



Endüstriyel Bazı Levhaların Cnc Makinası İle Farklı Kesme Derinliklerine Göre Frezelenmesi İşleminin Ahşap Toz Emisyonuna Etkisi

Evren Osman ÇAKIROĞLU^{1*}

¹Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin Meslek Yüksekokulu, Tasarım Bölümü, İç Mekan Tasarımı Pr., Artvin, Türkiye

Geliş Tarihi: 01.07.2025

Kabul Tarihi: 05.08.2025

Basım Tarihi: 30.09.2025

Atf yapmak için: Çakıroğlu, E.O. (2025). Endüstriyel Bazı Levhaların Cnc Makinası İle Farklı Kesme Derinliklerine Göre Frezelenmesi İşleminin Ahşap Toz Emisyonuna Etkisi. *Anadolu Çev. Hay. Bil. Derg.*, **10**(5), 597-605. <https://doi.org/10.35229/jaes.1730988>

How to cite: Çakıroğlu, E.O. (2025). The Effect of Milling of Some Industrial Boards with CNC Machine according to Different Cutting Depths on Wood Dust Emission. *J. Anatol. Env. Anim. Sci.*, **10**(5), 597-605. <https://doi.org/10.35229/jaes.1730988>

*<https://orcid.org/0000-0001-5303-8967>

***Sorumlu yazar:**

Evren Osman ÇAKIROĞLU
Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin Meslek
Yüksekokulu, Tasarım Bölümü, İç Mekan
Tasarımı Pr., Artvin, Türkiye
✉: 61evrenosman@artvin.edu.tr

Öz: Günümüzde kullanımı sürekli artan endüstriyel levhalar mobilya ve iç mekan donatılarında önemli bir yer edinmiştir. Bu çalışmada orta yoğunlukta lif levha (MDF), yönlendirilmiş yonga levha (OSB) ve yongalevha (PB) endüstriyel levhaların CNC makinası ile farklı kesme derinliklerine göre frezelenmesinde ahşap toz emisyonuna etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. CNC makinasının farklı kesme derinliklerine göre (2-3-4 mm) oluşturduğu ahşap toz miktarları incelenmiştir. Ahşap tozu emisyonlarının PM2.5, PM10 belirlenerek analizleri yapılmıştır. Bu çalışma, kesme derinliğinin PM üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. PM2.5 ve PM10 ortalama değerlerine göre en yüksek ahşap toz emisyonu OSB'de 2 mm kesme derinliğinde sırasıyla 68.90 µg/m³ ve 92.83 µg/m³ olarak ölçülmüştür. En düşük ahşap toz emisyonu ise yongalevhada 3 mm kesme derinliğinde sırasıyla PM2.5 ve PM10 ortalama değerlerine göre 40.43 µg/m³ ve 60.48 µg/m³ değerlerinde ölçülmüştür. Bu çalışmayla birlikte insan sağlığı açısından zararlı olan ahşap tozlarına maruz kalma durumlarını azaltılarak MDF, OSB ve yongalevha için diğer kesme parametreleri de düşünülerek en uygun kesme derinlikleri önerilebilecektir.

Anahtar Kelimeler: Ahşap toz emisyonu, CNC, endüstriyel levha, kesme derinliği.

The Effect of Milling of Some Industrial Boards with CNC Machine according to Different Cutting Depths on Wood Dust Emission

Abstract: Nowadays, industrial boards, whose use is constantly increasing, have gained an important place in furniture and interior furnishings. In this study, it was aimed to determine the effect of wood dust emission in milling medium density fiberboard (MDF), oriented strand board (OSB) and particle board (PB) industrial boards with CNC machine according to different plunge depths. The amounts of wood dust generated by the CNC machine according to different cutting depths (2-3-4 mm) were investigated. Wood dust emissions were analyzed by determining PM2.5 and PM10. This study shows that the plunge depth has a significant effect on PM. According to the average values of PM2.5 and PM10, the highest wood dust emission was measured as 68.90 µg/m³ and 92.83 µg/m³ in OSB at 2 mm plunge depth, respectively. The lowest wood dust emission was measured at 40.43 µg/m³ and 60.48 µg/m³ according to the average values of PM2.5 and PM10, respectively, at a depth of 3 mm for particleboard. With this study, exposure to wood dust, which is harmful to human health, will be reduced and the most appropriate depths of penetration can be suggested for MDF, OSB and particleboard, considering other cutting parameters.

***Corresponding author's:**

Evren Osman ÇAKIROĞLU
Artvin Çoruh University, Artvin Vocational
School, Department of Design, Interior Design
Prof., Artvin, Türkiye
✉: 61evrenosman@artvin.edu.tr

Keywords: CNC, cutting depth, industrial board, wood dust emission.

GİRİŞ

Ahşap endüstrisinde giderek kullanımı artan liflevhalar, yongalevhalar, kontrplaklar, OSB ve diğer levhalar yenilenen teknoloji ile birlikte CNC makinelerinde işlem görmektedirler. İç ve dış mekan donatı elemanlarında çoğunlukla rastladığımız endüstriyel levhalar yüksek teknolojili frezeleme işlemlerinden geçmektedir. Bu işlemlerde CNC makinasının bazı parametrelerine göre solunabilir ahşap tozları oluşmaktadır. Her ne kadar üretim

esnasında ahşap toz miktarını azaltıcı yöntemler uygulansa da belli bir miktar ahşap tozuna maruz kalınmaktadır. Bu durum CNC makineleri ile yapılan birçok işlemde insan sağlığı açısından solunum hastalıkları ve kanser riskini artırmaktadır. (Alapieti vd., 2020). Frezeleme esnasında ahşap tozları kontrol altına alınması gerekmektedir. Gerekli düzenlemeler yapılmaz ise insan sağlığı açısından sorunlara yol açmaktadır. (Nasir & Cool, 2020; Matrat vd., 2019). Ahşap malzeme, orman endüstri tesislerinde mobilya,

endüstriyel levha ve bazı ahşap mamül haline getirilmektedir. Bu işlemler yapılırken ahşap parçacıkları küçük toz tanecikleri biçiminde havaya karışmaktadır (Fujimoto vd., 2011). Ağaç malzeme ve ahşap esaslı levhaların CNC makinaları ile işlenmelerinde farklı ölçülerde ahşap tozları bulunduğu ortamda havaya karışmaktadır. Sonuçta burada bulunan insanlar önemli seviyede sağlık problemleriyle karşılaşmaktadır. (Kucerka vd., 2023).

Ahşap tozunun sürekli etkisi altında kalan çalışanlarda kanser oluşma oranının artmasıyla, Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (IARC), ahşap tozuna maruz kalanlar için 1. Grup kanserojen tehlike olarak belirlenmiştir (Vallières vd., 2015). Mesleki Güvenlik ve Sağlık İdaresi (OSHA) standartına göre 8 saatlik günlük çalışmaya maruz kalan çalışanlar için izin verilen sınır değeri 15 mg/m³'tür. Bununla birlikte Ulusal Mesleki Güvenlik ve Sağlık Enstitüsü (NIOSH) bir kişinin toza maruz kalmasına izin verilen seviyeyi 1 mg/m³ olarak önermiştir (Omidianidost vd., 2015)

CNC ile işlem gören ahşap malzemeden çıkan küçük boyutlu partikül maddelerin toz emme sistemleri tarafından yeterince emilememesi sonucu ince parçacıklar halinde görülmekte (Krimpenis, 2016) ve CNC makinesinin çalışma alanında toplanarak sorun oluşturabilmektedir (Rogozinski vd., 2017; Kminiak vd., 2021).

Kesme, frezeleme gibi bazı işlemlerin yapıldığı fabrikalarda ahşap tozu oluşmaktadır (Kminiak vd., 2021; Tong vd., 2018). Bunun yanı sıra üst yüzey işlemlerinin önemli kısmı olan zımparalama esnasında da ahşap tozları meydana gelmektedir (Holla vd., 2016; Kos vd., 2004).

CNC makinası kullanılarak yapılan üretimlerde, toz emisyonunun düzenlenmesi ve ahşap toz miktarının belirlenmesi insan sağlığı açısından önemlidir. Bu nedenle orman endüstri alanında kullanılan yüksek teknoloji makinaların hava yaydığı ahşap tozlarının solunabilir kısmını azaltmak için belirli çalışmalar yapılmıştır (Simon vd., 2022; Kminiak vd., 2021; Pędzik vd., 2024; Rabiei & Souri, 2024; Juda vd., 2024; Koleda vd., 2023; Juda vd., 2023; Çakıroğlu vd., 2025). Çalışmalarda masif malzeme, ısıtılmış malzemeler, MDF, yongalevha, kontrplak gibi malzemeler incelenmiştir.

Bu çalışmada 3 farklı ahşap esaslı endüstriyel levhalardan, orta yoğunlukta lif levha (MDF), yönlendirilmiş yonga levha (OSB) ve yongalevha (PB) kullanılarak CNC makinası ile farklı kesme derinliklerine (2-3-4mm) göre frezelenmesi sonucu çevreye yaydığı ahşap tozlarının granülometrik analizinin yapılması ve ahşap toz emisyonuna etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bununla birlikte ahşap esaslı malzemelerin oluşturduğu insan sağlığını tehlikeye düşürecek solunabilir tozların belirlenmesi ve bunları azaltıcı CNC işleme koşullarının düzenlenmesi sağlanabilecektir.

MATERYAL VE METOT

CNC Makinası: Bu çalışmada 4 eksenli CNC makinası olarak Megatron 2128 markalı (Bursa/ Türkiye) 2100x2800x250 mm çalışma alanına sahip 9 kw'lık (24000 devir/dk) İtalyan servo motorlu makine kullanılmıştır. Farklı kesici bıçakların yerleştirileceği 8 adet bıçak yuvası (magazin) bulunmaktadır. Bununla birlikte CNC makinasına entegre olan "Alphacam 2023.1/Hexagon" (URL-1) hem çizim hem üretim programı kullanılmaktadır. Tüm çizimler ve modellemeler yapılarak "G" kodları oluşturulmaktadır. Çalışmada kullanılan CNC makinası Şekil 1'de gösterilmektedir.



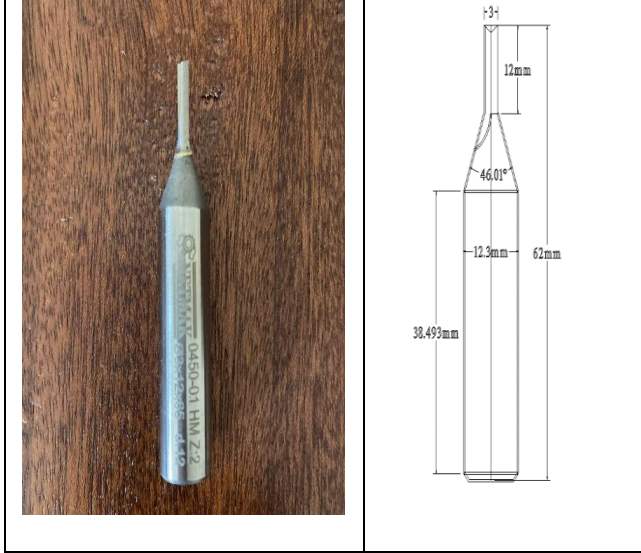
Şekil 1. CNC makinası.
Figure 1. CNC machine.

CNC Makinası Kesici Bıçağı ve Parametreleri:

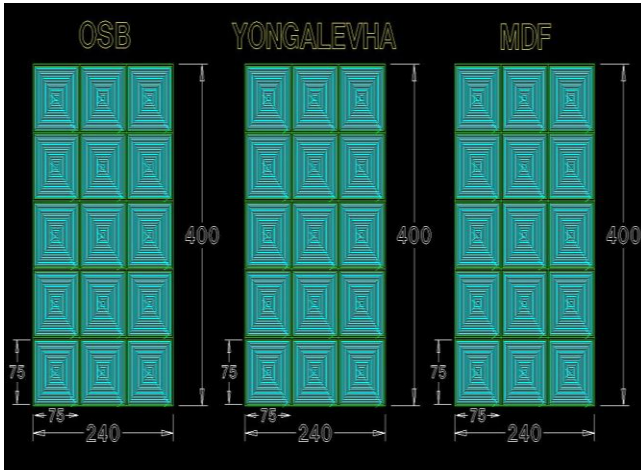
CNC makinasının işleme parametreleri, devir hızı (spindle speed) 18000 rpm, kesme hızı (down feet) 4 m/min, ilerleme hızı (feet rate) 6 m/min ve bıçak çapı 3 mm olarak belirlenmiştir. Kesme yönü olarak dış hatlar (outlines) olarak belirlenmiştir. CNC toz emme tertibatı kapalı biçimde işlem yapılarak toz örnekleme yöntemi olarak "NIOSH 0500" kullanılmıştır. CNC makinasında birden çok kesici bıçaklarının kullanılması avantajı bulunmaktadır. Bu çalışmada kalibrasyonu yapılmış herhangi bir körelme ve bozulmamış temiz bıçak kullanılmıştır. Kesici bıçak olarak 0450-01 HM Z:2 Netmak markalı 3 mm çaplı (Thick tool) Ø3x12x65 d.12 ölçülerinde 0° geleneksel kenarlı SOM elmas (karbür) freze bıçağı kullanılmıştır. Kesiciye ait ölçüler ve görüntü Şekil 2'de gösterilmektedir.

Kullanılan Ahşap Esaslı Levhaların Modellemesi ve Çalışma Stratejileri: Bu çalışmada orta yoğunlukta lif levha (MDF), yönlendirilmiş yonga levha (OSB) ve

yongalevha (PB) kullanılmıştır. Bu levhaların CNC makinasında işlem görebilmesi için Alphacam programında çizimi ve modellemesi yapılmıştır. Bıçak stratejisinin dış hatlar (outlines) olarak ayarlandığı sistematik ve modelleme Şekil 3'te gösterilmektedir.



Şekil 2. Kesici Bıçağın Teknik Görünümü.
Figure 2. Technical appearance of the cutting knife.



Şekil 3. Ahşap Esaslı Levhaların Modellemesi ve Çalışma Stratejileri.
Figure 3. Modelling and Working Strategies of Wood Based Boards.

CNC makinasında düz tabla üzerinde ahşap esaslı endüstriyel levhaların (OSB, yongalevha ve MDF) ölçümleri her bir örnek için ayrı ayrı yapılmaktadır. Her 3 levha için 3 mm çaplı kesici kullanılarak. İşleme alanı sınırları 75x75 mm örnekler şeklinde kare biçiminde bir bölge olarak belirlenmiştir. Ölçümlerin yapılabilmesi için OSB, yongalevha ve MDF için 15'er adet farklı örnek grubu (2-3-4 mm derinlik için ayrı ayrı 5'er adet) toplamda 45 adet örnek frezeleme işlemine alınarak ölçümler yapılmıştır. İşleme parametrelerine göre endüstriyel levhalar için 3 farklı "G kodu" oluşturulmuştur. Her bir levha örneği için her 6 saniyede bir ölçüm alınarak toplamda 45 örnek grubu için bu işlem tekrarlanmaktadır. CNC makinası ile işlem gören

endüstriyel levhaların (OSB, yongalevha ve MDF) görünümü Şekil 4'te gösterilmektedir.

Partikül Ölçümü: PCE-MPC 10 partikül ölçüm cihazı, iç mekan hava kalitesinin (IAQ) değerlendirilmesi için geliştirilmiş taşınabilir bir cihazdır. Bu cihaz, havadaki partikül madde konsantrasyonunu izler ve hem PM2.5 hem de PM10 boyut aralıklarındaki partiküllerin ölçülmesini sağlar. PCE-MPC 10'un ölçüm aralığı PM2.5 ve PM10 partikülleri için 0 ile 2000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ arasında değişmektedir. Ek olarak, cihaz sıcaklık ve bağıl nem ölçümünü destekleyerek kapsamlı bir iç ortam analizi sağlar. PM2.5 ve PM10 partikülleri bulunduğu akciğerlerin derinliklerine nüfuz ederek potansiyel olarak ciddi sağlık sorunlarına yol açabilir. Bu nedenle, PCE-MPC 10 partikül ölçüm cihazı, özellikle iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarında hava kalitesinin izlenmesi ve risklerin belirlenmesi için önemli bir araç olarak kabul edilmektedir (URL-2) Ölçümler Artvin Çoruh Üniversitesi Mobilya ve Dekorasyon Atölyesi'nde tesisin faaliyette olmadığı zaman aralığında yapılmıştır.

Endüstriyel Levhalar ve CNC İşlem Parametrelerinin Partikül Emisyonlarının Karşılaştırılması:

Çalışma kapsamında, orta yoğunlukta lif levha (MDF), yönlendirilmiş yonga levha (OSB) ve yongalevha (PB) olmak üzere üç farklı ahşap esaslı levhanın CNC makinelerinde işlenmesi sırasında oluşan PM2.5 ve PM10 emisyonları ölçülmüştür. Deney verilerinin OSB, yongalevha ve MDF için farklı kesme derinliklerine göre (2-3-4 mm) arasındaki farkları değerlendirmek için istatistiksel analizlerle incelenmiştir. Levhalar ve parametreler arasındaki farklar Kruskal-Wallis testi ile analiz edilmiş, belirgin farklılıklar Dunn testi ile incelenmiş ve tüm istatistiksel işlemler MATLAB R2024a kullanılarak yapılmıştır. Kruskal-Wallis testi, bağımsız gruplar arasındaki medyan farklarını değerlendirmek için kullanılan parametrik olmayan bir istatistiksel testtir. Bu test, özellikle verilerin normal dağılım göstermediği durumlarda tercih edilir ve birden fazla grubun karşılaştırılmasında etkili bir yöntem olarak öne çıkar. Wilcoxon-Mann-Whitney testinin bir genellemesi olarak kabul edilen Kruskal-Wallis testi, birden fazla bağımsız örneklem için uygulanabilir ve grupların medyanlarının eşit olup olmadığını test eder. Test sonucunda elde edilen p-değeri, genellikle 0.05 anlamlılık seviyesinde değerlendirilir; eğer p-değeri bu seviyenin altında ise, gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu kabul edilir (Ostertagová vd., 2014).

Dunn testi, Kruskal-Wallis testinin ardından uygulanan bir post-hoc analizidir. Gruplar arasındaki medyan farklarını belirlemek amacıyla kullanılır. Eğer Kruskal-Wallis testi gruplar arasında anlamlı bir fark bulursa, Dunn testi hangi gruplar arasında bu farkın bulunduğunu tespit eder ve çiftler halinde karşılaştırmalar yapar (Al-Shammari, 2021; Kamrath, 2023).



Şekil 4. Levhalardan Oluşan Deneş Örnekleri.
Figure 4. Test Samples Consisting of Plates.



Şekil 5. Partikül ölçüm cihazı.
Figure 5. Particle measurement device.

BULGULAR VE TARTIŞMA

CNC makinesi oluşan deneş örneklerinin işleme esnasında havaya yaydığı tozlar arasındaki oluşan PM2.5 ve PM10 emisyonlarına ilişkin ölçümler yapılmıştır. OSB, Yongalevha ve MDF için yapılan işlemlerin ölçümlerinin ortalamaları Tablo 1’de gösterilmektedir.

Tablo 1’den görüldüğü gibi tüm ölçüm sonuçları içinde en yüksek PM 2.5 ve PM 10 değeri ortalamaları OSB örneklerinin 2mm derinlikte işlenmesi sonucu oluştuğu anlaşılmaktadır. En düşük PM2.5 ve PM 10 değeri ortalamaları Yongalevha örneklerinin 3mm derinlikte işlenmesi sonucunda elde edildiği görülmektedir. Bu ortalama değerlerinin levha türü ya da kesme derinliğine göre farklılık gösterip göstermediği

MATLAB R2024a programı kullanılarak istatistiksel olarak test edilmiştir.

Tablo 2’den görüldüğü gibi OSB ve Yongalevha örneklerinin işleme sırasındaki kesme derinliklerine göre PM2.5 ve PM10 ölçüm değerleri arasında en az bir çift grup arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır ($p < 0,05$). Bu sonuca göre işleme sırasındaki kesme derinliği PM2.5 ve PM10 ölçüm değerlerini etkiliyor denilebilir.

Dunn testi sonucuna göre; OSB örneklerinde 2 mm ve 3 mm derinliklerinde üretilen PM2.5 ve PM10 seviyeleri arasında anlamlı fark bulunmamıştır ($P > 0,05$). Ancak 4 mm derinliğe gelindiğinde, hem 2 mm’ye hem 3 mm’ye kıyasla anlamlı şekilde daha az miktarda PM2.5 ve PM10 üretimi olduğu istatistiksel olarak söylenebilir. Şekil

6 ve Şekil 7'de toz emisyonlarının kesme derinliklerine göre emisyonların zamana bağlı değişimi grafiksel olarak gösterilmektedir. Buna göre OSB işlemlerinde kesme derinliği arttıkça PM2.5 ve PM10 azalışının lineer değil, özellikle 4 mm'de daha belirgin olarak azaldığı

görülmektedir. Neticede OSB malzemesinde kesme derinliği arttıkça bıçağın temas ettiği yonga partikülü daha büyük olduğundan havaya karışan partikül emisyonu da daha az olması beklenebilir.

Tablo 1. Toz emisyon ölçüm değerlerinin ortalamaları.

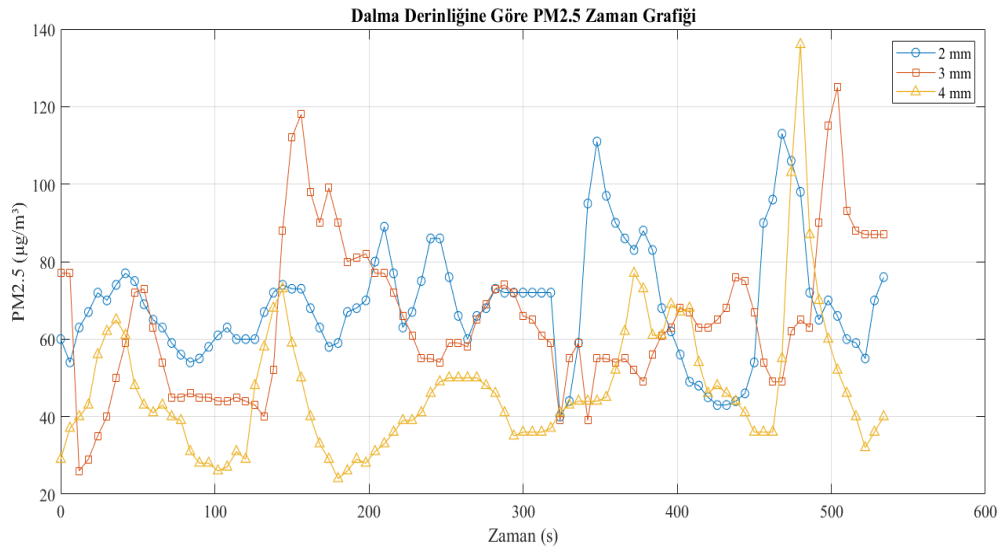
Table 1. Averages of dust emission measurement values.

OSB			YONGALEVHA			MDF		
Kesme Derinliği (mm)	PM 2.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Ort.)	PM 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Ort.)	Kesme Derinliği (mm)	PM 2.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Ort.)	PM 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Ort.)	Kesme Derinliği (mm)	PM 2.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Ort.)	PM 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Ort.)
2	68.90	92.83	2	49.42	68.06	2	53.88	71.90
3	64.96	89.64	3	40.43	60.48	3	47.91	65.10
4	47.07	67.61	4	47.11	67.14	4	46.51	63.13

Tablo 2: Kesme derinlikleri ile partikül emisyon değeri ortalamaları arasındaki farkların analizi.

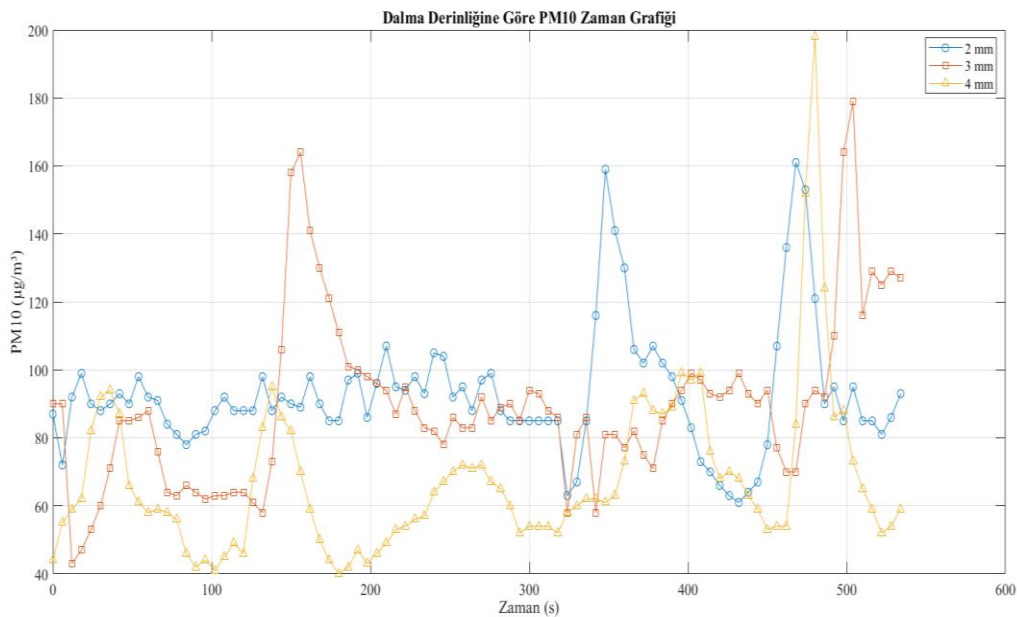
Table 2. Analysing the differences between depths of cut and mean particulate emission values.

OSB			YONGALEVHA			MDF		
Gruplar	PM 2.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Ort.)	PM 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Ort.)	Gruplar	PM 2.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Ort.)	PM 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Ort.)	Gruplar	PM 2.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Ort.)	PM 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Ort.)
2*3*4	0,0000	0,0000	2*3*4	0,0014	0,0130	2*3*4	0,2142	0,1139
2*3	0,1593	0,2532	2*3	0,0016	0,0175	2*3	-	-
3*4	0,0000	0,0000	3*4	0,0215	0,0654	3*4	-	-
2*4	0,0000	0,0000	2*4	0,8228	0,9525	2*4	-	-



Şekil 6. OSB Levhası PM 2.5 - Zaman Grafiği

Figure 6. PM 2.5 - Time Graph for OSB



Şekil 7. OSB Levhası PM 10 - Zaman Grafiği

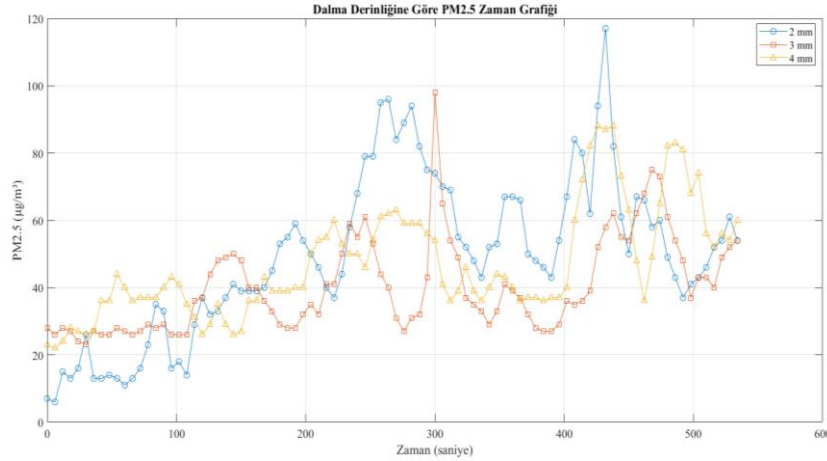
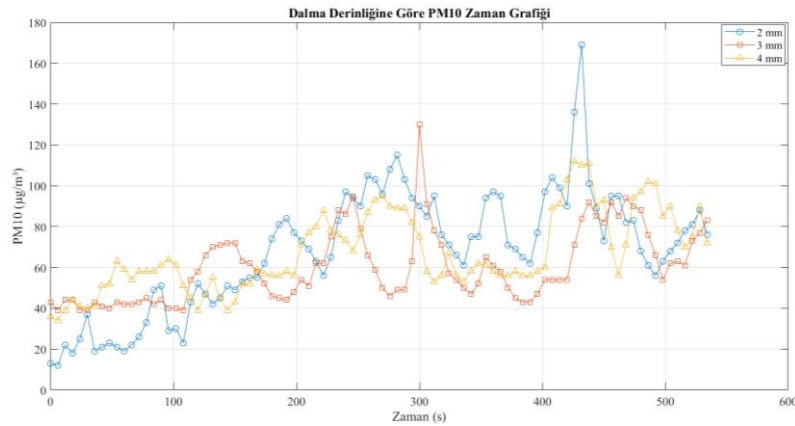
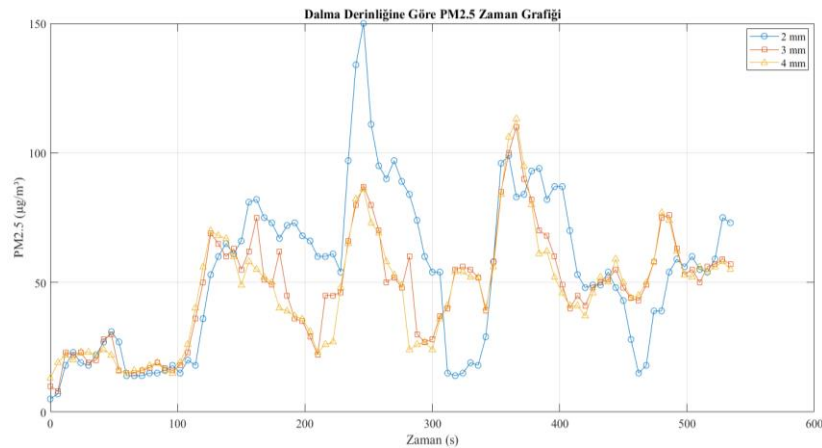
Figure 7. PM 10 - Time Graph for OSB

Yongalevha örneklerinde 2mm ve 4mm kesme derinliklerinde anlamlı fark bulunamamıştır. Buna karşın 3mm kesme derinliğindeki işlemlerde PM2.5 ve PM10 ölçümlerinin daha düşük olduğu istatistiksel olarak söylenebilir. Şekil 8 ve Şekil 9'da toz emisyonlarının kesme derinliklerine göre emisyonların zamana bağlı değişimi grafiksel olarak gösterilmektedir.

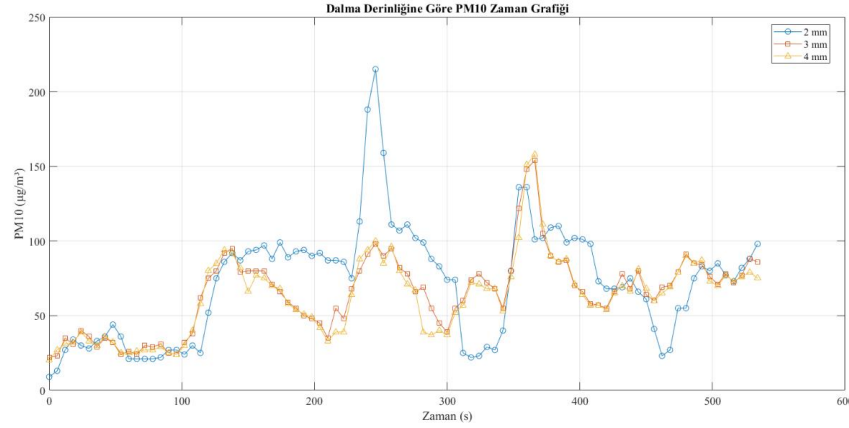
MDF örneklerinde yapılan Kruskal-Wallis analizi sonucunda kesme derinlikleri arasında istatistiksel olarak

anlamlı fark bulunamamıştır ($P>0,05$). Kesme derinliği MDF örneklerinin işlenmesinde açığa çıkan toz emisyon değerlerini etkilememektedir. Şekil 10 ve Şekil 11'de MDF ile yapılan işlemlerde, toz emisyonlarının kesme derinliklerine göre emisyonların zamana bağlı değişimi grafiksel olarak gösterilmektedir.

Levha türleri arasında toz emisyonuna göre farklılığın olup olmadığı Kruskal-Wallis testi ile analiz edilmiş ve sonuçlar aşağıdaki Tablo 3'te verilmiştir.

**Şekil 8.** Yongalevha PM2.5 - Zaman Grafiği**Figure 8.** PM 2.5 - Time Graph for PB**Şekil 9.** Yongalevha PM10 Zaman Grafiği**Figure 9.** PM 10 - Time Graph for PB

Şekil 10. MDF örnekleri PM2.5 zaman grafiği.
Figure 10. PM 10 - Time graph for MDF.



Şekil 11. MDF örnekleri PM10 Zaman Grafiği
Figure 11. PM 10 - Time Graph for MDF

Tablo 3. Levha türlerine göre Kruskal-Wallis testi sonuçları.

Table 3. Kruskal-Wallis test results according to board types.

Gruplar	2MM		3MM		4MM	
	PM 2.5 µg/m³ (Ort.)	PM 10 µg/m³ (Ort.)	PM 2.5 µg/m³ (Ort.)	PM 10 µg/m³ (Ort.)	PM 2.5 µg/m³ (Ort.)	PM 10 µg/m³ (Ort.)
OSB*Y.LEVHA*MDF	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,9960	0,5400
OSB*Y.LEVHA	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	-	-
OSB*MDF	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	-	-
Y.LEVHA*MDF	0,3044	0,5552	0,0107	0,2898	-	-

Yukarıdaki istatistiksel analiz sonuçları tablosundan görüldüğü gibi farklı ahşap türleri (OSB, YONGALEVHA, MDF) arasında en az bir çiftin PM2,5 ve PM10 seviyeleri açısından istatistiksel olarak anlamlı ($P<0,05$) farklılık vardır. Bu levha türlerinin Dunn testi ile ikili karşılaştırmaları sonucunda yongalevha ve mdف arasında anlamlı fark olmadığı ($P>0,05$) diğer ikili karşılaştırmalar olan OSB ile yongalevha ve MDF arasında toz emisyonları bakımından anlamlı ($P<0,05$) farklar olduğu belirlenmiştir.

Bu sonuca göre; PM2.5 için OSB'nin ($60,31 \mu\text{g}/\text{m}^3$), YONGALEVHA ($45,65 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ve MDF'den ($49,43 \mu\text{g}/\text{m}^3$) daha fazla toz emisyonu oluşturduğu söylenebilir.

Ahşap tozu emisyonu ile ilgili yapılan bazı çalışmalarda masif malzemeler, MDF, OSB, Yongalevha, kontrplak vb. endüstriyel levhalar kullanılarak havaya yayılan solunabilir ahşap partikül analizleri gerçekleştirilmiştir. Kminiak ve arkadaşları (2021) MDF ve masif malzemenin CNC ile frezelenmesi esnasındaki toz karakterizasyonunu incelemişler ve lif levhaların ince parçacıklar halinde maksimum içeriğe sahip olduğunu belirlemişlerdir. Çalışmamızda MDF örneklerinde PM2.5 ve PM 10'a göre 2 mm kesme derinliğinde sırasıyla max ortalama değerleri $53,88 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve $71,90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ oluşmuştur. Bu duruma ek olarak Ugulino & Hernández, (2017), toz emisyonlarını ve yüzey pürüzlülüğünü yönetmek için kesme derinliğini kontrol etmenin önemini bildirdiği çalışmada, kesme derinliği ile işleme sırasında yayılan toz miktarı arasında önemli bir ilişki olduğu belirtilmiştir. Sonuç olarak ortalama ahşap yongası kalınlığı arttıkça toz emisyonunun azaldığı belirlenmiştir. Toz emisyonu da

daha yüksek kesme derinliği için, ancak daha ince yongalar için ($0,10$ mm kalınlığında) artmıştır. Daha kalın ahşap yongalarının, toz yayan iki kesme derinliği ($0,5-1$ mm) için benzer değerler verdiğini belirtmiştir.

Ayrıca bu çalışmanın sonuçlarına paralellik göstermeyen diğer başka bir çalışmada Singer vd. (2024) kara kavak (*Populus nigra* L.), doğu kayını (*Fagus orientalis* L.) ve orta yoğunluklu lif levhaların (MDF) işlenmesinde toz emisyon değerlerini tahmin etmek için bir yapay sinir ağı (YSA) modeli geliştirilmeye çalışılmış ve toz emisyonunun kesme genişliği ve kesme derinliğindeki azalmalarla azalma eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir.

Ahşap yonga kalınlığının öneminin vurgulandığı başka bir çalışmada (Rautio vd.,2007) ortalama yonga kalınlığının, işleme sırasında üretilen toz miktarını etkileyen en önemli faktör olduğunu göstermiştir. Araştırmacılar, toz üretimini en aza indirmek için, ortalama yonga kalınlığının $0,05$ mm'yi aşmasını sağlamak için frezeleme işlemi parametrelerinin ayarlanması gerektiğini belirtmişlerdir.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışmadan elde edilen sonuçlar; OSB, Yongalevha ve MDF endüstriyel levhalarının CNC makinası ile işlenmesi esnasında farklı kesme derinlikleri parametrelerinin PM üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. PM2.5 ve PM10 ortalama değerlerine göre en yüksek ahşap toz emisyonu OSB'de 2 mm kesme derinliğinde sırasıyla $68,90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve $92,83 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür. En düşük ahşap toz emisyonu ise yongalevhada 3 mm kesme derinliğinde sırasıyla

PM2.5 ve PM10 ortalama değerlerine göre 40.43 µg/m³ ve 60.48 µg/m³ değerlerinde ölçülmüştür. Kesme derinliklerine (2-3-4 mm) göre levhaların kendi içlerinde en düşük toz emisyonu OSB için PM2.5 ve PM10 ortalama değerleri 4 mm derinlikte sırasıyla 47.43 µg/m³ ve 67.61 µg/m³, Yongalevha için PM2.5 ve PM10 ortalama değerleri 4 mm derinlikte sırasıyla 40.43 µg/m³ ve 60.48 µg/m³, MDF için PM2.5 ve PM10 ortalama değerleri 4 mm derinlikte sırasıyla 46.51 µg/m³ ve 63.13 µg/m³ olarak elde edilmiştir.

CNC makinelerinde frezeleme işlemi yapılırken OSB levhaları kullanıldığında kesme derinliğinin düşük olması daha fazla toz emisyonuna neden olacağından önerilmemektedir. Yongalevha ile yapılan frezeleme işlemlerinde toz emisyonunu azaltmak açısından 2mm veya 4mm kesme derinliğinde çalışmaktansa 3mm kesme derinliğinde çalışılması önerilmektedir. İş sağlığı ve güvenliği açısından CNC operatörleri, OSB, Yongalevha ve MDF endüstriyel levhalarının işleme parametrelerine özen göstermelidirler. Üretim esnasında CNC kontrol paneline entegre bir parametre takip sistemi kurulabilir. Bununla birlikte hatasız ve net işlemler yapılabilir. Solunabilir ahşap tozuna sürekli maruz kalınmaması için çalışanların eğitimi, uygun iş güvenliği ve bunlara uyum sağlanması gibi önlemlerin alınması gerekmektedir. Ortamdaki hava kalitesinin izlenmesi, makinelerin düzenli bakımlarının yapılması, fazla toz meydana getiren durumları tespit edip bunları azaltıcı yöntemler uygulanmasıyla işletmelerdeki ahşap tozu emisyonları düzenli bir şekilde azaltılabilir ve insan sağlığı açısından riskler ortadan kaldırılabilir. Bununla birlikte fabrika içerisinde MDF, OSB, Yongalevha, kontrplak gibi endüstriyel levhaların işlenmesi esnasında oluşan ince partiküller, kanserojen etkisi bulunan formaldehit ile birlikte havaya karışabilmektedir. İstenmeyen bu durumu maske ve başka koruma yöntemleri ile önleme yoluna gidilebilir. Ayrıca işletmelerin temiz hava sirkülasyonunun kaliteli olması ve bütün makinalardan çıkan ahşap tozlarının emiliminin yeterli seviyede olduğu toz emme tertibatının bulunması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Alapieti, T., Mikkola, R., Pasanen, P., & Salonen, H. (2020).** The influence of wooden interior materials on indoor environment: a review. *European Journal of Wood and Wood Products*, *78*, 617-634. DOI: [10.1007/s00107-020-01532-x](https://doi.org/10.1007/s00107-020-01532-x)
- Al-Shammari, M. (2021).** An exploratory study of experiential learning in teaching a supply chain management course in an emerging market economy. *Journal of International Education in Business*, *15*(2), 184-201. DOI: [10.1108/jieb-09-2020-0074](https://doi.org/10.1108/jieb-09-2020-0074)
- Çakıroğlu, E.O., Demirarslan, K.O., & Taşdemir, T., (2025).** CNC makinesinde uygulanan 3 boyutlu işlemede bazı ağaç türlerine göre odun tozu emisyonunun karakterizasyonu. *European Journal of Wood and Wood Products*, *83*, 59. DOI: [10.1007/s00107-025-02222-2](https://doi.org/10.1007/s00107-025-02222-2)
- Fujimoto, K., Takano, T., & Okumura, S. (2011).** Difference in mass concentration of airborne dust during circular sawing of five wood-based materials. *Journal of Wood Science*, *57*(2), 149-154. DOI: [10.1007/s10086-010-1145-y](https://doi.org/10.1007/s10086-010-1145-y)
- Holla, K., Ristvej, J., Moricova, V., & Novak, L. (2016).** "Results of a survey among SEVESO establishments in the Slovak Republic. *Journal of Chemical Health & Safety*, *23*(2), 9-17. DOI: [10.1007/s00107-021-01764-5](https://doi.org/10.1007/s00107-021-01764-5)
- Kamrath, B. (2023).** Effectiveness of nutrient management for reducing phosphorus losses from agricultural areas. *Journal of Natural Resources and Agricultural Ecosystems*, *1*(2), 77-88. DOI: [10.13031/jnrae.15572](https://doi.org/10.13031/jnrae.15572)
- Kminiak, R., Kučerka, M., Kristak, L., Reh, R., Antov, P., Očkajová, A., & Pezdik, M. (2021).** Granulometric characterization of wood dust emission from CNC machining of natural wood and medium density fiberboard. *Forests*, *12*(8), 1039. DOI: [10.3390/f12081039](https://doi.org/10.3390/f12081039)
- Kos, A., Beljo-Lučić, R., Šega, K., & Rapp, A.O. (2004).** "Influence of woodworking machine cutting parameters on the surrounding air dustiness. *European Journal of Wood and Wood Products*, *62*(3), 169-176. DOI: [10.1007/s00107-004-0473-2](https://doi.org/10.1007/s00107-004-0473-2)
- Krimpenis, A.A., Fountas, N.A., Mantziouras, T., & Vaxevanidis, N.M. (2016).** Optimizing CNC wood milling operations with the use of genetic algorithms on CAM software. *Wood Material Science & Engineering*, *11*(2), 102-115. DOI: [10.1080/17480272.2014.961959](https://doi.org/10.1080/17480272.2014.961959)
- Kucerka, M., Ockajova, A., Kminiak, R., Rogozinski, T.O.M.A.S.Z., Sydor, M., Pedzik, M., & Todaro, L. (2023).** Design and comparison of a suitable dust separation technique during the machining process in a CNC machining center. *Annals of Warsaw University of Life Sciences-SGGW. Forestry and Wood Technology*, *122*. DOI: [10.5604/01.3001.0053.8673](https://doi.org/10.5604/01.3001.0053.8673)
- Matrat, M., Radoi, L., Févotte, J., Guida, F., Cénée, S., Cyr, D. & Stücker, I. (2019).** Occupational exposure to wood dust and risk of lung cancer: the ICARE study. *Occupational and Environmental Medicine*, *76*(12), 901-907. DOI: [10.1136/oemed-2019-105802](https://doi.org/10.1136/oemed-2019-105802)
- Nasir, V., & Cool, J. (2020).** A review on wood machining: characterization, optimization, and monitoring of the sawing process. *Wood Material Science & Engineering*, *15*(1), 1-16 DOI: [10.1080/17480272.2018.1465465](https://doi.org/10.1080/17480272.2018.1465465)
- Omidianidost, A., Ghasemkhani, M., Azari, M. R., & Golbabaei, F. (2015).** Assessment of occupational exposure to dust and crystalline silica in foundries. *Tanaffos*, *14*(3), 208.

- Ostertagová, E., Ostertag, O., & Kováč, J. (2014).** Methodology and application of the kruskal-wallis test. *Applied Mechanics and Materials*, **611**, 115-120. DOI: [10.4028/www.scientific.net/amm.611.115](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.611.115)
- Rautio, S., Hynynen, P., Welling, I., Hemmilä, P., Usenius, A., & Närhi, P. (2007).** Modelling of airborne dust emissions in CNC MDF milling. DOI: [10.1007/s00107-007-0179-3](https://doi.org/10.1007/s00107-007-0179-3)
- Rogoziniński, T., Wilkowski, J., Górski, J., Szymanowski, K., Podziewski, P., & Czarniak, P. (2017).** Fine particles content in dust created in CNC milling of selected wood composites. *Wood and Fiber Science*, **49**(4), 461-469.
- Singer, H., İlçe, A. C., Şenel, Y. E., & Burdurlu, E. (2024).** Artificial Neural Network-based Prediction Model to Minimize Dust Emission in the Machining Process. *Safety and Health at Work*, **15**(3), 317-326. DOI: [10.1016/j.shaw.2024.06.006](https://doi.org/10.1016/j.shaw.2024.06.006)
- Tong, R., Cheng, M., Zhang, L., Liu, M., Yang, X., Li, X., & Yin, W. (2018).** “The construction dust-induced occupational health risk using Monte-Carlo simulation. *Journal of Cleaner Production*, **184**, 598-608. DOI: [10.1016/j.jclepro.2018.02.286](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.286)
- Ugulino, B., & Hernández, R.E. (2017).** Effect of cutting parameters on dust emission and surface roughness during helical planing red oak wood. *Wood and Fiber Science*, **49**(3), 323-331.
- URL-1.** Alphacam (2023). 1/Hexagon program for woodworking cad-cam-software. Access add. <https://hexagon.com/products/product-groups/computer-aided-manufacturing-cad-cam-software/alphacam>
- URL-2.** PCE Instruments. (t.y.). PCE-MPC 10 Particle Measuring Instrument Technical Catalogue. Access add. https://www.pce-instruments.com/turkish/api/getartfile?_fnr=1095665&_dsp=inline
- Vallières, E., Pintos, J., Parent, M. E., & Siemiatycki, J. (2015).** Occupational exposure to wood dust and risk of lung cancer in two population-based case-control studies in Montreal. *Canada. Environmental Health*, **14**, 1-9. DOI: [10.1186/1476-069X-14-1](https://doi.org/10.1186/1476-069X-14-1)