

Ahşap Malzemedede Zımparalama Parametreleri

ve Ergonomik Üretim Tasarımı

Editör
MEHMET GÜNEŞ



BİDGE Yayınları

**Ahşap Malzemede Zımparalama Parametreleri ve Ergonomik
Üretim Tasarımı**

Editör: MEHMET GÜNEŞ

ISBN: 978-625-372-913-4

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayınlama Tarihi: 2025-12-25

BİDGE Yayınları

Bu eserin bütün hakları saklıdır. Kaynak gösterilerek tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının ve editörün yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Sertifika No: 71374

Yayın hakları © BİDGE Yayınları

www.bidgeyayinlari.com.tr - bidgeyayinlari@gmail.com

Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.

Güzeltepe Mahallesi Abidin Daver Sokak Sefer Apartmanı No: 7/9 Çankaya /
Ankara



ÖNSÖZ

Üretim süreçlerinin çeşitlenmesi, kalite beklentilerinin artması, sağlık ve güvenliğe verilen önemin giderek artmasıyla karakterize edilen çağdaş mobilya endüstrisinde, ergonominin rolü ve mühendislikte süreçlerin optimizasyonu büyük önem kazanmıştır. Bu kitap, mobilya üretim tesislerindeki ergonomik riskleri ve ahşap yüzeylerin işlenmesinde zımparalama parametrelerinin etkisini ele alan üç çalışmayı içermektedir. İnsan faktörleri perspektifinden çalışma ortamının analizi ve Taguchi yöntemi gibi sistematik yaklaşımlar kullanılarak ceviz ve maun ahşabının yüzey dokusu üzerinde zımparalama parametrelerinin etkisinin araştırılması, sektörün verimlilik ve kalite hedeflerine ulaşılmasına doğrudan katkıda bulunmaktadır.

Bu kitap; akademik araştırmacılar, lisansüstü öğrenciler ve sektörde üretim/kalite süreçlerinden sorumlu mühendis ve teknik uzmanlar için kuramsal bir çerçeve ile birlikte yöntemsel bir rehber olmayı amaçlamaktadır. Kitapta yer alan bölümler, insan odaklı üretim tasarımı ile ölçülebilir süreç iyileştirmeyi aynı bakış açısında buluşturarak; ergonomik risk yönetimi, yüzey kalitesi, süreç kararlılığı ve veriye dayalı karar verme alanlarında bütüncül bir yaklaşım geliştirmeyi hedeflemektedir.

Dr. Öğr. Üyesi MEHMET GÜNEŞ

ÇANKIRI KARATEKİN ÜNİVERSİTESİ

İÇİNDEKİLER

MOBİLYA ENDÜSTRİSİNDE ERGONOMİ VE İNSAN FAKTÖRÜ ANALİZLERİ	1
---	---

AHMET BORA KIRKLIKÇI

CEVİZ ODUNU ZIMPARALAMA PARAMETRELERİNİN TAGUCHI YÖNTEMİ İLE ANALİZİ	19
---	----

YUSUF ALPEREN ŞİŞMAN, MEHMET GÜNEŞ

ZIMPARA PARAMETRELERİNİN MAUN (SWİETENİA MAHAGONİ L.), ODUNU YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİLERİ	32
---	----

MEHMET GÜNEŞ

BÖLÜM 1

MOBİLYA ENDÜSTRİSİNDE ERGONOMİ VE İNSAN FAKTÖRÜ ANALİZLERİ

Ahmet Bora KIRKLIKÇI¹

Giriş

Mobilya endüstrisi, küresel ölçekte hem geleneksel el işçiliğinin hem de ileri üretim teknolojilerinin bir arada kullanıldığı, yüksek çeşitlilikte üretim gerçekleştirilen önemli bir endüstridir (Aidinli & ark., 2025). Sektörde gerçekleştirilen kesim, delme, zımparalama, döşeme, montaj, taşıma, paketleme ve yüzey işlemleri gibi faaliyetler işçilerin tekrarlayıcı hareketler yapmasına, ağırlık kaldırmasına, uygunsuz postürlere maruz kalmasına ve çeşitli biyomekanik zorlanmalara neden olmaktadır (Mirka, 2005; Çakıcı, Karaman & Sofuoğlu, 2024). Araştırmalar, mobilya işçileri arasında kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarının (KİSR) prevalansının yüksek olduğunu ve ergonomik risk yönetiminin sektör için kritik önem taşıdığını göstermektedir (Colim & ark., 2019; Jain & ark., 2021; Karayılmazlar, Başbüyük & Çabuk, 2022; Donisi & ark., 2022).

Ergonomi, çalışma ortamının çalışan fizyolojisine ve bilişsel kapasitesine uygun hale getirilmesini amaçlayan multidisipliner bir

¹ Doç. Dr., Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, TBMYO, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Orcid: 0000-0002-0401-8182

bilimdir. İnsan faktörü çalışmaları ise ergonomiden daha geniş bir bakış açısı sunarak, iş sistemlerinde insanın algısal, bilişsel ve davranışsal özelliklerini göz önünde bulundurur (Wickens & ark., 2014; Guastello, 2023). Mobilya endüstrisinde ergonomi çalışmaları, iş gücü verimliliğini artırmak, iş kazalarını azaltmak, üretim kalitesini yükseltmek ve çalışan memnuniyetini artırmak açısından kritik öneme sahiptir.

Bu bölümde, mobilya imalat sürecinde ergonomik risk faktörleri ve çalışan performansı üzerindeki etkileri, iş istasyonlarının tasarımı, üretim hattı düzenlemeleri, ergonomik risk analiz yöntemleri, bilişsel ergonomi ve Endüstri 4.0 uygulamaları ele alınmaktadır.

Mobilya Üretim Süreçlerinde Ergonomik Risk Faktörleri

Mobilya endüstrisi ergonomi açısından riskli sektörler arasında yer almaktadır. Çalışanlar ahşap, MDF, yonga levha gibi ağır ve hacimli malzemelerle çalışmakta, montaj aşamasında zorlayıcı hareketler yapmakta ve makine kullanımında hassas motor kontrolüne ihtiyaç duymaktadır (Güngör & Oğuz, 2024; Çakıcı, Karaman & Sofuoğlu, 2024). Literatürde mobilya işçilerinde kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarının (KİSR) oranlarının diğer birçok sektöre göre daha yüksek olduğu belirtilmektedir (Colim & ark., 2019). Mobilya üretiminde yüksek riskli işlemlerin %40-58 arasında değiştiği ve bunların arasında en yüksek oranın paketlemede olduğu belirlenmiştir (Güray & ark., 2024). Guangdong, Çin’de mobilya üretiminde yapılan bir çalışmada işçilerin yaklaşık %32’sinin bir yıl içinde iş ile ilişkili KİSR yaşadığı saptanmıştır (Yang & ark., 2022). Benzer şekilde Vietnam’da ahşap mobilya işçilerinde yapılan bir çalışmada, çalışılan dönemde en az bir vücut bölgesinde KİSR görülme oranı %72,7 olarak bildirilmiştir (Tran & ark., 2022). Modern üretim ortamlarında ergonomik riskler yalnızca gözlem ve klasik değerlendirme yöntemleriyle değil, aynı zamanda sensör

verileri, bilgisayarlı görü algoritmaları, dijital ikiz simülasyonları ve yapay zekâ destekli karar sistemleriyle belirlenebilmektedir (Agostinelli et al, 2024).

Uygun olmayan çalışma postürleri

Mobilya üretiminde birçok iş istasyonu çalışanların ergonomik olmayan postürler sergilemesine neden olur (Güray & ark., 2024). Örneğin, zımpara işlemi yapan bir işçi uzun süre boyunca ileri doğru eğilmek zorunda kalabilir. Kenar bantlama veya montaj hattında çalışanlar ise sürekli olarak öne uzanmak, malzemeyi tutmak veya vidalama yapmak için bilek ve dirseklerini zorlayıcı açılarda kullanır. Bu tip postürler kas-iskelet sistemi (KİS) üzerinde aşırı yük oluşturur. Özellikle bel, boyun, omuz ve diz bölgelerinde kronik ağrılar ortaya çıkar. Mobilya işçilerinde en yüksek şikayetler omuzlarda (%75,14) ve dizlerde (%54,28) tespit edilmiştir (Jain & ark., 2021). Literatür, mobilya endüstrisindeki birçok iş istasyonunun "orta" veya "yüksek" risk taşıdığını göstermektedir. Bu durum, işçilerin çalışma süreleri boyunca KİS üzerinde sürekli bir yüklenme olduğunu ve uzun vadede ciddi sağlık sorunları oluşabileceğini göstermektedir (Çiçek, Kazanç & Kahya, 2018; Colim & ark., 2019; Dugan & ark., 2022).

Tekrarlı işler

Mobilya imalatında bazı işlemlerin aynı hareketler tekrar edilerek yapılmaktadır. Örneğin çekmece rayı montajında işçi yüzlerce kez aynı pozisyonda vidayı sıkmak zorunda kalır. Zımparalama işlemi de bileğin sürekli aynı yönde hareket etmesine sebep olur. Bu tür tekrar gerektiren işler kaslarda yorgunluk, tendonlarda aşınma ve sinir sıkışmalarına yol açabilir (Donisi & ark., 2022). Ayrıca hareketin hızlı yapılması istenen işlerde kaslara binen yük daha da artar. Armstrong & ark. (1993), 30 saniyeden daha kısa iş döngülerinin tekrarlayıcı hareketlerden kaynaklanan rahatsızlık oranını önemli ölçüde artırdığını belirtmiştir. Bu nedenle mobilya

sektöründeki tekrarlı küçük işler bile ergonomik risk açısından önem taşır.

Yük kaldırma ve taşıma

Mobilya sektöründe ürün ve parçaların büyük bölümü ağır, hacimli veya kavranması zor malzemelerdir. Örneğin MDF levhaları, kapak panelleri, şifonyer yan panelleri veya kanepeler iskeletleri genellikle 10–25 kg arasında değişen ağırlıklara sahiptir. Çalışanlar bu malzemeleri elle taşıdığına, özellikle bel bölgesine aşırı yüklenir. Yükün uygun olmayan biçimde kaldırılması (örneğin dizleri bükmeden belden eğilerek kaldırma) omurga disklerinde ciddi baskı oluşturur. NIOSH denklemine göre bu ağırlıklar çoğu zaman önerilen sınırın üzerindedir ve “yüksek risk” kategorisine girer (Putz-Anderson & ark., 1997; Kusuma & ark., 2023). Ayrıca mobilya parçalarının büyük ve dengesiz şekilli olması, yükü kavramayı zorlaştırdığı için işçilerin postürünü daha da kötüleştirir. Bu tür görevlerin sık yapılması iş kazası riskini artırır ve uzun vadeli bel rahatsızlıklarına yol açabilir (Bongomin & ark., 2020).

El aletleri ve makine titreşimi

Mobilya üretim sürecinde kullanılan el aletleri ve makineler çalışanların el ve kol bölgelerinde titreşim maruziyetine yol açar. Zımpara makineleri, frezeler, taşlama makineleri ve el tipi router’lar sürekli titreşim üretir. ISO 5349-1 standardına göre 5 m/s² üzeri titreşim seviyeleri, sekiz saatlik çalışma süresinde işçilerin güvenli maruziyet limitini aşar. Bu tip maruziyetler uzun vadede "el-kol titreşim sendromu"na yol açabilir. Bu sendromun belirtileri arasında uyuşma, karıncalanma, soğukta hassasiyet artışı ve kavrama gücünde azalma bulunmaktadır. Mobilya sektöründe bu tür ekipmanların sık kullanılması nedeniyle titreşim maruziyeti önemli bir ergonomik problemdir (Nejad & ark. 2013).

Gürültü ve toz maruziyeti

Mobilya üretim tesislerinde kullanılan CNC makineleri, kesim testereleri ve zımpara sistemleri yüksek düzeyde gürültü üretir. Gürültü seviyeleri çoğu zaman 85–100 dBA aralığındadır (Ülker, 2018). Bu düzey uzun süreli maruziyetlerde işitme kaybı riskini artırır. Ancak gürültünün yalnızca işitmeye değil aynı zamanda ergonomik performansa da etkisi vardır. Yüksek gürültü ortamı, dikkat dağınıklığına ve bilişsel yük artışına neden olarak iş kazası olasılığını yükseltir. Bunun yanında ince ahşap tozunun solunması da çalışanların yorgunluğunu artırarak dolaylı ergonomik risk yaratır (Hasan & ark., 2024). Tozun göze ve buruna yapışması, nefes almayı zorlaştırması ve ciltte tahrişe yol açması iş konforunu azaltır, böylece çalışan daha fazla zorlanmaya maruz kalır.

Ergonomik Analiz Yöntemleri

Mobilya endüstrisinde ergonomik risk değerlendirmesi için aşağıdaki yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır.

RULA (Rapid Upper Limb Assessment)

RULA, McAtamney & Corlett (1993) tarafından geliştirilen, üst ekstremité (boyun, omuz, kol, el-bilek) duruşlarını ve KİS risklerini hızlıca değerlendirmek için kullanılan bir gözlemsel ergonomi yöntemidir. Mobilya sektöründe üst ekstremitéyi yoğun kullanan işlemlerde; vidalama, zımparalama, vida sıkma, frezeleme, el aletleri kullanımı gibi kısa döngülü işlerde RULA daha kolay uygulanır. Uygulama sırasında değerlendirilecek iş istasyonunu seçilir (ham veriyi video veya fotoğrafla kaydetmek iyi pratik) ve işin tipik bir anı (statik pozisyon ya da kısa döngü içindeki duruş) tespit edilir. RULA formundaki bölümler: Grup A (kol, önkol, bilek, bilek pozisyonu), Grup B (boyun, gövde, bacak) için pozisyonlar değerlendirilir. Ek yük faktörleri (yön, kuvvet, tekrar) eklenir. Grup A ve B için ayrı puanlar bulunur; bu puanlar birleştirilerek son RULA skoruna ulaşılır (1–7 arası). “1–2: Durum kabul edilebilir —

periyodik kontrol, 3–4: Gözden geçirilmesi önerilir — yakın zamanda düzeltme planı, 5–6: Hızlı müdahale gerekli, 7: Acil müdahale gerektirir” şeklinde yorumlanır. RULA, tüm vücudu değil üst gövdeyi vurgular; dinamik işler veya çok hızlı değişen pozisyonlar için zayıf kalabilir. Zımparalama ve yüzey işleme alanlarında RULA skorlarının “6” ve üzeri olduğu belirtilmiştir (Takala & ark., 2010; Güray & ark., 2024).

REBA (Rapid Entire Body Assessment)

Tüm vücut postürlerinin (baş, boyun, gövde, üst ve alt ekstremiteler) hızlı değerlendirilmesinde kullanılır. Ağır kaldırma, eğilme, dönme ve karma postürlerle karakterize işlemlerde (ör. panel taşıma, kaba montaj, iskelet yerleştirme) kullanılabilir. Büyük panellerle çalışılan kesim/istifleme/taşıma operasyonlarında REBA kullanmak, bel ve bacak yükünü belirlemede etkilidir. Uygulama sırasında değerlendirilecek görev seçilir ve tipik pozisyonu belirlenir (foto/video ile dokümanite edin), REBA formundaki bölümlere göre: Bölüm A (boyun, gövde, bacak), Bölüm B (kol, önkol, bilek) puanları hesaplanır. Ek risk faktörleri (kaldırma, itme/çekme, ağırlık, tekrar, dinamik/ani hareketler) eklenir. Bölüm A ve B puanları tablo ile birleştirilerek nihai REBA skoru elde edilir (1–15 arası). “1: Minimum risk, 2–3: Küçük risk — iyileştirme düşünülmeli, 4–7: Orta risk — planlanmış düzeltme gerekli, 8–10: Yüksek risk — hızlı düzeltme, 11+: Çok yüksek risk — acil müdahale” olarak yorumlanır. RULA’ya göre daha karmaşıktır ve uygulayıcı eğitimi gerekir. Subjektif değerlendirme kalıbı vardır ve fotoğraf açısı skorları etkileyebilir. “Yüksek risk” düzeyleri genellikle eğilme ve uzanma hareketlerinden kaynaklanır (Highnett & Atamney, 2000). Mobilya sektöründe REBA yöntemi kullanılarak toplam yirmi dört görev değerlendirilmiş ve görevlerin %41,7’sinin yüksek veya çok yüksek ergonomik risk taşıdığı tespit edilmiştir. Kanepe iskeleti taşıma ve kumaş kesme gibi görevlerin, uzun süreli ve yorucu

duruşlar gerektirmesi nedeniyle özellikle riskli olduğu bulunmuştur (Güngör & Oğuz, 2024; Güray & ark., 2024).

OWAS (Ovako Working Posture Analysis System)

Çalışma postürlerini basitleştirilmiş kategoriler halinde sınıflandırıp pozisyonların yükünü ve müdahale gereksinimini belirlemek için kullanılır. Saha çalışmaları, uzun süreli postürlerin ve manuel taşımanın olduğu işlerde (istifleme, montaj, kesim) uygundur. Gözlem süresince işçinin pozisyonları kaydedilir (sıklıkla video). Her pozisyon için gövde (düz, öne eğilmiş, yana eğilmiş, dik), kol pozisyonu (aşağı, gövde hizasında, yukarı), bacak pozisyonu (ayakta, diz çökmüş, tek ayak) ve yük durumuna göre dört haneli kod oluşturulur. Oluşan kodlar OWAS tablosuna bakılarak risk sınıfına (1–4) atanır. “Sınıf 1: Normal, sınıf 2: Dikkat gerektirir, sınıf 3: Kısa vadede düzeltme gerekir, sınıf 4: Acil müdahale gerekir” şeklinde yorumlanır. OWAS ile ince ayrıntılar (bilek açısı, kuvvet düzeyi) yakalanamaz ve hızlı değişen pozisyonlarda karmaşık hale gelebilir. Kesim tezgâhlarının çevresinde ya da istifleme alanlarında gözlemsel hızlı tarama amaçlı uygundur (Çakıcı, Karaman & Sofuoğlu, 2024; Güray & ark., 2024).

QEC (Quick Exposure Check)

OWAS yöntemi, Karhu, Kansu & Kuorinka (1977) tarafından endüstride çalışma duruşlarının pratik biçimde analiz edilmesi amacıyla geliştirilmiştir. Hem çalışan görüşünü hem de değerlendiricinin gözlemini içeren hızlı maruziyet kontrolü sağlar. Özellikle üst ekstremitelere odaklanan geniş kapsamlı bir ölçektir. İşçi ile birlikte risk algısını belirlemek, ergonomik farkındalık oluşturmak veya saha taramalarında kullanılır. Uygulamada İşçi ile kısa görüşme yapılır; hangi hareketlerin çok tekrarlandığını, hangi pozisyonlarda zorlandığını sorulur. Değerlendirici gözlem yapar ve QEC formunun sorularını (tekrar, kuvvet, postür, süre, titreşim vb.) doldurur. Formdaki puanlar birleşerek maruziyet seviyesini verir

(düşük, orta, yüksek). QEC subjektif veri içerir; işçinin algısı ve değerlendiricinin gözlemi farklılık gösterebilir. Çok ince biyomekanik hesaplar sunmaz. Genellikle saha ziyaretlerinde ilk tarama aracı olarak kullanılır; RULA/REBA gibi daha nicel yöntemlerle birliktelik önerilir.

NIOSH Kaldırma Eşitliği

Elle taşımının yoğun olduğu mobilya sektöründe kritik önemdedir. Kaldırma limit ağırlığı (RWL) aşım oranı ($LI > 1$) mobilya fabrikalarında sık görülmektedir. Tek el veya çift el ile yapılan kaldırma, istifleme, panel taşıma gibi işlerde kullanılır. Kaldırma sırasında taşımının başlangıç ve bitiş el yükseklikleri, dikey mesafe, taşıma uzaklığı, hareketin frekansı ve tutuş kalitesi ölçülür. NIOSH denklemi için gerekli faktörler (H, V, D, A, F, C) hesaplanır. $RWL = LC \times HM \times VM \times DM \times AM \times FM \times CM$ ($LC = \text{load constant } 23 \text{ kg}$). Kaldırma endeksi (Lifting Index — $LI = \text{Actual weight} / RWL$) hesaplanır. $LI > 1$ ise risk vardır (Waters & ark., 1993). Yöntem karmaşık ölçümler gerektirir (boyutsal veriler, frekans). Uygulama sırasında ölçüm hataları sonucu yanlış LI çıkabilir. Büyük panellerin elle taşındığı istasyonlarda RWL hesaplamak, mekanizasyon veya iki kişilik taşıma ihtiyacını belirlemede çok değerlidir (Putz-Anderson & ark., 1997).

Üretim Hattı ve İş İstasyonu Tasarımı

Ergonomik üretim hattı tasarımı iş kazalarını azaltır, üretim süresini kısaltır ve kaliteyi artırır (Özkaya, İlçe & Polat, 2025). Doğru iş istasyonu yüksekliği ergonominin temel unsurlarından biridir. İşçi boyu ile uyumlu olmayan tezgâh yükseklikleri çalışanların eğilmesine, uzanmasına veya omuzlarını kaldırmasına neden olur. Hassas işleri içeren mobilya üretim adımlarında (örneğin menteşe montajı, kenar yapıştırma kontrolü) daha yüksek bir çalışma yüzeyi gereklidir. Bu tür işlerde tezgâhın dirsek seviyesinin 5–10 cm üzerinde olması önerilir. Orta derecede güç gerektiren işlerde tezgâh

yüksekliği dirsek seviyesinde tutulmalıdır. Daha ağır işler (örneğin büyük parçaların taşınması veya kaba montaj) ise daha düşük bir tezgâhta yapılmalıdır. Ayakta yapılan işlerde ideal yükseklik, bilek seviyesinin biraz altında olmalıdır (MSD, 2025). Bu düzenlemeler KİS üzerindeki yükü azaltır ve daha doğal bir duruş sağlar (Karwowski & Marras, 2003). Mobilya CNC makineleri için ergonomik panel tasarımı, hata oranlarını ve işlem süresini azaltır (Salvendy, 2012). Ayakta durma matlarının, alt ekstremitelerde uzun süre ayakta durmanın neden olduğu yorgunluğu hafifletme, plantar basınç dağılımını optimize etme ve dengeyi koruma eğilimi gösterilmiştir (Zhang & ark., 2022). İş istasyonu tasarımında dijitalleşmenin etkisini artırması ile ayarlanabilir yükseklikli tezgâhlar, vakumlu panel taşıma sistemleri, döner tabla çözümleri ve exoskeleton destekli sistemler mobilya üretiminde yaygınlaşmaktadır (Cardoso & ark., 2021).

Mobilya endüstrisinde üretim süreçleri birçok adım içerdii için malzeme akışı iyi planlanmalıdır. İşçiler sürekli olarak ürünlerin bir bölümden diğetine taşınmasıyla uğraşmak zorunda kalmamalıdır. Malzeme akışının optimize edilmemesi, çalışanların gereksiz adım atmasına, yük taşınmasına ve yorulmasına sebep olur. Tompkins & ark. (2010), iyi tasarlanmış bir malzeme akışının iş yükünü %20–40 oranında azaltılabileceğini belirtmektedir. Ayrıca, işyeri düzeninin “gereksiz hareketleri ortadan kaldıracak” şekilde U-şekilli tasarlanması, çalışan yükünü azaltır ve verimliliği artırır (Imai, 2012). Mobilya üretiminde yeterli aydınlatma görsel performans ve iş kalitesi için kritiktir. 500–1000 lux arası aydınlatmanın hata oranlarını azalttığı bulunmuştur (Bayrakdar, 2016).

Mobilya üretimi gibi imalat süreçlerinde yapılan ergonomik değerlendirmeler, kaldırma/taşıma görevlerinin ergonomik riskler oluşturduğunu ve bu risklerin uygun ekipman ve düzenlemelerle önemli ölçüde azaltılabileceğini ortaya koymaktadır (Koç & Testik, 2016). Bu nedenle ergonomik destek ekipmanlarının kullanılması

büyük önem taşır. Hidrolik kaldırıcılar, ağır mobilya parçalarının yerden kaldırılmasını kolaylaştırır. Döner tabla sistemleri, büyük parçaların çevrilmesini sağlar ve işçinin sürekli dönmesini veya eğilmesini engeller. Ayarlanabilir yükseklikli tezgâhlar, işi yapan kişinin boyuna göre en uygun çalışma seviyesini ayarlar. Vakumlu taşıma sistemleri ise geniş yüzeyli panellerin tek kişi tarafından rahatça taşınabilmesini sağlar. Wurzelbacher & ark. (2020) ergonomik ekipmanların (lift tablolar gibi) manuel iş yüklerini ve KİS semptomlarını anlamlı şekilde düşürdüğünü göstermiştir.

Bilişsel Ergonomi ve İnsan-Makine Etkileşimi

Bilişsel ergonomi, çalışanların zihinsel yükünü, karar verme süreçlerini ve dikkat gereksinimlerini değerlendirir (Atıcı & ark., 2023). Mobilya üretiminde CNC makineleri, kenar bantlama makineleri ve otomatik kesim sistemleri yaygın olarak kullanılır. Bu makinelerin kontrol panelleri kullanıcı dostu değilse çalışan hataları artabilir. Panel üzerinde bulunan tuşların mantıklı bir şekilde yerleştirilmesi, ekranların anlaşılır olması ve menülerin kolay gezilebilir olması bilişsel yükü azaltır. Ergonomik bir kontrol paneli operatörün karar verme hızını artırır, yanlış komut girme olasılığını azaltır ve iş kazalarını engeller (Raeisi & ark., 2016). CNC makinelerinin ergonomik organizasyonunun, operatör hatalarını ve fiziksel yakınmaları azaltabileceği gösterilmiştir (Levchuk & ark., 2012).

Mobilya imalatında çalışanlar hızlı karar vermek zorunda kalabilir. Gürültülü ve yoğun tempolu ortamlarda dikkat dağılması kolaydır. Kesim makineleri, hızlı dönen bıçaklar, hareketli parçalar ve ağır yükler nedeniyle iş kazaları yüksek risk taşır. Dikkat dağınıklığı çalışanların reflekslerini yavaşlatır ve hatalı hareketlere yol açar. Ergonomik eğitim programları çalışanların daha doğru duruşlar, uygun çalışma teknikleri ve doğru malzeme taşıma yöntemleri kullanmasını sağlar. Bu eğitimler yalnızca kısa süreli

bilgi aktarımları değil, aynı zamanda davranış değişikliği sağlamaya yönelik uygulamalı çalışmalardır. Eğitim alan işçilerin üretimde daha verimli çalıştığı ve daha az hata yaptığı bilinmektedir. Dul & Neumann (2009), ergonomi eğitimi verilen işletmelerde performans artışının %25'e kadar çıkabildiğini belirtmiştir

Endüstri 4.0 Uygulamaları ve Ergonomi

Mobilya endüstrisinde dijitalleşme arttıkça ergonomik riskler de farklılaşmaktadır.

Kestirimci bakım ve sensör sistemleri

Titreşim, postür ve yük maruziyetini ölçen sensörler, çalışan risklerini gerçek zamanlı azaltabilir. IoT sensörleri, üretim alanındaki tüm ekipman, araç, malzeme ve çalışanların birbiriyle bağlantılı olmasını sağlar. IoT tabanlı ergonomik sistemleri gerçek zamanlı duruş izleme, makine yakınlık uyarıları (iş kazalarını önleme), titreşimli el aleti kullanım süresi takibi (HAV risk analizi) ve çevresel risklerin otomatik raporlanmasında avantaj sağlar. Akıllı ağa bağlı gürültü sensörleri, mobilya üretim hatlarında gürültü seviyelerini sürekli izleyerek eşik aşımı durumunda anında uyarı verebilir (Nithilan & ark., 2024). Akıllı fabrikalar, IoT tabanlı sensör ağlarıyla çevresel ve insan davranış verilerini toplar. Bu sayede iş sistemleri, operasyonlar ve insan faktörleri mühendisliği bağlamında risk değerlendirmesi yapılırken daha detaylı ve objektif veri elde edilir; bu da ergo-heat map gibi analizlerin temelini sağlar (Kaya, 2022).

İşbirlikçi robotlar (cobots)

Cobotlar, insanlar için ağır veya tekrarlayıcı olan işlemleri üstlenir veya destek kuvveti sağlar.

Büyük panel taşımada robot kolunun yükü üstlenmesi, cobot destekli otomatik vidalama, kenar bantlama operatörüne yardımcı robotik kollar, zımparalama robotları örnek olarak verilebilir. Cobot

destekli montaj sistemlerinde omuz yükünün %40'a kadar (Cardoso & ark., 2021), ağır yük kaldırma işlerinde cobot kullanımı çalışan yorgunluğunu %50'ye kadar azalttığı bildirilmiştir (Bongomin & ark., 2020).

Dijital ikiz (digital twin)

Dijital ikiz, fiziksel bir iş istasyonunun sanal bir modelinin oluşturulmasıdır. Bu model üzerinde operatör postürleri, ekipman yerleşimi, çalışma yüksekliği, uzanma mesafeleri ve iş akışı simüle edilerek ergonomi ve işyeri tasarımı entegrasyonu geliştirilebilir (Caputo & ark., 2019). Örneğin bir panel kesim hattı, dijital ikizle modellenerek ideal tezgâh yüksekliği ve panel konveyör hızı belirlenebilir.

Sonuç

Mobilya endüstrisi ergonomik açıdan risk profili yüksek bir sektördür. Çalışanların maruz kaldığı uygunsuz postürler, tekrarlayıcı işler, ağır kaldırma, titreşim maruziyeti ve bilişsel yük, KİSR ve iş kazalarını artırmaktadır. Bu bölümde gösterildiği üzere ergonomik değerlendirme yöntemleri (RULA, REBA, OWAS, QEC, NIOSH) mobilya üretim süreçlerinin çeşitli aşamalarında başarıyla uygulanabilmektedir. Bunun yanında bilişsel ergonomi, Endüstri 4.0 ve insan-makine etkileşimi, modern mobilya üretim tesislerinde ergonominin artık klasik yaklaşımların ötesine geçtiğini göstermektedir.

Ergonomik tasarım ve insan faktörü analizleri, yalnızca çalışan sağlığını korumakla kalmaz; üretim kalitesini artırır, maliyetleri azaltır ve işletme verimliliğini yükseltir. Bu nedenle ergonomi, mobilya endüstrisi için vazgeçilmez bir yönetim aracı ve stratejik rekabet unsuru olarak değerlendirilmelidir.

Kaynakça

Agostinelli, T., Generosi, A., Ceccacci, S., & Mengoni, M. (2024). Validation of computer vision-based ergonomic risk assessment tools for real manufacturing environments. *Scientific Reports*, 14(1), 27785.

Aidinli, K., Minaoglou, P., Kyratsis, P., & Efkolidis, N. (2025). Automating Product Design and Fabrication Within the Furniture Industry. *Designs*, 9(5), 116.

Armstrong, T. J., Buckle, P., Fine, L. J., Hagberg, M., Jonsson, B., Kilbom, Å., & Viikari-Juntura, E. (1993). A conceptual model for work-related neck and upper-limb musculoskeletal disorders. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 19, 73–84.

Atıcı, U., Adem, A., Şenol, M. B., & Dağdeviren, M. (2023). A systematic review of cognitive ergonomics and safety: General trends and application areas. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 11(4), 1131–1161. <https://doi.org/10.29109/gujsc.1378288>

Bayrakdar, G. (2016). *İşyerlerinde aydınlatma koşullarının iş sağlığı ve güvenliği yönünden değerlendirilmesi* (Uzmanlık tezi). T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı.

Bongomin, O., Gilibrays Ocen, G., Stephen Nganyi, E., Musinguzi, A., & Omara, T. (2020). Exponential disruptive technologies and the required skills of industry 4.0. *Journal of Engineering*, 18(4), 45–56.

Caputo, F., Greco, A., Fera, M., & Macchiaroli, R. (2019). Digital twins to enhance the integration of ergonomics in the workplace design. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 71, 20-31.

Cardoso, A., Colim, A., Bicho, E., Braga, A. C., Menozzi, M., & Arezes, P. (2021). Ergonomics and human factors as a requirement to implement safer collaborative robotic workstations: A literature review. *Safety*, 7(4), 71.

Colim, A., Carneiro, P., Costa, N., Arezes, P. M., & Sousa, N. (2019). Ergonomic assessment and workstation design in a furniture manufacturing industry: A case study. In P. Arezes et al. (Eds.), *Occupational and environmental safety and health* (Vol. 202). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-14730-3_44

Çakıcı, A., Karaman, A., & Sofuoğlu, S. D. (2024). Ergonomic risk analysis with OWAS method on some machines used by students taking training on furniture in vocational high schools. *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 7(2), 220-233.

Çiçek, E., Kazanç, N., & Kahya, E. (2018). Bir mobilya işletmesinin montaj hattında ergonomik risk analizi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6, 67-82.

Donisi, L., Cesarelli, G., Pisani, N., Ponsiglione, A. M., Ricciardi, C., & Capodaglio, E. (2022). Wearable sensors and artificial intelligence for physical ergonomics: A systematic review of literature. *Diagnostics*, 12(12), 3048.

Dugan, A. G., Laguerre, R. A., Barnes-Farrell, J. L., Cavallari, J. M., Garza, J. L., Graham, L. A., & Cherniack, M. G. (2022). Musculoskeletal health and perceived work ability in a manufacturing workforce. *Occupational Health Science*, 6(1), 73–110.

Dul, J., & Neumann, W. (2009). Ergonomics contributions to company strategies. *Applied Ergonomics*, 40(4), 745–752.

Guastello, S. J. (2023). *Human factors engineering and ergonomics: A systems approach*. CRC Press.

Gungor, C., & Oguz, M. F. (2024). Manual material handling risk assessment in furniture industry: REBA method. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 21(3), 1760-1765.

Güray, D., İnal, D., Al-Ahdal, A., Sekmen, M., & Yapıcı, F. (2024). Integrated ergonomic risk analysis using REBA, RULA, OWAS, and AHP in furniture manufacturing. *Kastamonu University Journal of Engineering and Sciences*, 10(2), 81–94.

Hasan, M. A., Azad, M. A. K., Kamruzzaman, M., Moniruzzaman, M., (2024). Noise Pollution Levels and Their Impact on Workers in Wood Furniture Factories. *ISAR Journal of Multidisciplinary Research and Studies*, 2(9), 39-45.

Highnett, S., & McAtamney, L. (2000). Rapid entire body assessment (REBA). *Applied Ergonomics*, 31, 201–205. [https://doi.org/10.1016/S0003-6870\(99\)00039-3](https://doi.org/10.1016/S0003-6870(99)00039-3)

Imai M. (2012) *Gemba Kaizen: A commonsense approach to a continuous improvement strategy*. McGraw Hill Professional, New York NY.

Jain, R., Rana, K. B., Meena, M. L., & Sidh, S. (2021). Ergonomic assessment and hand tool redesign for the small scale furniture industry. *Materials Today: Proceedings*, 44, 4952-4955.

Karayılmazlar, S., Başıbüyük, Z. A., & Çabuk, Y. (2022). Mobilya Endüstrisinde Çevresel Faktörlerin Etkilerinin Ergonomik Açıdan İncelenmesi ve Bir İşletme Uygulaması. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 24(3), 453-464.

Karhu, O., Kansı, P., & Kuorinka, I. (1977). Correcting working postures in industry: A practical method for analysis. *Applied ergonomics*, 8(4), 199-201.

Karwowski, W., & Marras, W. S. (Eds.). (2003). *Occupational ergonomics: Principles of work design*. CRC Press.

Kaya, B. Y. (2022). Human factors engineering on the edge of industry 4.0: Analysis for IoT-aided technologies. *Endüstri Mühendisliği*, 33(1), 1-21.

Koç, S., & Testik, Ö. M. (2016). Mobilya sektöründe yaşanan kas-iskelet sistemi risklerinin farklı değerlendirme metodları ile incelenmesi ve minimizasyonu. *Endüstri Mühendisliği*, 27(2), 2-27.

Kusuma, E. W., Anisa, A. F., Intanni, R. M., Widodo, E., & Santosa, J. G. B. (2023). Manual Material Handling Training for Workers in The Furniture Industry. *Journal of Safety Education*, 1(2), 29-36.

Levchuk, I., Schäfer, A., Lang, K. H., Gebhardt, H., & Klussmann, A. (2012). Needs of ergonomic design at control units in production industries. *Work*, 41(S1), 1594-1598.

McAtamney, L., & Corlett, E. N. (1993). RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. *Applied Ergonomics*, 24(2), 91-99.

Mirka, G. A. (2005). Development of an ergonomics guideline for the furniture manufacturing industry. *Applied Ergonomics*, 36(2), 241-247.

MSD (2025). *Standing workstation height for manual tasks*. (10/12/2025 tarihinde <https://www.msdprevention.com/resource-library/standing-workstation-height-manual-tasks> adresinden ulaşılmıştır).

Nejad, N. H., Choobineh, A., Rahimifard, H., Haidari, H. R., Tabatabaei, S. H. (2013). Musculoskeletal risk assessment in small furniture manufacturing workshops. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 19(2), 275–284. doi: 10.1080/10803548.2013.11076985

Nithilan, K., Kumar, M. V., Vishal, N., & Thangadurai, A. (2024, March). *Advancing Workplace Safety with IoT-Enabled*

Industrial Monitoring. In 2024 11th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions)(ICRITO) (pp. 1-4). IEEE.

Özkaya, K., İlçe, A. C., & Polat, O. (2025). Investigation of the impact of adjustable workstations on ergonomic performance and worker health in furniture assembly. *Turkish Journal of Forestry*, 26(1), 55-64.

Putz-Anderson, V., Bernard, B. P., Burt, S. E., Cole, L. L., Fairfield-Estill, C., Fine, L. J., Grant, K. A., Gjessing, C., Jenkins, L., Joseph J., Hurrell, J.J., Nelson, N., Pfirman, D., Roberts, R., Stetson, D., Haring-Sweeney, M., Tanaka, S. (1997). Musculoskeletal disorders and workplace factors. *National institute for occupational safety and health (NIOSH)*, 104, 97-141.

Raeisi, S., Osqueizadeh, R., Maghsoudipour, M., & Jafarpisheh, A. S. (2016). Ergonomic redesign of an industrial control panel. *The International Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 7(3), 186.

Salvendy, G. (2012). *Handbook of Human Factors and Ergonomics* (4th ed.). Wiley.

Takala, E. P., Pehkonen, I., Forsman, M., Hansson, G. Å., Mathiassen, S. E., Neumann, W. P., Sjøgaard, G., Veiersted, K.B., Westgaard, R.H. & Winkel, J. (2010). Systematic evaluation of observational methods assessing biomechanical exposures at work. *Scandinavian journal of work, environment & health*, 3-24.

Tompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A., & Tanchoco, J. M. A. (2010). *Facilities planning*. John Wiley & Sons.

Tran, T. T., Taptagaporn, S., Dang, C. V., & Kaewdok, T. (2022). Ergonomic risk factor-related musculoskeletal disorders among wood furniture workers in Binh Duong Province, Vietnam. *Asia-Pacific Journal of Science and Technology*, 28(06), 1-10.

Ulker, O. (2018). Mobilya İmalatı Esnasında Oluşan Gürültü Emisyonlarının ve Maruziyetinin Araştırılması. *International Journal of Engineering Research and Development*, 10(2), 225-244.

Waters, T. R., Putz-Anderson, V., Garg, A., & Fine, L. J. (1993). Revised NIOSH equation for the design and evaluation of manual lifting tasks. *Ergonomics*, 36(7), 749-776.

Wickens, C. D., Lee, J., Liu, Y., & Gordon-Becker, S. (2014). *An introduction to human factors engineering* (Always learning, Pearson new internat. ed.). Harlow: Pearson.

Wurzelbacher, S. J., Lampl, M. P., Bertke, S. J., & Tseng, C. Y. (2020). The effectiveness of ergonomic interventions in material handling operations. *Applied ergonomics*, 87, 103139.

Yang, Y., Zeng, J., Liu, Y., Wang, Z., Jia, N., & Wang, Z. (2022). Prevalence of musculoskeletal disorders and their associated risk factors among furniture manufacturing workers in Guangdong, China: a cross-sectional study. *International journal of environmental research and public health*, 19(21), 14435.

Zhang, Y., Xu, Y., Gao, Z., Yan, H., Li, J., & Lu, Y. (2022). The effect of standing mats on biomechanical characteristics of lower limbs and perceived exertion for healthy individuals during prolonged standing. *Applied Bionics and Biomechanics*, 1, 8132402.

BÖLÜM 2

CEVİZ ODUNU ZIMPARALAMA PARAMETRELERİNİN TAGUCHI YÖNTEMİ İLE ANALİZİ

YUSUF ALPEREN ŞİŞMAN¹
MEHMET GÜNEŞ²

Giriş

Ceviz ağacı (*Juglans regia L.*) değerli bir geniş yapraklı ağaç türü olup dayanıklılığı ve işlenebilirliği sayesinde yüksek katma değerli ahşap ürünlerde (yapı panelleri, döşemelerde vb.) tercih edilmektedir (Ashrafi, Heidari & Jafarzadeh, 2021). Özellikle mobilya, döşeme, dolap kapağı, kapı ve pencere gibi ahşap eşya üretiminde ceviz odunu yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu malzemeye yönelik talebin yüksek olması, işlenmiş yüzey kalitesinin önemini artırmaktadır. Nitekim ceviz odununun endüstriyel işlenmesinde yüzey pürüzsüzlüğünün artırılması ürün kalitesi ve işletme verimliliği üzerinde kritik bir faktördür (Jiang & ark., 2022). Ahşap ürün üretiminde yüzey düzgünlüğü, sonraki kaplama, boyama ve birleştirme işlemlerinin başarısını doğrudan

¹ Öğr. Gör. Dr., On Dokuz Mayıs Üniversitesi Vezirköprü Meslek Yüksekokulu, Tasarım Bölümü, Orcid: 0000-0001-5567-7025

² Dr. Öğr. Üyesi, Çankırı Karatekin Üniversitesi Meslek Yüksekokulu, Tasarım Bölümü, Orcid: 0000-0002-1222-7590

etkilemektedir. Örneğin, ahşap panellerin yüzeyi laminasyon veya boyama öncesinde zımparalanarak pürüzlülüğün ve işleme izlerinin giderilmesi, uygulanacak kaplamanın aderansını ve boyanın performansını belirgin şekilde iyileştirmektedir (Luo & ark., 2014). Benzer şekilde, farklı ağaç türleri üzerinde yapılan yapıştırma testlerinde, daha düşük yüzey pürüzlülüğüne sahip örneklerin daha yüksek yapışma (bonding) mukavemeti sağladığı tespit edilmiştir (Söğütlü, 2017). Bu bulgular, ahşap yüzey hazırlığında pürüzlülük değerinin kontrol altında tutulmasının önemini vurgulamaktadır.

Ahşap yüzey pürüzlülüğü, genellikle Rq, Rz ve Ra (aritmetik ortalama pürüzlülük) gibi parametrik göstergeler ile nicel olarak ifade edilir. Ra parametresi, yüzey profilinin orta hattına göre sapmalarının mutlak değerlerinin ortalamasına eşdeğer olup uluslararası standartlarda tanımlanmıştır (Adamcik & ark., 2023). Yüzey pürüzlülüğü genellikle temaslı (iğne uçlu) profilometre cihazları ile ölçülür.

Zımparalama sonrasında elde edilecek yüzey kalitesi, ahşap malzemenin kendine özgü yapısından ve işlemin parametrelerinden kaynaklanan çok sayıda faktörden etkilenir (Laskowska & ark., 2025). Literatürde ahşabın yoğunluğu, nemi, anatomik yapısı ve lif yönü gibi malzeme özelliklerinin yanı sıra zımpara aşındırıcısının tanecik (kum) büyüklüğü, zımparalama yönü, uygulanan basınç ve hız gibi işlem değişkenlerinin yüzey pürüzlülüğünü önemli ölçüde etkilediği belirtilmektedir (Vitosyte & ark., 2015). Örneğin, kullanılan zımpara kağıdının tanecik iriliği (kum numarası) yüzey pürüzlülüğünde kritik bir role sahiptir. Daha iri taneli (düşük numaralı) bir zımpara kâğıdı ile işleme yapıldığında yüzey daha pürüzlü kalmakta; P80 kum gibi kaba bir zımpara kullanıldığında ölçülen pürüzlülük (Ra) değerleri en yüksek düzeyde gerçekleşmektedir. Buna karşın, daha ince taneli bir aşındırıcı (P150 kum gibi) kullanıldığında yüzey çok daha düzgün olmakta ve Ra değeri belirgin şekilde azalmaktadır (Keturakis & ark., 2015). Ayrıca

ahşap yüzeye uygulanan işlemin yönü de pürüzlülük üzerinde önemli bir etkindir. Liflere dik yönde zımparalanan yüzeylerin pürüzlülük değerleri, liflere paralel yönde zımparalananlara kıyasla anlamlı derecede daha yüksek bulunmuştur. Bu durum, ahşabın hücresel yapısının farklı yönlerde farklı direnç göstermesinden kaynaklanmaktadır (Kudela & ark., 2018). Zımparalama süresi veya aynı bölgeden uzaklaştırılan malzeme miktarı da yüzey pürüzlülüğünü etkileyen bir diğer parametredir. Genel olarak, zımparalama işleminin ilk aşamasında yüzey pürüzlülüğü hızla azalmakta, ancak belli bir noktadan sonra daha uzun süre zımparalamanın ilave bir iyileştirici etkisi çok sınırlı kalmaktadır (Sydor & ark., 2021). Başka bir deyişle, yüzey pürüzlülüğündeki iyileşmenin büyük bölümü başlangıçta gerçekleşirken, belirli bir süre ardından pürüzlülük değeri bir plato seviyesine ulaşmaktadır (Keturakis & ark., 2015). Bu nedenle, optimum yüzey kalitesi ve işlem süresi dengesinin sağlanması için zımparalama parametrelerinin doğru kombinasyonunu belirlemek önemlidir.

Taguchi deney tasarımı yöntemi, çok sayıda parametre kombinasyonunu denemeye gerek kalmadan, önemli faktörleri ve bu faktörlerin en uygun seviyelerini tespit etmeye imkan tanıyan verimli ve sistematik bir optimizasyon yaklaşımı sunmaktadır (Kumar & ark., 2020). Taguchi yönteminin temelinde, ortogonal dizi tabanlı bir deney tasarımı ve S/N analizi kullanarak parametre seviyelerinin çıktı üzerindeki etkisini istatistiksel olarak değerlendirmek yer alır. Her bir faktörün farklı seviyeleri, önceden tanımlanmış ortogonal düzenlere (L9, L18, L27 gibi) göre kombine edilerek minimum sayıda deneyle maksimum bilgi elde edilir. Bu yöntem, gürültü faktörlerinin etkisini de istatistiksel olarak minimize etmeyi hedeflediğinden, endüstriyel üretim koşullarında sürecin kalitesini artırmaktadır (Vinodh & ark., 2015).

Ahşap malzemelerin işlenmesinde Taguchi deney tasarımı nispeten az sayıda çalışmada uygulanmıştır. Bununla birlikte,

mevcut bazı araştırmalar bu yaklaşımın ahşap yzey kalitesini iyileştirmede başarılı sonuçlar verdiğini göstermektedir. MDF malzemenin delinmesi sürecinde Taguchi yöntemini kullanarak kesme parametrelerini optimize etmiş ve yzey pürüzlülüğünü en çok etkileyen faktörün matkap ilerleme hızı olduğunu raporlamıştır. Benzer şekilde, ahşap işleme parametrelerinin yzey pürüzlülüğüne etkisini Taguchi yöntemi ile değerlendirmiş; hem S/N oranı analizleri hem de varyans analizi sonuçlarına göre zımpara tanecik boyutunun (kum numarasının) yzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili değerken olduğunu belirlemişlerdir (Tiryaki & ark., 2015). Bu alışma ayrıca Taguchi tasarımı tekniğinin, farklı ağaç türlerinin (rneğin kayın ve ladin) işlenmesinde yzey kalitesi problemlerini çözmede son derece uygun ve etkin bir yöntem olduğunu ortaya koymuştur. Dolayısıyla, Taguchi gibi istatistiksel optimizasyon yöntemlerinin ahşap sektöründe kullanımının, geleneksel deneme-yanılma yaklaşımına kıyasla hem zaman hem de maliyet açısından önemli avantajlar sağlayabileceği anlaşılmaktadır (Nguyen & Dang, 2023).

Sonuç olarak, ceviz odunu yzeyinin zımparalama ile hazırlanmasında hangi koşullar altında en düşük pürüzlülüğün elde edileceği ortaya konmuştur. Bu optimizasyon çalışması, özellikle mobilya üretimi, ahşap panel kaplama ve yzey boyama gibi uygulamalarda ceviz odunu için uygun zımparalama stratejilerinin belirlenmesine katkı sağlayacaktır. Elde edilecek bulgular sayesinde üretim süreçlerinde yzey işlemleri iyileştirilerek son ürünün kaplama yapıştırma kalitesi ve yzey görünümü yükseltilebilir. Ahşap işleme sektöründe proses parametrelerinin optimize edilmesi, enerji tüketiminin azaltılması ve ürün kalitesinin artırılması açısından kritik öneme sahiptir. Bu alışma ile belirlenen optimum zımparalama parametreleri, endüstriyel uygulamalarda verimlilik ve kalite artışı sağlayarak ceviz odunu başta olmak üzere değerli ahşap malzemelerin kullanım potansiyelini daha da yükseltecektir.

Materyal

Bu çalışmada, ceviz odunu (*Juglans regia L.*) kullanılmıştır. Ceviz ağacı, orman endüstrisinde değerli bir malzeme olarak kabul edilmekte olup, özellikle mobilya sektöründe estetik ve dayanıklılığıyla öne çıkmaktadır. Ceviz ağacının fiziksel özellikleri, yüksek yoğunluk (yaklaşık 0,6-0,8 g/cm³), özellikle sertlik ve dayanıklılığı ile işlenebilirlik özellikleri ile tanımlanır. Ayrıca, ceviz ağacı yüksek çekme ve burkulma dayanımına sahiptir, bu da zımparalama ve yüzey işleme işlemleri için uygun olmasını sağlar (Najafianashrafi, 2025). Çalışmada kullanılan deneme numuneleri, 50x50x200 mm ebatlarında olup, 1. sınıf kusursuz keresteden elde edilmiştir. Deney örnekleri çalışma öncesinde yaklaşık %65 bağıl nemde ve 20°C sıcaklıkta hava kurusu hale getirilmiştir.

Metot

Zımparalama işlemi için, 80, 120 ve 150 kum numaralı zımpara bantları kullanılmıştır. Zımparalama sürecinde, her bir parça üzerine 20 N yük uygulanarak 15, 30 ve 45 saniye süreyle işlem yapılmıştır. Bu parametreler, zımparalama işleminin etkisini belirlemek için farklı kombinasyonlarla test edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri, yüksek hassasiyetli bir Mitutoyo SJ-410 profilometre cihazı ile yapılmıştır. Profilometre, yüzeyin mikro düzeyde pürüzlülüğünü ölçerek, zımparalama işleminin etkisini çok hassas bir şekilde belirlemeyi mümkün kılar.

Her bir numune için, zımparalama işlemi liflere paralel ve dik yönde gerçekleştirilmiştir. Her yönde toplamda 20 ölçüm alınmış ve bu ölçümlerin ortalamaları hesaplanmıştır. Bu yöntem, yüzeyin homojenliğini ve işlem yönlerinin etkisini değerlendirmek amacıyla uygulanmıştır. Tablo 1’de deney tasarımı verilmiştir.

Tablo 1 Taguchi L18 deney tasarımı

	Yön	Zımpara	Süre	Ra (μm)
1	Paralel	80	15	4,335
2	Paralel	80	30	3,708
3	Paralel	80	45	3,349
4	Paralel	120	15	3,553
5	Paralel	120	30	2,357
6	Paralel	120	45	1,759
7	Paralel	150	15	2,973
8	Paralel	150	30	2,522
9	Paralel	150	45	2,296
10	Dik	80	15	5,237
11	Dik	80	30	4,052
12	Dik	80	45	3,362
13	Dik	120	15	4,922
14	Dik	120	30	3,443
15	Dik	120	45	2,704
16	Dik	150	15	4,048
17	Dik	150	30	3,027
18	Dik	150	45	2,517

Deneyssel analiz için Minitab yazılımı kullanılmıştır. Minitab’da L18 ortogonal dizi kullanılarak Taguchi deney tasarımı uygulanmış ve ANOVA (Varyans Analizi) ile faktörlerin etkisi ve etkileşimleri istatistiksel olarak incelenmiştir. Bu sayede, yüzey pürüzlülüğünü en fazla etkileyen faktörler (zımparalama süresi, zımpara kum numarası ve işleme yönü) belirlenmiştir. Ayrıca, her faktörün ve etkileşimin yüzey pürüzlülüğüne olan katkıları SN oranı analizleri ile değerlendirilmiştir. SN oranı, zımparalama işlemi sırasında hedeflenen düşük pürüzlülük değerlerine ulaşma doğruluğunu göstermek için “smaller-is-better” kriterine dayandırılmıştır.

Bulgular

Tablo 2’de zımpara faktörü, toplam varyansın %20,12’sini açıklamakta ve $F=122,11$ ile $P=0,000$ olan bu faktör, yüzey pürüzlülüğü üzerinde anlamlı bir etkiye sahiptir.

Tablo 2 Ra yüzey pürüzlülüğü varyans analizi

Source	Etki Faktörleri	Kareler Toplamı	Katkı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Zımpara	2	85,001	%20,12	42,500	122,11	0,000
Süre	2	144,874	%34,29	72,437	208,11	0,000
Yön	1	47,300	%11,19	47,299	135,89	0,000
Zımpara*Süre	4	8,559	%2,03	2,139	6,15	0,000
Zımpara*Yön	2	7,895	%1,87	3,947	11,34	0,000
Süre*Yön	2	8,957	%2,12	4,478	12,87	0,000
Zımpara*Süre*Yön	4	0,931	%0,22	0,232	0,67	0,614
Error	342	119,038	%28,17	0,348		
Total	359	422,555	%100,00			

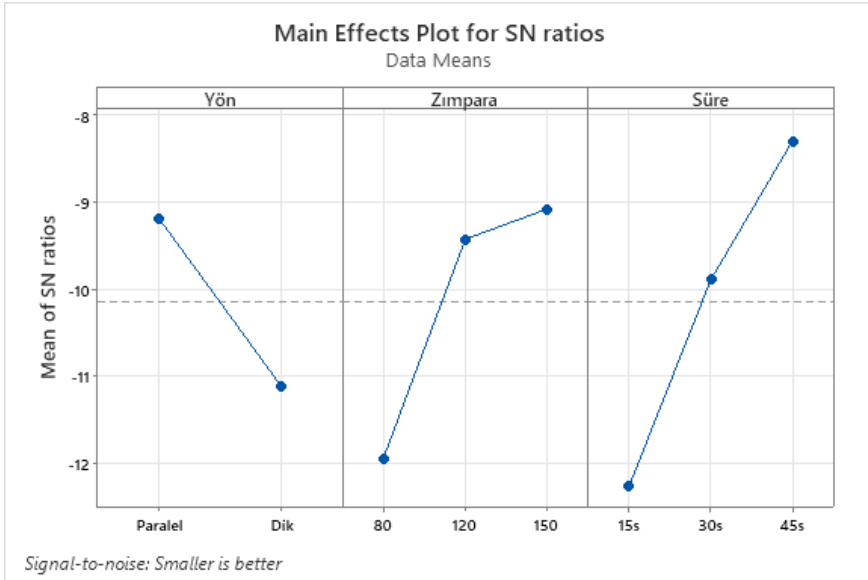
Bu da zımpara faktörünün önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Süre faktörü, toplam varyansın %34,29'unu oluşturarak, F-değeri 208,11 ve P-değeri 0,000 ile zımparadan sonra en güçlü etkiye sahip faktör olmuştur. Sürenin ayarlanması, yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmede büyük bir etkindir. Yön faktörü toplam varyansın %11,19'unu oluşturmuştur. Ancak, bu etkinin zımpara ve süre gibi ana faktörlere göre daha düşük olduğu söylenebilir. Diğer etkileşimlere bakıldığında, zımpara*süre etkileşimi toplam varyansın %2,03'ünü açıklar ve P-değeri 0,000 ile önemli bir etkisi olduğu görülmektedir. Zımpara*yön etkileşimi de %1,87'lik bir katkı sağlamakta ve anlamlı bir etki göstermektedir. Süre*yön etkileşimi ise %2,12'lik bir katkı yaparak yüzey pürüzlülüğünü etkileyen önemli bir faktördür. Ancak, zımpara*süre*yön üçlü etkileşimi P-değeri 0,614 ile anlamlı bir etki göstermemektedir. Tablo 3'de sinyal gürültü oranları (en küçük en iyidir) verilmiştir.

Tablo 3 Sinyal Gürültü Oranları (En küçük en iyidir)

Seviye	Yön	Zımpara	Süre
1	-9,189	-11,948	-12,264
2	-11,119	-9,431	-9,896
3		-9,083	-8,302
Delta	1,930	2,864	3,962
Sıra	3	2	1

Tablo 3’de en küçük en iyidir kriteriyle değerlendirilen S/N oranları, zımparalama parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini ortaya koymuştur. En etkili faktörün zımparalama süresi olduğu, süre arttıkça yüzey pürüzlülüğünün azaldığı görülmüştür. İkinci en etkili parametre zımpara kum numarası olup, daha ince kum (150 kum) ile daha düzgün yüzey elde edilmiştir. En az etkili faktör ise zımparalama yönüdür. Sonuç olarak, en düşük yüzey pürüzlülüğü 45 saniye süre, 150 kum zımpara ve liflere paralel yönde yapılan ölçümlerde elde edilmiştir. Zımparalama faktörlerinin SN oranı bakımından ana etkileri verilmiştir.

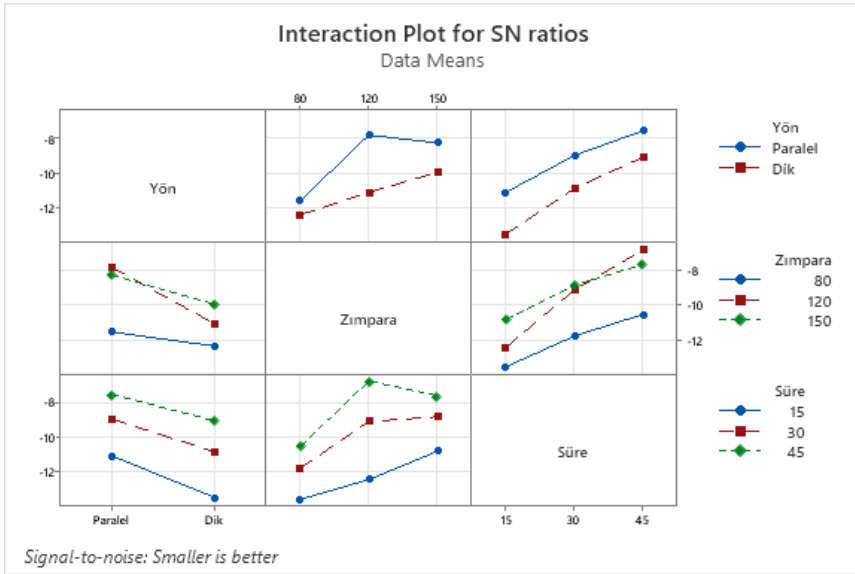
Şekil 1 Zımparalama faktörlerinin SN oranı bakımından ana etkileri.



Şekil 1’de S/N oranı ana etki grafiği verilmiştir. Grafiğe göre liflere paralel yönde zımparalama yapılması durumunda daha yüksek S/N değerleri (daha düşük pürüzlülük) elde edilmektedir. Zımpara kum büyüklüğü arttıkça S/N değeri yükselmiş, 80 kum en düşük, 150 kum en yüksek S/N’ı vermiştir. İşlem süresi arttıkça

yüzey daha düzgünleşmiş ve 15 s’de S/N en düşük, 45 s’de ise en yüksek düzeyde bulunmuştur. Tüm faktörlerde daha yüksek S/N değeri daha düşük pürüzlülüğü ifade ettiğinden, optimum kombinasyon liflere paralel yön, 150 kum zımpara ve 45 s olarak belirlenmiştir. Bu üç faktörün kesişimin de en yüksek S/N değeri elde edilmiştir. Zımparalama faktörleri arası etkileşimlerin SN grafiği Şekil 2’de verilmiştir.

Şekil 2 Zımparalama faktörleri arası etkileşimlerin S/N grafiği



Şekil 2’de etkileşim grafikleri sunulmuştur. Bu grafiklerde çizgilerin paralel olmaması, faktörler arasında etkileşim bulunduğuna işaret etmektedir. Zımpara kum numarası ile zımpara süresi etkileşimine bakıldığında, kısa sürede (15 s) 80 kum zımparanın pürüzlülük artışına yol açtığı, ancak süre uzadıkça (45 s) kaba zımparanın olumsuz etkisinin azaldığı görülmektedir. İnce zımpara (150 kum) ile süre artışı, pürüzlülükte daha belirgin iyileşme sağlamıştır. Benzer şekilde, işlem yönü ile zımpara etkileşim grafiğinde, paralel işlemde zımpara numarasının artışı pürüzlülüğü belirgin şekilde azaltırken, dik işlemde bu azalma daha

sınırlı kalmıştır. Her iki faktör bir arada incelendiğinde de paralel yönde ve uzun sürede zımpara yapıldığında S/N değerleri azami düzeye çıkmaktadır. ANOVA sonuçları bu grafiklerin yorumu ile tutarlıdır; faktör etkileşimlerinin pürüzlülük üzerinde anlamlı etkileri olduğu belirlenmiştir.

Grafiklerin görüldüğü üzere, liflere paralel yönde ve ince (150 kum) zımpara kağıdı kullanılarak uzun süre (45 s) ile işlem yapıldığında yüzey pürüzlülüğü en düşük düzeyde ölçülmektedir. Tüm kombinasyonlarda paralel yönde elde edilen S/N değerleri dik yöne göre daha yüksektir. Örneğin 150 kum zımparada süre artışı paralel yönde S/N'ı dik yöne kıyasla daha fazla yükseltmiştir. Bu bulgular, zımparalama parametrelerinin birlikte ele alınmasının önemli olduğunu göstermektedir.

Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, ceviz (*Juglans regia L.*) odununda zımparalama işlemine ait yüzey pürüzlülüğü değerleri Taguchi deney tasarımı yöntemiyle optimize edilmiştir. “Küçük daha iyidir” kriterine göre yapılan analiz sonucunda, yüzey pürüzlülüğünü en fazla etkileyen faktörün zımparalama süresi olduğu belirlenmiştir. Süre arttıkça yüzey pürüzlülüğü anlamlı şekilde azalmış, en düşük Ra değerleri 45 saniyelik zımparalama ile elde edilmiştir. Bunu sırasıyla zımpara kum numarası ve zımparalama yönü izlemiştir. Daha ince kumlu zımparalar (150 kum), yüzey kalitesini artırırken; liflere dik yönde yapılan ölçümler, paralel yönde yapılabildiği kadar düşük pürüzlülük değerleri sağlamıştır.

Sonuçlar, ceviz odununun estetik ve yapısal açıdan yüksek kaliteli yüzey elde edilmesinde zımparalama parametrelerinin dikkatle seçilmesi gerektiğini göstermektedir. Bu bağlamda, liflere paralel, 150 kum zımpara ile 45 saniyelik zımparalama süresi tercihi, en uygun kombinasyon olarak önerilmektedir. Elde edilen bulgular, başta mobilya ve iç mekân kaplama sektörü olmak üzere ceviz

odununun kullanıldığı alanlarda üretim kalitesini artırmaya yönelik önemli bir veri sağlamaktadır.

İlerleyen çalışmalarda, farklı ahşap türleri, zımparalama basıncı, zımpara türü ve otomatik zımparalama sistemleri gibi parametrelerin de eklenerek daha kapsamlı optimizasyon çalışmaları yapılması önerilmektedir. Ayrıca yüzey pürüzlülüğü dışında yapışma dayanımı, renk değişimi veya vernik performansı gibi yüzey karakteristiklerinin de değerlendirilmesi, uygulamaya yönelik daha bütüncül sonuçların elde edilmesini sağlayacaktır.

Kaynaklar

Adamčík, L., Adámek, M., & Kováč, M. (2023). Comparison of surface roughness of beech wood after sanding with an eccentric and belt sander. *Forests*, 15(1), 45.

Ashrafi, M. N., Heidari, A., & Jafarzadeh, H. (2021). Studying the physical and mechanical properties of walnut (*Juglans regia* L.) wood from regions of Mashhad and Maku in Iran. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 39(2), 112-118.

Jiang, S., Zhang, Z., Liu, Z., & Zhang, C. (2022). Cutting force and surface roughness during straight-tooth milling of walnut wood. *Forests*, 13(12), 2126.

Keturakis, G., Kulikauskas, D., & Baltrušaitis, A. (2015). Effect of the sanding time and abrasive grit size on surface roughness of wood. *Proceedings of the 11th Meeting of the Northern European Network for Wood Sciences and Engineering (WSE)* (ss. 14-15). Poznan: Poznan University of Life Sciences.

Kúdela, J., Mrenica, L., & Javorek, L. (2018). The influence of milling and sanding on wood surface morphology. *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen*, 60(1), 71-83.

Kumar, V., Kharub, M., & Jha, N. K. (2020). Parametric optimization of submerged arc welding using Taguchi method on P91 steel. *CVR Journal of Science and Technology*, 19(1), 123-127.

Laskowska, A., Dziurka, D., & Ławniczak, R. (2025). Surface property differences of European larch sapwood and heartwood after sanding. *Coatings*, 15(7), 860.

Luo, B., He, L., Zhao, H., & Li, C. (2014). Analysis of sanding parameters, sanding force, normal force, power consumption, and surface roughness in sanding wood-based panels. *BioResources*, 9(4), 7494-7503.

Najafianashrafi, M. (2025). Investigation of physical and mechanical properties of walnut wood (*Juglans regia*) from Barkala Region, Kordkuy County, Golestan Province. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 39(2), 118-125.

Nguyen-Thi-ngoc, H., & Dang, T.-V. (2023). Optimization of process parameters for wood laser engraving based on Taguchi method approach. *MM Science Journal*, 3, 6723-6729.

Söğütlü, C. (2017). Determination of the effect of surface roughness on the bonding strength of wooden materials. *BioResources*, 12(1), 1417-1429.

Sydor, M., Puchala, A., & Tadeusz, Z. (2021). Efficiency of machine sanding of wood. *Applied Sciences*, 11(6), 2860.

Tiryaki, S., Hamzaçebi, C., & Malkoçoğlu, A. (2015). Evaluation of process parameters for lower surface roughness in wood machining by using Taguchi design methodology. *European Journal of Wood and Wood Products*, 73(4), 537-545.

Vinodh, S., Karthik Bharathi, S., & Gopi, N. (2015). Parametric optimization of submerged arc welding using Taguchi method. J. P. Davim (Ed.), *Design of Experiments in Production Engineering* içinde (ss. 183-194). Springer.

Vitosytė, J., Ukvalbergienė, K., & Keturakis, G. (2015). Wood surface roughness: An impact of wood species, grain direction, and grit size. *Materials Science*, 21(2), 255-259.

BÖLÜM 3

ZIMPARA PARAMETRELERİNİN MAUN (*Swietenia mahagoni* L.), ODUNU YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİLERİ

MEHMET GÜNEŞ¹

Giriş

Ahşap malzemelerin yüzey kalitesi, estetik görünüm ve yüzey işlemlerinin başarısı için büyük önem taşır (Laina & ark., 2017). Özellikle, yüzey pürüzlülüğünün, ahşaba uygulanan boya, vernik veya yapıştırıcıların yapışmasını ve pürüzsüz bir film oluşturma kabiliyetini doğrudan etkilediği bilinmektedir. Pürüzlü bir yüzey, kaplama malzemelerinin eşit dağılımını engelleyerek malzeme tüketiminin artmasına ve yapışmanın optimal düzeyde olmamasına neden olabilir (Pelit & Arısüt, 2023). Yüksek yüzey pürüzlülüğünün, kaplamanın ahşap yüzeyini tamamen ıslatma kapasitesini engelleyerek koruyucu film tabakasının bütünlüğünü bozabileceği ve sonuçta yapışma sorunlarına ile performans düşüşüne yol açabileceği gözlemlenmiştir (Hang & ark., 2024). Bu konuyla ilgili olarak, ahşap yüzeylerin mümkün olduğunca pürüzsüz

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Çankırı Karatekin Üniversitesi Meslek Yüksekokulu, Tasarım Bölümü, Orcid: 0000-0002-1222-7590

olması (düşük pürüzlülük) en uygundur, çünkü bu, estetik kaliteyi artırır ve boyama ve yapıştırma gibi sonraki işlemleri kolaylaştırır (Laina & ark., 2017).

Ahşap endüstrisinde, zımparalama, yüzey işlemlerinden önce istenen pürüzsüzlüğü elde etmek için yaygın olarak kullanılan bir uygulamadır. Zımparalama, sonraki işlemler için yüzeyi hazırlamak amacıyla, aşındırıcı bir bant veya kağıt kullanarak ahşap yüzeyindeki düzensizliklerin giderilmesi işlemidir. Zımparalama işlemi ahşap ürün imalatı ve özellikle mobilya imalatı alanında birçok avantaj sağlar (Hazır & Koç, 2018). Bunlar arasında yüksek yüzey kalitesinin elde edilmesi, verimliliğin artırılması, ahşabın doğal görünümünün iyileştirilmesi ve uygulanan kaplamanın performansının artırılması sayılabilir. Zımparalama işleminin verimliliği ve elde edilen yüzey kalitesi, kullanılan zımpara kağıdının özelliklerine ve uygulama parametrelerine bağlıdır. Zımparalama işlemlerinde önemli parametrelerden birkaçı da, zımpara kağıdının tane boyutu, zımparalama işleminin süresi ve zımparalamanın yapıldığı yöndür. Zımpara kağıdının tane boyutu (yani aşındırıcı parçacıkların inceliği), elde edilen yüzey pürüzlülüğünü belirleyen en kritik faktörlerden biridir. Genel olarak, ince taneli (yüksek numaralı) zımpara kağıdı kullanılması, daha pürüzsüz bir doku ve daha düşük pürüzlülük değerleri ile karakterize edilen yüzeyler ile sonuçlanır. (Laina & ark., 2017; Güray & ark., 2019).

Yapılan çalışmalarda, ince kumla zımparalamanın pürüzlülüğü önemli ölçüde azaltılabileceği de gösterilmiştir (İlçe, 2018). Zımparalama süresinin veya belirli bir alana uygulanan geçiş sayısının yüzey kalitesini önemli ölçüde etkileyebileceği de dikkat çekicidir. Uzun bir süre boyunca yapılan zımparalama işleminin yüzey pürüzlülüğünü azaltılabileceği gösterilmiştir. Bununla birlikte, aşırı zımparalamanın ahşabın hücreli yapısını bozma potansiyeli olduğunu belirtmek gerekir. Sonuç olarak, zımparalama için en

uygun süreyi belirlemek son derece önemlidir. Zımparalama yönü, aşındırıcı malzemenin ahşap liflerinin yönüne paralel mi yoksa dik mi uygulandığına bağlı olduğundan, dikkate alınması gereken bir diğer önemli parametredir. Ahşap malzemenin lifli ve anizotropik yapısının, bitmiş ürünün yüzey kalitesine önemli bir etkisi olduğu açıktır ve bu, zımparalamanın yapıldığı yön tarafından önemli ölçüde etkilenebilir. Teğetsel yüzeylerde (yani yıllık halkalara teğet olan yüzeylerde) elde edilen yüzeylerin radyal yüzeylerden daha pürüzsüz olabileceği hipotezi öne sürülmüştür. Bununla birlikte, son zamanlarda yapılan çalışmalar, damar yönünün yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin, kum tanesi boyutu veya besleme hızı gibi değişkenlerden daha az önemli olduğunu göstermektedir (Laina & ark., 2017). Örneğin, çeşitli ağaç türleri üzerinde yapılan bir deneyde, zımparalama yönünün pürüzlülük üzerindeki istatistiksel etkisi çoğu durumda ikincil öneme sahipti. Buna karşılık, zımpara kağıdı kum tanesi sayısı ve kesme hızları gibi parametrelerin çok daha belirleyici olduğu bildirilmiştir (Varasquim & ark., 2012).

Zımparalama işlemiyle elde edilebilecek minimum pürüzlülük seviyesi, sadece işlem parametrelerine değil, aynı zamanda ahşabın yapısal özelliklerine de bağlıdır. Zımparalama ile elde edilebilecek yüzey kalitesi, ahşabın anatomik yapısı (örneğin gözenek ve lif yapısı), yoğunluğu ve sertliği ile sınırlıdır. Yüzey pürüzlülüğünü azaltmanın, yüksek yoğunluklu ve sert ahşaplarda daha zor bir iş olduğu yaygın olarak kabul edilmektedir. Çeşitli türler üzerinde yapılan bir araştırma, ahşap sertliğinin yüzey pürüzlülüğünü belirleyen en önemli malzeme özelliklerinden biri olduğu sonucuna varmıştır. Nitekim, sertlik derecesi arttıkça, zımparalama işlemiyle minimum pürüzlülük düzeylerine ulaşmak daha zor hale gelir (Chavenetidou & Kamperidou, 2024). Büyüme halkaları, lif yönü ve nem içeriği gibi faktörlerden oluşan ahşabın anizotropik yapısı, zımparalama sırasında düzensiz aşınmaya neden olarak ölçülen pürüzlülük profilini etkileyebilir (Liu & ark., 2023).

Özetle, zımparalama ile elde edilen yüzey kalitesi iki faktör tarafından belirlenir: makine parametreleri (ör. kum boyutu, uygulama süresi, basınç kuvveti, hız vb.) ve ahşabın kendisinin özellikleri (ör. yoğunluk, sertlik, yıllık halka yapısı ve lif yönü).

Çeşitli ahşap türleri ve işlemleri için zımparalama sonrası yüzey pürüzlülüğünü inceleyen önemli bir literatür mevcuttur. Son yıllarda, araştırmacılar uygun deneysel tasarımlar ve optimizasyon teknikleri kullanarak ahşap yüzey işlemlerini iyileştirmeye odaklanmışlardır. Örneğin, Hazır & ark., (2017), Avrupa karaçam (*Pinus nigra*) ahşap üzerinde zımparalama parametrelerini optimize etmek için tepki yüzeyi yöntemini kullanmış ve böylece en düşük pürüzlülük için en uygun kum tanesi boyutu, besleme hızı ve kesme derinliği kombinasyonunu belirlemiştir. Benzer şekilde, Taguchi'nin deneysel tasarım metodolojisini kullanılarak, İskoç çamından oluşan kenar yapıştırmalı paneller için en uygun zımparalama parametrelerini değerlendirmiştir. Bu sistematik optimizasyon yaklaşımı, son yıllarda ahşap yüzeylerin işlenmesinde öne çıkan bir trend haline gelmiştir (Demir & ark., 2022). Isıl işlem görmüş ahşaplar üzerinde yapılan bir araştırma, termal modifikasyonun yüzey pürüzlülüğünü kısmen artırdığını ortaya koymuştur. Ancak, zımparalama sonrası ince kum kullanımı ısıl işlem görmüş ve kontrol numunelerinde pürüzlülüğü önemli ölçüde azaltmıştır. Ayrıca, zımparalanmış yüzeylerin performansı, son kullanım sırasında hem pürüzlülük hem de yapışma/mukavemet açısından incelenmiştir. Örneğin, çeşitli ahşap türlerinde yüzey dokusu ile yapışma etkinliği arasındaki korelasyonun araştırılması, yüzey pürüzlülüğünün azaldığı numunelerin yapışma mukavemetinde önemli bir artış gösterdiğini ortaya koymuştur (Söğütü, 2017). Güncel bulgular, yüzey dokusunun yalnızca estetik bir tercih meselesi olmadığını, aksine ahşap malzemelerin işlevsel performansını belirlemede önemli bir unsur olduğunu göstermektedir.

Bu çalışma, zımparalama işlemi yoluyla tropikal kökenli değerli bir ticari tür olan *Swietenia mahagoni* L. (Maun) ağacının yüzey pürüzlülüğü özelliklerini incelemektedir. Maun ağacı, orta yoğunlukta ve kendi kategorisi için nispeten yumuşaktır, ince ve bazen dalgalı (içbükey-dışbükey damarlı) bir dokuya sahiptir. Malzemenin uygun şekilde işlenmesi pürüzsüz ve parlak bir yüzey elde edilmesini sağlar. Ayrıca, geleneksel olarak işlenmesi ve cilalanması kolaydır. Ardından, elde edilen yüzeylerin pürüzlülük değerleri ölçülmüş ve karşılaştırılmıştır. Bulgular, maun zımparalama sırasında yüzey kalitesini etkileyen başlıca faktörlerin belirlenmesini kolaylaştıracak ve optimum zımparalama koşullarını ortaya koyacaktır. Bu araştırmanın, tropikal sert ağaçların yüzey işleme özellikleri hakkındaki bilgi birikimine değerli yeni bilgiler katacağı düşünülmektedir. Ayrıca, endüstride maun gibi değerli ahşap malzemelerin yüzey işlemleri için daha hassas parametre seçimi yapılmasını kolaylaştıracaktır.

Bu çalışmada, Maun odununun yüzey pürüzlülüğü üzerinde zımparalama parametrelerinin (zımpara kumu numarası, zımparalama süresi ve lif yönü) etkileri araştırılmıştır.

Materyal ve Metot

Malzeme

Bu çalışmada kullanılan numuneler, tropik bölgelerde doğal olarak yetişen ve Meliaceae familyasına ait olan *Swietenia mahagoni* L. türü odunlardan elde edilmiştir. Maun, estetik görünümü, düzgün lif yapısı ve kolay işlenebilirliği nedeniyle özellikle mobilya, iç mekân kaplamaları ve ince marangozluk uygulamalarında tercih edilen değerli bir ağaç türüdür. Liflerin düzgün ve homojen dağılım göstermesi, zımparalama ve yüzey işlemleri sırasında daha iyi sonuçlar alınmasını sağlamaktadır. Numuneler, hava kurusu hâlde ($20^{\circ}\text{C} \pm 2$ ve $\%65 \pm 5$) olan kerestelerden hazırlanmış ve her biri $50 \times 50 \times 200$ mm boyutlarında olacak şekilde kesilmiştir. DeneySEL

sonuçlarının doğruluğunu artırmak amacıyla, örnek yüzey düzgünlüğü önceden kontrol edilmiş, deformasyon veya yüzey bozukluğu olan parçalar kullanılmamıştır.

Maun odununun ortalama yoğunluğu %12 nemde 530–640 kg/m³ aralığında değişmekte olup, kuruma sırasında çatlama ve eğilme eğilimi düşüktür. Eğilme direnci 80–100 MPa, elastikiyet modülü 9000–11000 MPa, basınç direnci 45–55 MPa ve Janka sertliği yaklaşık 3500 N düzeyindedir (Vardeleon & ark., 2025). Bu fiziksel ve mekanik özellikleri, maunun yüzey pürüzlülüğü çalışmalarında kullanılmasına uygunluk sağlamaktadır. Homojen gözenek yapısı ve orta sertlikteki dokusu, zımparalama işlemleri sırasında kontrol edilebilir aşındırma işlemi sunarak estetik ve teknik açıdan kaliteli yüzeyler elde edilmesine katkı sağlamaktadır.

Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü

Zımparalama işlemi sonrasında elde edilen yüzeylerin pürüzlülük değerleri, yüzey kalitesinin objektif olarak değerlendirilmesi açısından önemli parametrelerdendir. Bu çalışmada, Maun örneklerinin yüzey pürüzlülüğü ölçümleri, iğne uçlu profilometre esasına dayanan Resim 1’de ki Mitutoyo SJ-410 taşınabilir yüzey pürüzlülük cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Ölçümler, ISO 21920-2:2021 standardına uygun şekilde yapılmış olup her örnek için üç farklı yüzey pürüzlülüğü parametresi belirlenmiştir. Aritmetik ortalama pürüzlülük (Ra), maksimum yükseklik (Rz) ve kök ortalama kare pürüzlülük (Rq).

Resim 1. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı



Zımparalanmış yüzeylerde ölçümler, her bir örnekte belirlenen 10 cm²'lik alan içerisinde lif yönüne paralel ve dik olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Ölçüm süresi her bir konum için 10 saniye olarak sabitlenmiş; cihazın iğnesi, ahşap yüzey boyunca kesintisiz ve sabit hızda hareket ettirilmiştir. Aynı numune üzerinde farklı zımpara kumları (P80, P120, P180, P220) ve süre (15 saniye, 60 saniye) kombinasyonları uygulanmıştır. Her işlem sonrasında yüzey pürüzlülüğü yeniden ölçülerek süreye ve zımpara parametrelerine bağlı değişimler izlenmiştir.

Bulgular

Çalışmada Maun odununun yüzey pürüzlülüğüne etki eden başlıca üç faktörün (zımpara kumu, zımparalama süresi ve lif yönü) etkileri Ra, Rq ve Rz pürüzlülük parametreleri üzerinden analiz edilmiştir. Varyans analizi (ANOVA) sonuçları, her üç parametre için de bu faktörlerin istatistiksel olarak anlamlı etkiler yarattığını göstermektedir ($p < 0,05$).

Tablo 1 Ra Varyans Analizi

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj MS	F-Value	P-Value
Zımpara	3	702,72	52,63%	234,239	389,18	0,000
Süre	1	277,87	20,81%	277,866	461,67	0,000

Yön	1	144,91	10,85%	144,910	240,76	0,000
Zımpara*Süre	3	6,03	0,45%	2,009	3,34	0,020
Zımpara*Yön	3	18,11	1,36%	6,035	10,03	0,000
Süre*Yön	1	0,06	0,00%	0,059	0,10	0,754
Zımpara*Süre*Yön	3	2,46	0,18%	0,820	1,36	0,254
Error	304	182,97	13,70%	0,602		
Total	319	1335,12	100,00%			

Varyans analizine göre Ra parametresi üzerinde en büyük etkiyi zımpara kumu oluşturmuştur. Zımpara faktörü toplam varyansın %52,63'ünü açıklamakta ve F-değeri 389,18 ile oldukça yüksek seviyededir ($p<0,05$). Bu durum, kullanılan zımpara kum numarasının yüzey pürüzlülüğü üzerinde belirleyici bir rol oynadığını açıkça ortaya koymaktadır. Daha kaba zımparalar (örneğin 80 numara), lif yırtılmasına neden olarak yüzeyde daha derin izler bırakırken, daha ince kumlar (örneğin 220 numara) daha düzgün ve düşük pürüzlü yüzeyler oluşturmaktadır. Tukey testi sonuçlarına göre 80 kumda ortalama Ra değeri 6,93 μm ile en yüksek seviyedeysen, 220 kumda bu değer 2,88 μm 'ye düşmektedir. Gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklar mevcuttur.

Zımparalama süresi faktörü, varyansın %20,81'ini açıklamakta olup bu da yüzey kalitesi üzerinde kayda değer bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir ($F = 461,67$; $p<0,05$). Daha uzun süreli zımparalama işlemi (60 saniye), yüzeydeki çıkıntıların aşındırılmasını kolaylaştırarak pürüzlülüğün düşmesine yol açmaktadır. Ortalama Ra değeri 15 saniyelik işlemde 6,11 μm iken, 60 saniyelik uygulamada 4,25 μm 'ye gerilemiştir. Tukey testi bu farkın istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir.

Lif yönü faktörü de %10,85 katkı payı ile yüzey pürüzlülüğünü önemli ölçüde etkilemektedir ($F = 240,76$; $p < 0,05$). Lif yönüne dik yapılan zımparalamalarda Ra değeri ortalama 5,85 μm iken, paralel yönde bu değer 4,51 μm 'ye düşmektedir.

Faktörler arası etkileşimlere bakıldığında, “zımpara * süre” ($p=0,020$) ve “zımpara * yön” ($p<0,05$) etkileşimleri anlamlı

çıkmiştir. Özellikle 80 kum ile 15 saniye ve dik yönde yapılan işlemlerde en yüksek Ra değerleri elde edilmiştir. Örneğin, 80 numara kumla 15 saniyelik dik yönde yapılan zımparalamada Ra ortalaması 7,99 μm ile en yüksek değeri göstermektedir. Buna karşılık, 220 numara kumla 60 saniye ve paralel yönde yapılan zımparalamada en düşük Ra değeri olan 2,19 μm ölçülmüştür. Bu sonuçlar, yüzey pürüzlülüğü üzerinde tüm faktörlerin birbirleriyle olan kombinasyonlarının etkili olduğunu göstermektedir.

Yüksek zımpara numarası, daha uzun işlem süresi ve lif yönüne paralel uygulamalar yüzey pürüzlülüğünü azaltmakta ve daha düzgün yüzeyler elde edilmesini sağlamaktadır. Bu bulgular, yüzey kalitesinin artırılmasında işleme parametrelerinin birlikte optimize edilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Elde edilen sonuçlar, İstek & ark., (2012), Sydor & ark., (2021) ve Sulaiman & ark., (2009) gibi literatürde yer alan benzer çalışmalarla da uyumluluk göstermektedir.

Tablo 2 Rq Varyans Analizi

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj MS	F-Value	P-Value
Zımpara	3	1115,52	36,89%	371,839	213,82	0,000
Süre	1	630,72	20,86%	630,716	362,69	0,000
Yön	1	679,32	22,46%	679,323	390,64	0,000
Zımpara*Süre	3	34,49	1,14%	11,498	6,61	0,000
Zımpara*Yön	3	25,09	0,83%	8,363	4,81	0,003
Süre*Yön	1	0,24	0,01%	0,240	0,14	0,711
Zımpara*Süre*Yön	3	9,94	0,33%	3,313	1,91	0,129
Error	304	528,65	17,48%	1,739		
Total	319	3023,97	100,00%			

Rq, yüzey profilinin genel dalgalanma seviyesini ifade eden önemli bir pürüzlülük parametresidir. Varyans analizi sonuçlarına göre, Rq değeri üzerinde en fazla etki zımpara numarasından kaynaklanmaktadır (%36,89), bunu yön (%22,46) ve süre (%20,86) izlemektedir. Tüm ana faktörler istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık göstermiştir ($p < 0,05$).

Zımpara numarası Rq üzerinde anlamlı bir farklılık yaratmış ve F değeri 213,82 olarak hesaplanmıştır. Tukey testi sonuçlarına göre 80 numara zımpara en yüksek ortalama Rq değerini (9,69 μm), 220 numara ise en düşük değeri (4,68 μm) vermiştir. Bu durum, daha kaba zımparaların yüzeyde daha belirgin dalgalanmalara neden olduğunu ve dolayısıyla daha yüksek Rq değerleri oluşturduğunu göstermektedir.

Zımparalama süresi Rq üzerinde %20,86 oranında etkili olmuş ve 15 saniyelik uygulamalarda ortalama Rq değeri 9,17 μm , 60 saniyelik uygulamalarda ise 6,36 μm olarak belirlenmiştir. F değeri oldukça yüksek (362,69) olup, bu da sürenin yüzey dalgalanmasını azaltıcı etkisini ortaya koymaktadır. Uzun süreli zımparalamanın yüzey profilini düzleştirerek Rq'yu düşürdüğü görülmektedir.

Yön faktörü ise %22,46 katkı ile Rq üzerindeki etkiler arasında ikinci sırada yer almakta ve lif yönüne dik yapılan ölçümlerde ortalama 9,22 μm olan Rq değeri, lif yönüne paralelde 6,31 μm 'ye düşmektedir. Bu fark, lif yapısının zımparalama direnci üzerindeki etkisinden kaynaklanmaktadır (Sydor & ark., 2021).

Etkileşim etkileri incelendiğinde, zımpara*süre ($p<0,05$) ve zımpara*yön ($p=0,003$) etkileşimlerinin Rq üzerinde anlamlı olduğu görülmektedir. En yüksek Rq değeri 80 kum, 15 saniye ve dik yönde ölçülen örneklerde (11,50 μm) gözlemlenmiştir. Buna karşın, 220 kum ile 60 saniye ve paralel yönde yapılan ölçümlerde Rq değeri 3,09 μm 'ye kadar düşmektedir. Bu farklar, kombinasyonların yüzey kalitesi üzerindeki etkilerini net biçimde ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, Rq değerinin düşürülmesi için zımpara numarasının artırılması, işlem süresinin uzatılması ve işlemin lif yönüne paralel gerçekleştirilmesi önerilmektedir. Bu bulgular, yüzey kaplama ve yapıştırma gibi işlemlerin başarısını doğrudan etkileyebileceği için, endüstriyel uygulamalarda dikkatle

değerlendirilmelidir (Sulaiman & ark., 2009; Darmawan & ark., 2020).

Tablo 3 Rz Varyans Analizi

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj MS	F-Value	P-Value
Zımpara	3	31573	28,36%	10524,2	117,31	0,000
Süre	1	16789	15,08%	16788,6	187,14	0,000
Yön	1	32427	29,13%	32427,4	361,47	0,000
Zımpara*Süre	3	1930	1,73%	643,3	7,17	0,000
Zımpara*Yön	3	839	0,75%	279,5	3,12	0,026
Süre*Yön	1	0	0,00%	0,2	0,00	0,959
Zımpara*Süre*Yön	3	486	0,44%	162,2	1,81	0,146
Error	304	27272	24,50%	89,7		
Total	319	111316	100,00%			

Rz, yüzey profilinde görülen en yüksek tepe ve en derin çukur arasındaki mesafeyi tanımlar ve genellikle yüzeyin işlevsel özelliklerini belirlemede kritik öneme sahiptir. Varyans analizi sonuçlarına göre Rz üzerinde en fazla etkiye sahip faktör %29,13 katkı oranıyla yön olurken, onu %28,36 ile zımpara ve %15,08 ile süre takip etmiştir. Bu üç ana faktör istatistiksel olarak oldukça anlamlı sonuçlar vermiştir ($p<0,05$).

Lif yönü, $F=361,47$ ile Rz değerine en güçlü etkiyi göstermiştir. Lif yönüne dik yapılan ölçümlerde ortalama $57,27 \mu\text{m}$ Rz değerine sahipken, paralel yönde bu değer $37,13 \mu\text{m}$ 'ye düşmüştür.

Zımpara numarası, Rz varyansının %28,36'sını açıklamış ve $F=117,31$ değeriyle oldukça etkili bir parametre olduğunu göstermiştir. Tukey testi sonuçlarına göre 80 kum en yüksek ortalama Rz değerini ($56,83 \mu\text{m}$) verirken, 220 kumla yapılan işlemde bu değer $30,57 \mu\text{m}$ 'ye düşmüştür. Bu bulgu, daha kaba zımparaların odun yüzeyinde belirgin çizik izleri bırakarak yüksek Rz değerlerine neden olduğunu doğrulamaktadır (Luo ark., 2014).

Zımparalama süresi, %15,08 oranında katkı yapmış ve 15 saniyelik uygulamalarda ortalama Rz değeri 54,44 μm iken, 60 saniyelik uygulamalarda bu değer 39,96 μm 'ye gerilemiştir. $F=187,14$ değeriyle bu etki oldukça anlamlıdır. Daha uzun süren zımparalamalarda yüzey pürüzlerinin büyük kısmı aşındırıldığından daha düşük Rz değerleri elde edilmektedir.

Faktörler arası etkileşimlerde zımpara*süre ($p<0,05$) ve zımpara*yön ($p = 0,026$) etkileşimleri anlamlı çıkarken, süre*yön ve üçlü etkileşim istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p>0,05$). Tukey analizine göre en yüksek Rz değeri 80 kumla, 15 saniye süresince ve dik yönde yapılan ölçümlerde (68,46 μm) elde edilmiştir. Buna karşın en düşük değer, 220 kumla 60 saniye ve paralel yönde yapılan uygulamada 19,39 μm olarak ölçülmüştür.

Bu sonuçlar, Rz değerinin düşürülmesi ve dolayısıyla daha düzgün bir yüzey elde edilmesi için zımpara numarasının artırılması, işleme süresinin uzatılması ve lif yönüne paralel zımparalama yapılmasının etkili olduğunu göstermektedir. Literatürde benzer sonuçlar, Cool & Hernández, (2011) ve Darmawan, & ark., (2020) tarafından da rapor edilmiştir.

Sonuçlar

Bu çalışmada, Maun odunu örneklerinin farklı zımpara numaraları (80, 120, 180, 220), zımparalama süreleri (15 ve 60 saniye) ve lif yönleri (paralel ve dik) ile yüzey pürüzlülüğü (R_a , R_q , R_z) parametreleri incelenmiştir. Deneysel sonuçlar, yüzey kalitesini etkileyen tüm ana faktörlerin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir ($p<0,05$). Zımpara numarası, tüm pürüzlülük parametrelerinde en baskın değişkenlerden biri olarak öne çıkmıştır. Daha düşük zımpara numaralarının (örneğin 80 kum) daha yüksek pürüzlülük değerlerine, dolayısıyla daha kaba yüzeylere neden olduğu gözlenmiştir. Kaba zımparaların odun yüzeyinde derin izler

bıraktığına dair literatürde yer alan bilgilerle paralellik göstermektedir (Luo & ark., 2014; Sydor & ark., 2021).

Zımparalama süresi değerlendirildiğinde, daha uzun zımparalamanın Maun odunu yüzey pürüzlülüğünü anlamlı şekilde azalttığı görülmüştür. Bu durum, yüzeyin daha fazla aşındırılarak düzleşmesine neden olmasıyla açıklanabilir. Sürenin artırılmasıyla Ra, Rq ve Rz değerlerinin düzenli biçimde düştüğü gözlemlenmiştir; benzer bulgular Sulaiman & ark., (2009) ve Cool & Hernández, (2011) tarafından yapılan çalışmalarda da bildirilmiştir.

Lif yönü, özellikle Rz ve Rq parametreleri üzerinde güçlü etkiler göstermiştir. Liflere dik ölçümlerde, daha yüksek pürüzlülük değerleri tespit edilmiştir. Paralel yönde ise yüzeyin daha düzgün olduğu ve Rz gibi profil yüksekliğine dayalı parametrelerin daha düşük seyrettiği belirlenmiştir. Bu durum, yüzey işleminin etkili bir şekilde yönlendirilmesinde lif yönünün dikkate alınmasının önemini ortaya koymaktadır (Ugulino & Hernández, 2018).

Faktörler arası etkileşimler incelendiğinde, zımpara numarası ile süre ve yön arasındaki ikili etkileşimlerin bazı pürüzlülük parametrelerinde anlamlı etkiler yarattığı, ancak üçlü etkileşimin genellikle anlamlı olmadığı görülmüştür. Optimum yüzey kalitesinin tek bir değişkenden ziyade faktör kombinasyonlarının dikkatli biçimde yönetilmesiyle elde edilebileceğini göstermektedir.

Özellikle 220 kum zımpara, 60 saniyelik uygulama süresi ve lif yönüne paralel yönde, tüm pürüzlülük ölçütleri açısından en düşük değerleri vererek en iyi yüzey kalitesini sağlamıştır. Bu sonuç, yüzey kaplama, yapıştırma ve estetik açıdan kritik uygulamalar için önerilen işlem kombinasyonu olarak değerlendirilebilir. Endüstriyel üretimde yüzey kalitesini artırmak isteyen üreticilerin, düşük kumlu zımparalarla kısa sürede yapılan işlemler yerine, daha ince

zımparalarla uzun süreli ve liflere paralel yönde kontrollü uygulamalara yönelmeleri önerilmektedir.

Kaynakça

Chavenetidou, M., & Kamperidou, V. (2024). Impact of wood structure variability on the surface roughness of chestnut wood. *Applied Sciences*, 14(14), 6326.

Cool, J., & Hernández, R. E. (2011). Improving the sanding process of black spruce wood for surface quality and water-based coating adhesion. *Forest Products Journal*, 61(5), 372-380.

Darmawan, W., Ginting, M. B., Gayatri, A., Putri, R. L., Lumongga, D., & Hasanusi, A. (2020). Influence of surface roughness of ten tropical woods species on their surface free energy, varnishes wettability and bonding quality. *Pigment & Resin Technology*, 49(6), 441-447.

Demir, A., Cakiroglu, E. O., & Aydin, I. (2022). Determination of CNC processing parameters for the best wood surface quality via artificial neural network. *Wood Material Science & Engineering*, 17(6), 685-692.

Güray, L., Irle, M., & Büchner, J. (2019). Surface roughness of heat-treated and untreated beech wood after sanding. *BioResources*, 14(2): 4512-4531

Hang, J., Yan, X., & Li, J. (2024). A review on the effect of wood surface modification on paint film adhesion properties. *Coatings*, 14(10), 1313.

Hazır, E., & Koç, K.H. (2018). A modeling study to evaluate the quality of wood surface. *Maderas-Cienc. Tecnol.* 20(4): 681-692.

Hazır, E., Koc, K.H., & Hiziroglu, S. (2017). Optimization of sanding parameters using response surface methodology. *Maderas-Cienc. Tecnol.* 19(4): 407-416

Ilce, A. (2018). Determination of surface roughness based on the sanding parameters of Oriental beech wood, *BioResources*, 13(3), 5942-5952.

İstek, A., Kara, M. E., & Karakaya, B. (2012). Liflevhaların yüzey pürüzlülüğü üzerine bazı zımparalama faktörlerinin etkisi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 14(22), 41-46.

Laina, R., vd. (2017). Effect of the anatomical structure, wood properties and machining conditions on surface roughness of wood. *Maderas-Cienc. Tecnol.* 19(2): 203-212

Liu, Y., Hu, J., & Xu, W. (2023). Surface roughness of wood substrates after grinding and its influence on the modification effect of structural color layers. *Forests*, 14(11), 2213.

Luo, B., Li, L., Liu, H., Xu, M., & Xing, F. (2014). Analysis of sanding parameters, sanding force, normal force, power consumption, and surface roughness in sanding wood-based panels. *BioResources*, 9(4), 7494-7503.

Pelit, H., & Arısüt, U. (2023). Roughness, wettability, and morphological properties of impregnated and densified wood. *BioResources*, 18(1): 429-446.

Söğütlü, C. (2017). Determination of the effect of surface roughness on the bonding strength of wooden materials, *BioResources*. 12(1), 1417-1429.

Sulaiman, O., Hashim, R., Subari, K., & Liang, C. K. (2009). Effect of sanding on surface roughness of rubberwood. *Journal of materials processing technology*, 209(8), 3949-3955.

Sydor, M., Mirski, R., Stuper-Szablewska, K., & Rogoziński, T. (2021). Efficiency of machine sanding of wood. *Applied sciences*, 11(6), 2860.

Ugulino, B., & Hernández, R. E. (2018). Analysis of sanding parameters on surface properties and coating performance of red oak wood. *Wood Material Science & Engineering*, 13(2), 64-72.

Varasquim, F. M. F. D. A., Alves, M. C. D. S., Gonçalves, M. T. T., Santiago, L. F. F., & Souza, A. J. D. D. (2012). Influence of belt speed, grit sizes and pressure on the sanding of *Eucalyptus grandis* wood. *Cerne*, 18, 231-237.

Vardeleon, A., Jimenez, J., Ilagan, O. D., & Marasigan, E. P. (2025). Evaluation of the wood machining characteristics and performance of *Melia azedarach* L. for furniture. *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 8(2), 373-388.

