunluk	0.65	7.5
MDF – Yüksek Yoğunluk	0.72	7.8

Kesimlerde alternat tepe açılı (ATB) geometriye sahip, 300 mm çapında, 96 dişli daire testere bıçakları kullanılmıştır. Bıçakların plaka kalınlığı 1,8 mm, kesim genişliği (kerf) ise 2,8 mm’dir (Şekil 1). Tüm kesimlerde kullanılmamış bıçaklar tercih edilmiş ve bıçak aşınmasının deney sonuçlarını etkilememesine özen gösterilmiştir. Kesimlerin ardından numunelerin kenar yüzeyleri tozdan arındırılmış ve bantlama/test işlemlerine hazır hale getirilmiştir.



Şekil 1. Deneylerde kullanılan 96 dişli ATB daire testere bıçığının şematik gösterimi.

Kullanılan testere bıçaklarının diş geometrileri aynı olup, tamamı ATB formundadır. Şekil 2’de testere dişlerine ait bazı geometrik özellikler (15° kesme açısı ve 10° eğim açısı) gösterilmiştir.



Şekil 2. Deneylerde kullanılan testere dişlerinin geometrik özellikleri

Kenar bantlama işlemlerinde, mobilya endüstrisinde neme karşı direnci, darbe dayanımı, estetik çeşitliliği ve uygulama kolaylığı gibi avantajları nedeniyle yaygın olarak tercih edilen 0.80 mm kalınlığında PVC kenar bandı ve EVA bazlı hotmelt tutkal kullanılmıştır. Tutkal, uygulama öncesinde $190 \pm 10^\circ\text{C}$ sıcaklıkta eritilmiş ve silindir sistemi aracılığıyla MDF kenarına yaklaşık 200 g/m^2 olacak şekilde film halinde yayılmıştır. PVC bant, baskı silindirleri yardımıyla yüzeye preslenmiş, hat ilerleme hızı ise 6 – 12 m/dk arasında ayarlanmıştır. Minimum parça uzunluğu sınırlaması nedeniyle numuneler önce $200 \times 100\text{ mm}$ boyutlarında bantlanmış, ardından yapışma testlerinde kullanılmak üzere 100 mm uzunluğunda kesilmiştir. Bantlama işlemi sonrası numuneler oda koşullarında 24 saat kondisyonlanmıştır.

2.2 Metot

2.2.1 Yüzey pürüzlülüğü testi

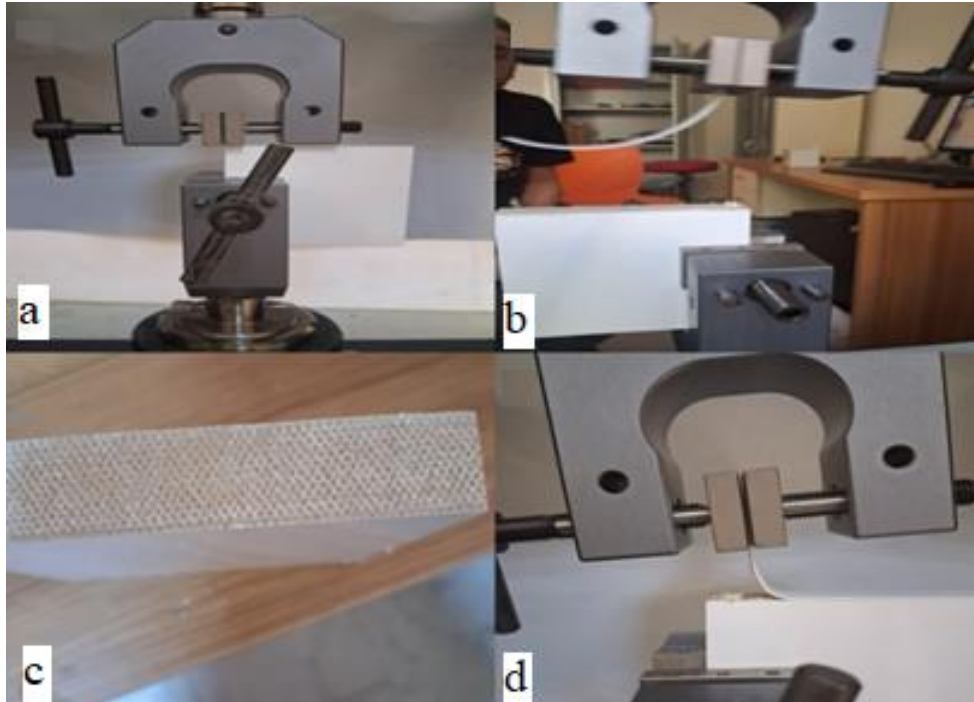
Pürüzlülük ölçümleri, TS EN ISO 21920-2 (2022) standardına göre, $0,01\text{ }\mu\text{m}$ hassasiyete sahip kalibreli Time TR 110 marka yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılarak yapılmıştır. Çalışmadaki 12 farklı deney kombinasyonunun her biri için 10 tekrar ($n=10$) olmak üzere toplam 120 örnek üzerinde ölçüm gerçekleştirilmiştir. Her bir örnekte, önceden belirlenmiş üç farklı bölgeden ölçüm alınmış ve bu üç ölçümün aritmetik ortalaması, o örneğin nihai ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değeri olarak hesaplanmıştır (Şekil 3). Ölçümler, $5\text{ }\mu\text{m}$ çaplı iğnenin 1,2 mm’lik kesme uzunluğu ile liflere dik yönde hareketi sayesinde $23 \pm 2^\circ\text{C}$ sıcaklık ve $50 \pm 5\%$ bağıl nem koşullarında yapılmıştır.



Şekil 3. Pürüzlülük ölçüm işlemi.

2.2.2 Yapışma direnci testi

PVC kenar bantlarının yapışma dayanımı, ASTM D6862 (2004) standardına göre 90° soyma testi ile belirlenmiştir. Testler, Shimadzu AG-IC universal test cihazında, 5 kN yük hücresi ile 100 mm/dk çekme hızında gerçekleştirilmiştir (Şekil 4). Numunelerin kenar bantları hazırlanırken, üst çenenin kavrayabilmesi için bant uçları yaklaşık 25 mm serbest bırakılmıştır. Test sırasında numuneler alt çeneye sabitlenmiş, bant ise üst çeneye bağlanarak 90° açıyla yukarı yönde soyulmuştur. İlk 10 mm'lik bölüm başlangıç etkileri nedeniyle değerlendirme dışı tutulmuş, daha sonra elde edilen kuvvet değerleri bant genişliğine bölünerek soyma direnci (N/mm) hesaplanmıştır. Çalışmadaki 12 farklı deney kombinasyonunun her biri için beş tekrar ($n = 5$) olmak üzere, toplam 60 örnek üzerinde soyma testi yapılmış ve sonuçlar ortalama $\pm$ standart sapma şeklinde verilmiştir.



Şekil 4. Yapışma direnci testi. Numunenin cihaza yerleştirilmesi (a), deney sonrası çenede kalan kenar bandı (b), yüzeyde tutkal dağılımı (c) ve bandın 90° açıyla soyulma başlangıcı (d)

2.2.3 İstatistik hesaplarının yapılması

Çalışma, 2 (Yoğunluk) $\times$ 2 (Dönme hızı) $\times$ 3 (İlerleme hızı) seviyeli tam faktöriyel desene göre tasarlanmış olup, toplam 12 farklı deney kombinasyonundan elde edilen verilerin değerlendirilmesinde varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır. Yoğunluk (A), dönme hızı (B) ve ilerleme hızı (C) ana faktörlerinin yanı sıra bu faktörlerin ikili ($A \times B$, $A \times C$, $B \times C$) ve üçlü ($A \times B \times C$) etkileşimlerinin anlamlılığı %95 güven düzeyinde ($\alpha = 0,05$) test edilmiştir. Varyans homojenliği kontrol edildikten sonra, istatistiksel olarak anlamlı bulunan gruplar arasındaki farklılıkların belirlenmesinde Duncan çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır. Ayrıca, yapışma direnci testine tabi tutulan 60 adet örneğin, test öncesi ölçülen yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerleri ile test sonrası elde edilen yapışma direnci (N/mm) değerleri çiftleştirilerek ($n=60$), bu iki değişken arasındaki doğrusal ilişki Pearson korelasyon analizi ile incelenmiştir. Tüm analizler, SPSS 25.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA) paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3 Bulgular ve Tartışma

3.1 Yüzey pürüzlülüğü testi (Ra)

Farklı yoğunluk, dönme hızı ve ilerleme hızı seviyelerinin MDF levhaların yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerlerine etkisini belirlemek amacıyla yapılan kesim işlemlerinden elde edilen ortalama değerler farklılık göstermiştir. Bu farklılığa neden olan faktörleri ortaya koymak için varyans analizi (ANOVA) yapılmış ve sonuçlar Çizelge 2’de sunulmuştur.

Çizelge 2. Yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerlerine ait varyans analizi (ANOVA) sonuçları

Faktör	Serbestlik derecesi (df)	Kareler toplamı (SS)	Kareler ortalaması (MS)	F değeri	P değeri
Yoğunluk (A)	1	45.47	45.47	58.32	p < 0.001*
Dönme hızı	1	32.45	32.45	41.6	p < 0.001*
İlerleme hızı	2	144.3	72.15	92.5	p < 0.001*
A × B	1	4.84	4.84	6.21	0.014*
A × C	2	4.84	2.42	3.1	0.048*
B × C	2	8.42	4.21	5.4	0.006*
A × B × C	2	1.87	0.94	1.2	0.305
Hata	108	84.24	0.78	—	—
Model	11	242.19	22.02	28.24	p < 0.001*

*95% güven düzeyinde anlamlı ($\alpha = 0,05$).

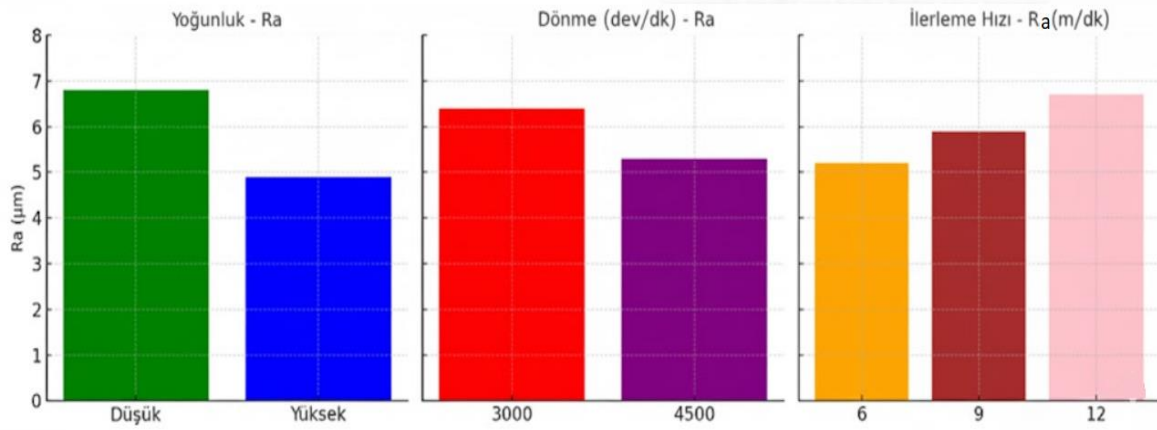
ANOVA sonuçlarına göre, yoğunluk, dönme hızı ve ilerleme hızı faktörleri yüzey pürüzlülüğü üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p \leq 0.05$). Ayrıca A×B, A×C ve B×C ikili etkileşimleri anlamlı, A×B×C üçlü etkileşimi ise istatistiksel olarak anlamlı değildir. Bu farklılıkların hangi seviyelerden kaynaklandığını ortaya koymak amacıyla Duncan çoklu karşılaştırma testi uygulanmış ve sonuçlar Çizelge 3’te sunulmuştur.

Çizelge 3. Yoğunluk, dönme hızı ve ilerleme hızı faktörlerine ait Duncan çoklu karşılaştırma sonuçları

Faktör	Seviye	$\bar{x}$ (μm)	HG
Yoğunluk	Düşük (0.65 g/cm ³)	6.80	A
	Yüksek (0.72 g/cm ³)	5.10	B
Dönme hızı	3000 dev/dk	6.40	A
	4500 dev/dk	5.30	B
İlerleme hızı	6 m/dk	5.20	C
	9 m/dk	5.90	B

Not: $\bar{x}$ = aritmetik ortalama; HG = homojenlik grubu. Aynı harfi paylaşan ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark yoktur ($p < 0,05$).

Çizelge 3’e göre, MDF yoğunluk düzeyinde en yüksek yüzey pürüzlülüğü düşük yoğunluklu levhalarda (6,80 μm), en düşük ise yüksek yoğunluklu levhalarda (5,10 μm) ölçülmüştür. Yoğunluk arttıkça yüzey pürüzlülüğü değerlerinin azaldığı görülmüştür. Dönme hızı faktöründe en yüksek Ra değeri 3000 dev/dk’da (6,40 μm), en düşük ise 4500 dev/dk’da (5,30 μm) elde edilmiştir. İlerleme hızı faktöründe ise 12 m/dk koşulunda pürüzlülük en yüksek (6,70 μm), 6 m/dk’ta en düşük (5,20 μm) bulunmuştur. Bu bulgular, yüksek yoğunluk ve yüksek dönme hızının yüzey kalitesini iyileştirdiğini, ilerleme hızının artışının ise yüzey pürüzlülüğünü olumsuz etkilediğini göstermektedir. Şekil 5’te faktör ortalamalarının grafiksel dağılımları sunulmuştur.



Şekil 5. MDF yoğunluğu, dönme hızı ve ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri üzerindeki etkileri

Şekil 5'teki sonuçlara göre, MDF yoğunluğu, dönme hızı ve ilerleme hızı faktörleri birlikte değerlendirildiğinde en yüksek yüzey pürüzlülüğü düşük yoğunluklu MDF'nin 3000 dev/dk dönme hızı ve 12 m/dk ilerleme hızı koşulunda 8,12 µm, en düşük yüzey pürüzlülüğü ise yüksek yoğunluklu MDF'nin 4500 dev/dk dönme hızı ve 6 m/dk ilerleme hızı koşulunda 4,05 µm olarak ölçülmüştür.

3.2 Yapışma direnci testi (N/mm)

PVC kenar bantlarının yapışma direncine yoğunluk, dönme hızı ve ilerleme hızı faktörlerinin etkilerini ortaya koymak amacıyla gerçekleştirilen 90° soyma testlerinden elde edilen veriler üzerinde yapılan varyans analizi (ANOVA) sonuçları Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. Yapışma direnci (N/mm) değerlerine ait varyans analizi (ANOVA) sonuçları.

Faktör	Serbestlik derecesi (df)	Kareler toplamı (SS)	Kareler ortalaması (MS)	F değeri	P değeri
Yoğunluk (A)	1	28.42	28.42	57.90	p < 0.001*
Dönme hızı (B)	1	22.16	22.16	45.10	p < 0.001*
İlerleme hızı (C)	2	36.88	18.44	37.50	p < 0.001*
A × B	1	3.12	3.12	6.36	0.013*
A × C	2	2.46	1.23	2.50	0.089
B × C	2	2.84	1.42	2.90	0.062
A × B × C	2	1.20	0.60	1.20	0.303
Hata	48	23.60	0.49	—	—
Model	11	97.08	8.83	18.00	p < 0.001*

*95% güven düzeyinde anlamlı ($\alpha = 0,05$).

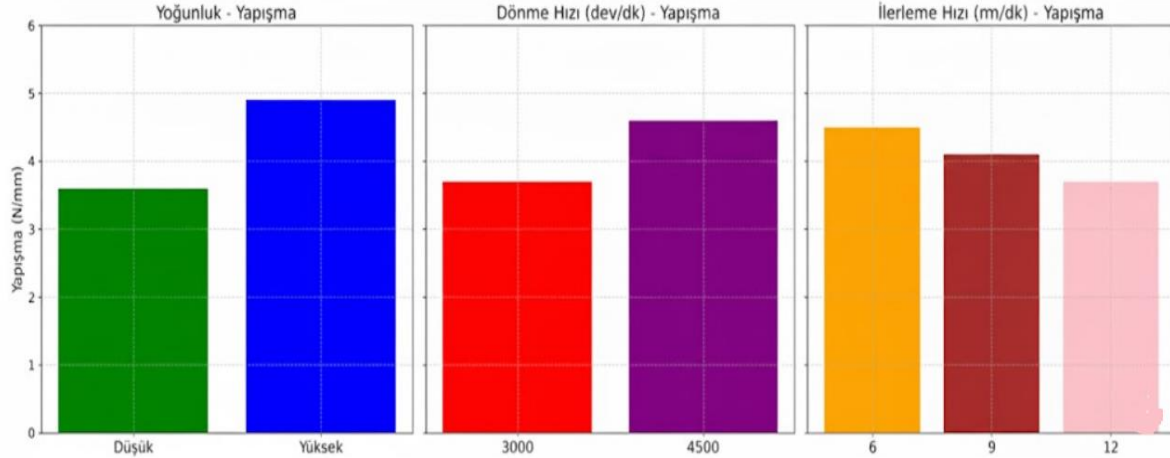
ANOVA sonuçlarına göre, yoğunluk, dönme hızı ve ilerleme hızı faktörleri ile A×B etkileşimi yapışma direnci üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p \leq 0,05$). A×C, B×C ve A×B×C etkileşimleri ise istatistiksel olarak anlamlı değildir. Faktör düzeyleri arasındaki farklılıkların belirlenmesi amacıyla Duncan çoklu karşılaştırma testi uygulanmış ve sonuçlar Çizelge 5'te sunulmuştur.

Çizelge 5. Yoğunluk, dönme hızı ve ilerleme hızı faktörlerine ait Duncan çoklu karşılaştırma sonuçları

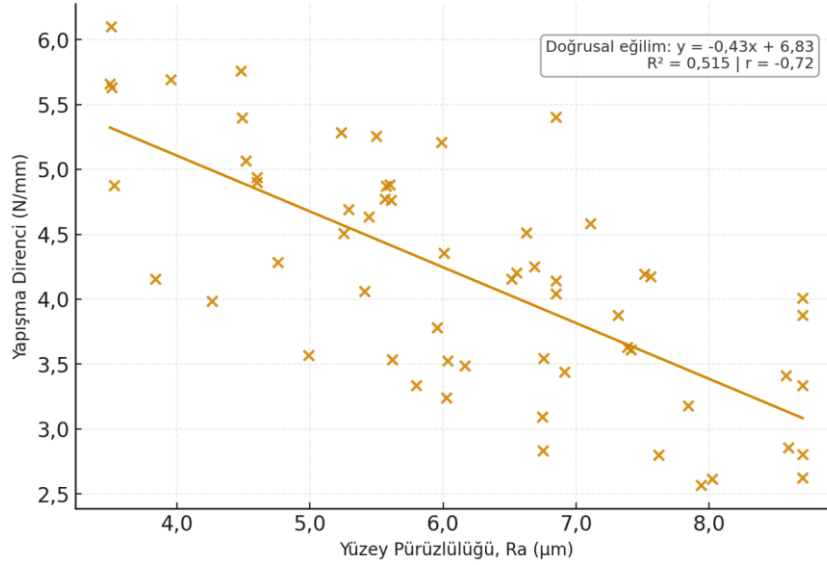
Faktör	Seviye	$\bar{x}$ (N/mm)	HG
Yoğunluk	Düşük (0.65 g/cm ³)	3.45	B
	Yüksek (0.72 g/cm ³)	4.75	A
Dönme hızı	3000 dev/dk	3.60	B
	4500 dev/dk	4.60	A
İlerleme hızı	6 m/dk	4.55	A
	9 m/dk	4.05	B
	12 m/dk	3.55	C

Not: $\bar{x}$ = aritmetik ortalama; HG = homojenlik grubu. Aynı harfi paylaşan ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark yoktur ($p < 0,05$).

Çizelge 5'e göre MDF yoğunluk düzeyinde en yüksek yapışma direnci yüksek yoğunluklu levhalarda (4.75 N/mm), en düşük ise düşük yoğunluklu levhalarda (3.45 N/mm) ölçülmüştür. Dönme hızı faktöründe en yüksek değer 4500 dev/dk'da (4.60 N/mm), en düşük ise 3000 dev/dk'da (3.60 N/mm) elde edilmiştir. İlerleme hızı faktöründe ise en yüksek yapışma direnci 6 m/dk'da (4.55 N/mm), en düşük değer ise 12 m/dk'da (3.55 N/mm) bulunmuştur. Bu bulgular, yoğunluk artışı ve dönme hızının yükselmesinin yapışma direncini belirgin şekilde artırdığını, ilerleme hızının artışının ise yapışma direncini olumsuz etkilediğini göstermektedir. Şekil 6'da faktör ortalamalarının grafiksel dağılımları, Şekil 7'de ise yüzey pürüzlülüğü ile yapışma direnci arasındaki negatif korelasyon sunulmuştur.

**Şekil 6.** MDF yoğunluğu, dönme hızı ve ilerleme hızının yapışma direnci (N/mm) üzerindeki etkileri.

Şekil 6'daki sonuçlara göre, yapışma direncini etkileyen faktörler arasında en yüksek değer, yüksek yoğunluklu MDF'nin 4500 dev/dk dönme hızı ve 6 m/dk ilerleme hızı koşulunda 5.87 N/mm olarak belirlenmiştir. Buna karşılık, en düşük yapışma direnci düşük yoğunluklu MDF'nin 3000 dev/dk dönme hızı ve 12 m/dk ilerleme hızı koşulunda 2.37 N/mm olarak ölçülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü ile yapışma direnci arasındaki bu ters yönlü ilişkiyi ($r = -0,72$; $p < 0,001$) göstermek amacıyla, yapışma testi grubundaki 60 adet örneğin ($n=60$) bireysel Ra ve yapışma direnci veri çiftlerinin kullanıldığı dağılım grafiği Şekil 7'de sunulmaktadır.



Şekil 7. Yüzey pürüzlülüğü (Ra) ile yapışma direnci arasındaki ilişki.

Şekil 7'ye göre, yüzey pürüzlülüğü (Ra) ile yapışma direnci (N/mm) arasında negatif yönlü ve güçlü bir korelasyon belirlenmiştir ($r = -0.72$; $p < 0.001$). Daha düşük yüzey pürüzlülüğü değerlerinde yapışma direnci daha yüksek seviyelerde ölçülmüş, yüksek pürüzlülük değerlerinde ise yapışma direnci belirgin şekilde azalmıştır. Bu bulgu, kenar yüzeyinin düzgünlüğünün artmasının PVC kenar bantlarının yapışma performansını olumlu yönde etkilediğini göstermektedir.

3.3 Tartışma

Bu çalışmada iki farklı yoğunluk seviyesine sahip MDF levhalarda dönme hızı (3000–4500 dev/dk) ve ilerleme hızı (6–12 m/dk) değişkenlerinin yüzey pürüzlülüğü (Ra) ile PVC kenar bantlarının 90° soyma dayanımı (N/mm) üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bulgular, yalnızca tek bir parametrenin değil, MDF'nin fiziksel yapısı ile işleme koşullarının birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Yüzey pürüzlülüğü açısından elde edilen sonuçlar, yoğunluğun artışıyla Ra'nın azaldığını ortaya koymuştur. Bu, yüksek yoğunluklu MDF'de liflerin daha sıkı paketlenmesi ve lazer ya da testere kesimi sırasında lif çekilmesinin azalmasıyla açıklanabilir. Literatürde de benzer şekilde, MDF yoğunluğu yükseldikçe yüzey pürüzlülüğünde iyileşme tespit edilmiştir (Bal ve Gündeş, 2020; Demir ve ark., 2021). Kesim parametreleri açısından incelendiğinde, dönme hızının artışının Ra'yı düşürmesi ve ilerleme hızının artışının Ra'yı yükseltmesi eğilimi, önceki araştırmaların bulgularıyla uyumludur (Davim ve ark., 2009; Sütçü ve Karagöz, 2012). Bu sonuç, talaş kaldırma mekanizmasının dönme hızı ile ilerleme hızı etkileşimiyle yüzey oluşumuna doğrudan katkıda bulunduğunu destekler.

Yapışma direnci bulgularına bakıldığında, en yüksek değerlerin yüksek yoğunluklu MDF'de ve yüksek dönme hızı + düşük ilerleme hızı koşullarında elde edildiği görülmektedir. Bu durum, düzgün yüzeyin tutkalın homojen yayılımını kolaylaştırması ve mekanik kilitleme etkinliğini artırması ile uyumludur (Frihart, 2005; Budhe ve ark., 2015b). Literatürde de yüzey kalitesi ile yapışma performansı arasında güçlü ilişki olduğu vurgulanmaktadır (Özdemir ve ark., 2009). Ayrıca kenar bantlamada soyma dayanımının proses parametrelerine duyarlı olduğu (ör. besleme hızı, yapıştırıcı miktarı/sıcaklığı) da rapor edilmiştir (Koç, 2025). Bu çalışmadaki sonuç, bu literatürdeki öneriyle tutarlıdır.

Ra ile soyma dayanımı arasında saptanan negatif yönlü korelasyon ($r = -0,72$) da bu ilişkiyi destekler. Bu bulgu, pürüzlülük azaldıkça yapışma direncinin arttığını göstermekte; yani daha düzgün kenar yüzeylerinin PVC bant yapışmasında avantaj sağladığını ortaya koymaktadır. Bu ilişki, MDF işlenmesi sürecinde yüzey kalitesinin doğrudan yapışma performansına yansıtıldığını gösteren önceki çalışmalarla da örtüşmektedir.

Genel değerlendirmeye, bu çalışma yüksek yoğunluk, yüksek dönme hızı ve düşük ilerleme hızı kombinasyonlarının hem yüzey kalitesi hem de yapışma dayanımını olumlu etkilediğini göstermiştir. Bu bulgular, özellikle MDF üreticileri ve mobilya sanayinde, kenar bantlama uygulama parametrelerinin optimizasyonu açısından önemli çıkarımlar sunmaktadır. Ancak, bu çalışmada sadece iki yoğunluk seviyesi ve belirli parametre seviyeleri incelenmiştir; ileriki çalışmalarda diş geometrisi, kesim derinliği, bant kalınlığı gibi değişkenlerin de değerlendirilmesi önerilir.

4 Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, farklı yoğunluk seviyelerine sahip MDF levhalarda dönme hızı ve ilerleme hızının kenar yüzey pürüzlülüğü (*Ra*) ve 0.80 mm PVC kenar bantlarının yapışma direnci (N/mm) üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

- Yoğunluk etkisi: Yoğunluk arttıkça yüzey pürüzlülüğü azalmış, yapışma direnci artmıştır. Yüksek yoğunluklu MDF en düşük *Ra* ve en yüksek yapışma değerlerini vermiştir.
- Dönme hızı etkisi: Dönme hızı 3000'den 4500 dev/dk'ya yükseltildiğinde yüzey pürüzlülüğü azalmış, yapışma direnci ise artmıştır. En uygun sonuçlar 4500 dev/dk'da elde edilmiştir.
- İlerleme hızı etkisi: İlerleme hızının artışı yüzey pürüzlülüğünü artırmış, yapışma direncini ise düşürmüştür. En iyi yapışma performansı 6 m/dk ilerleme hızında sağlanmıştır.
- Korelasyon: Yüzey pürüzlülüğü ile yapışma direnci arasında negatif korelasyon ($r = -0,72$; $p < 0,001$) bulunmuştur. Daha düzgün yüzeyler, PVC kenar bantlarının yapışma gücünü artırmıştır.

Bu bulgular, mobilya endüstrisinde MDF kesim ve kenar bantlama işlemleri için pratik öneriler sunmaktadır. Özellikle yüksek yoğunluklu MDF levhaların tercih edilmesi, testere dönme hızının yüksek (4500 dev/dk), ilerleme hızının ise düşük (6 m/dk) seviyelerde seçilmesi hem yüzey kalitesini hem de yapışma performansını iyileştirmektedir.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda farklı PVC bant kalınlıklarının, alternatif tutkal türlerinin (ör. PUR, poliolefin) ve farklı testere geometrilerinin incelenmesi önerilmektedir. Ayrıca çevresel koşulların (nem, sıcaklık) yapışma performansı üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi, elde edilen bulguların daha geniş kapsamlı bir şekilde yorumlanmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Yazar Katkıları

İzham Kılınç: Kavramsallaştırma (araştırma fikri ve amaçlarının geliştirilmesi), Metodolojinin belirlenmesi, Araştırmanın yapılması, Analizlerin yapılması, Veri iyileştirme, Kaynaklar, Denetleme, Doğrulama, Görselleştirme, Makale Taslak oluşturma, Makale Yazma, inceleme ve düzenleme.

Finansal destek beyanı

Finansal destek alınmamıştır.

Çıkar çatışması

Yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynaklar

- ASTM D6862-04, (2004). Standard test method for 90 degree peel resistance of adhesives, ASTM International, West Conshohocken, Philadelphia
- Bal, B. C., and Gündeş, Z., (2020). Surface roughness of medium-density fiberboard processed with CNC machine, *Measurement*, 153, 107421, DOI: [10.1016/j.measurement.2019.107421](https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.107421)
- Budhe, S., Banea, M. D., de Barros, S., and da Silva, L. F. M., (2015a). An updated review of adhesively bonded joints in composite materials, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 57, 70–96, DOI: [10.1016/j.ijadhadh.2016.10.010](https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2016.10.010)
- Budhe, S., Ghumatkar, A., Birajdar, N., and da Silva, L. F. M., (2015b). Effect of surface roughness using different adherent materials on the adhesive bond strength, *Applied Adhesion Science*, 3(20), 1–13, DOI: [10.1186/s40563-015-0050-4](https://doi.org/10.1186/s40563-015-0050-4)
- Davim, J. P., Clemente, V. C., and Silva, S.3 (2009). Surface roughness aspects in milling MDF (medium density fibreboard), *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 40(1–2), 49–55, DOI: [10.1007/s00170-007-1318-z](https://doi.org/10.1007/s00170-007-1318-z)
- Demir, A., Birinci, A. U., and Öztürk, H., (2021). Determination of the surface characteristics of medium density fibreboard processed with CNC machine and optimisation of CNC process parameters by using artificial neural network, *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 35, 929–942, DOI: [10.1016/j.cirpj.2021.10.005](https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2021.10.005)
- Frihart, C. R., (2005). Wood adhesion and adhesives, *In Handbook of wood chemistry and wood composites* (pp. 215–278), CRC Press
- Gül, O., and Korkmaz, M., (2025). Measurement and optimization of wood dust and noise levels in table saw operations using response surface methodology, *BioResources*, 20(1), 55–67, DOI: [10.15376/biores.20.4.8848-8862](https://doi.org/10.15376/biores.20.4.8848-8862)
- Hiziroğlu, S., and Suzuki, S., (2007). Evaluation of surface roughness of commercially manufactured particleboard and medium density fiberboard in Japan, *Journal of Materials Processing Technology*, 184(1-3), 436-440, DOI: [10.1016/j.jmatprotec.2006.11.011](https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2006.11.011)
- İşleyen, Ü. K., and Karamanoğlu, M., (2019). The influence of machining parameters on surface roughness of MDF in milling operation, *BioResources*, 14(2), 3266–3277, DOI: [10.15376/biores.14.2.3266-3277](https://doi.org/10.15376/biores.14.2.3266-3277)
- Karaman, A., (2021). Effects of wooden-dowel species, edge banding thickness, and adhesive types on withdrawal strength in MDF-Lam, *Wood Material Science and Engineering*, 16(4), 269–278, DOI: [10.1080/17480272.2021.1881999](https://doi.org/10.1080/17480272.2021.1881999)
- Karaman, A., Yeşil, H., and Yazıcı, H., (2025). Effect of edge banding thickness, dowels, and adhesive types on withdrawal strength in oriented strand board, *BioResources*, 20(3), 5664–5677, DOI: [10.15376/biores.20.3.5664-5677](https://doi.org/10.15376/biores.20.3.5664-5677)
- Koc, K. H., Hazir, E., and Şeker, S., (2025). Optimization of edge banding process parameters used for particle board and medium density fibreboard, *BioResources*, 20(1), 1915–1930, DOI: [10.15376/biores.20.1.1915-1930](https://doi.org/10.15376/biores.20.1.1915-1930)

- Korkmaz, M., Budakçı, M., and Kılınç, İ., (2024). Assessment of surface roughness in milling of wood with different material temperature and cutting parameters, *BioResources*, 19(4), 9343–9357, DOI: [10.15376/biores.19.4.9343-9357](https://doi.org/10.15376/biores.19.4.9343-9357)
- Kúdela, J., (2020). Surface properties of a medium density fibreboard evaluated from the viewpoint of its surface treatment, *Acta Facultatis Xylologiae Zvolen*, 62(2), 35–45, DOI: [10.17423/afx.2020.62.2.04](https://doi.org/10.17423/afx.2020.62.2.04)
- Kúdela, J., and Liptáková, E. (2006). Adhesion of coating materials to wood. *Journal of adhesion science and technology*, 20(8), 875-895., DOI: [10.1163/156856106777638725](https://doi.org/10.1163/156856106777638725)
- Kureli, I., and Doganay, S., (2015). The effects of surface roughness, adhesive type, and veneer species on pull-off strength of laminated medium density fibreboard, *BioResources*, 10(1), 1293–1303
- Li, W., Zhang, Z., and Peng, X., (2017). The influences of circular saws with sawteeth of mic-zero-degree radial clearance angles on surface roughness in wood rip sawing, *Annals of Forest Science*, 74(37), 1–10, DOI: [10.1007/s13595-017-0632-3](https://doi.org/10.1007/s13595-017-0632-3)
- Özdemir, T., Hiziroglu, S., and Malkocoglu, A., (2009). Influence of relative humidity on surface quality and adhesion strength of coated medium density fiberboard (MDF) panels, *Materials and Design*, 30(7), 2543–2546, DOI: [10.1016/j.matdes.2008.09.036](https://doi.org/10.1016/j.matdes.2008.09.036)
- Palijsa, T., Jaic, M., and Dzincic, İ., (2019). The impact of sanding system on the surface roughness of medium density fibreboard, *Wood Industry and Engineering*, 1(1), 27-32
- Rudawska, A., Stančková, D., Müller, M., Vitenko, T., and Iasnii, V., (2020). The strength of the adhesive joints of the medium-density fibreboards and particle boards with the PVC film, *Materials*, 14(1), 58–68, DOI: [10.12913/22998624/113612](https://doi.org/10.12913/22998624/113612)
- Sütcü, A., and Karagöz, Ü., (2012). Effect of machining parameters on surface quality after face milling of MDF, *Wood Research*, 57(2), 231–240
- TS EN ISO 21920-2, (2022). Geometrik ürün özellikleri (GPS) – Yüzey pürüzlülüğü: Profil – Bölüm 2: Terimler, tanımlar ve parametreler, Ankara.
- Vlaović, Z., Gržan, T., Župčić, I., Domljan, D., and Mihulja, G., (2024). Strength, durability, and aesthetics of corner joints and edge banding in furniture design: A review, *Applied Sciences*, 14(22), 10285, DOI: [10.3390/app142210285](https://doi.org/10.3390/app142210285)