

Doğu kayını ağaç türünün CNC ile işlenmesinde işleme yüzeylerinin ve parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ile ilişkisinin araştırılması

Oruç Aras^{a,*} , Sait Dündar Sofuoğlu^b 

Özet: Bu çalışmada, ağaç işleri ve mobilya endüstrisinde kullanılan Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.) ağaç türüne ait numunelerin farklı yüzeylerinin (zemin ve yan) işlenmesinde işleme parametrelerinin yüzey kalitesi üzerine etkisi incelenerek optimum işleme koşullarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Denemeler 8 mm çapında iki farklı kesici kullanılarak 8000, 12000 ve 16000 dev/dk devir sayılarında 1000, 1500 ve 2000 mm /dk ilerleme hızlarında ve farklı iki işleme adımında (her işlemede 3,33 mm ile 3 adımda veya 2,5 mm kesme derinliği ile 4 adımda 10 mm derinlikte alan boşaltma) gerçekleştirilmiştir. Farklı kesitlerde elde edilen yüzeylerde iğne taramalı yöntem kullanılarak ISO 4287' ye göre R_a ve R_z pürüzlülük ölçümleri gerçekleştirilmiştir. İşleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde farklı oranlarda etkisinin olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlar literatür ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde R_a için zemin yüzeyde liflere dik yapılan ölçümlerde en düşük pürüzlülük değerleri 2 no'lu kesici tipinde, 16000 dev/dk devir sayısında, 1000 mm/dk ilerleme hızında ve 3 işleme adımında 5,18 μm elde edilmiştir. Yan yüzeyde liflere dik yapılan ölçümlerde ortalama pürüzlülük (R_a) değerleri 1 no'lu kesici tipinde, 16000 dev/dk devir sayısında, 1000 mm/dk ilerleme hızında ve 4 işleme adımında 2,84 μm elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: *Fagus orientalis*, Masif ahşap, İşleme, Kayın, Yüzey pürüzlülüğü

Investigation the relationship of machining surfaces and the parameters with surface roughness in machining of Oriental beech tree species with CNC

Abstract: In this study, the effect of machining parameters on the surface quality of the machining of different surfaces of the Oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) tree species used in the woodworking and furniture industry was investigated and it was aimed to determine the optimum machining parameters. The experiments were carried out at two different dept of cut (depth of cut 3.33 mm or 2.5 mm per machining, total 10 mm dept of cut) by using two different 8 mm diameter cutters at 8000, 12000 and 16000 rpm at feed rates of 1000, 1500 and 2000 mm/min. Surface roughness measurements were made according to ISO 4287 by using a test device with the stylus method on the surfaces obtained in different sections. R_a and R_z roughness measurements were performed on the surfaces obtained as a result of machining. It has been observed that the machining parameters have an effect in different rates on the surface roughness and the results are evaluated by comparing with the literature. The lowest average roughness ($R_a=5,18 \mu\text{m}$) value was obtained in 3-layer processing, 1000 mm/min feed rate at 16000 rpm, cutter type 2 for measurements perpendicular to the fibers on floor surfaces. The lowest values ($R_a=2,84 \mu\text{m}$) on the side surfaces were obtained as 4-layer machining, 1000 mm/min feed rate at 16000 rpm, cutter type 1 for measurements perpendicular to the fibers.

Keywords: *Fagus orientalis*, Solid wood, Machining, Beech, Surface roughness

1. Giriş

Mobilya endüstrisinde ahşap ve ahşap türevi ürünlerin kaliteli bir yüzeye sahip olması üretim sırasında ve sonrasında talep edilen bir özelliktir. Mobilya ve ağaç işleri sektöründe kaliteyi belirleyen etkenlerin en önemlisi yüzey kalitesi olarak düşünülmektedir. Ahşap malzemenin işlenmesinde yüzey kalitesini belirleyen en önemli faktörlerden bir tanesi de işleme tekniğidir (Stumbo, 1961). Yüzey kalitesi ağaç malzemenin tekstürüne ve kullanılan işleme tekniğine bağlı olarak değişmektedir (Marian ve Suchland, 1962). Ağaç malzemenin; günümüzde giderek azalan orman varlığı nedeniyle, daha verimli işlenmesi ve daha uzun süre kullanımı zorunlu olmuştur (Sofuoğlu, 2008). Ağaç malzemenin işlenme aşamalarının herhangi bir

aşamasında bozuk yüzeylerin ortaya çıkması bir sonraki aşamada ek işlemlerin yapılmasını gerektirmektedir. Yüzey kalitesi ahşap ürünlerin değerlendirilmesinde son kullanıcının kalite kriterleri içerisinde bulunmaktadır (Aykaç, 2018). Ahşap malzemeler çoğunlukla yüzey düzgünlüğünün önemli olduğu benzeri malzemelere göre daha yüksek pürüzlülük değerleri vermektedir. Ağaç malzeme uygun alet ve makinelerle işlenmelidir. İşleme şekli ve ağacın yaşıyla orantılı olarak; yüzeylerde kesici izlerinin düzenli şekilleri ile beraber, kalkık liflilik, yongalı liflilik, yonga izi ve lif ayrılması gibi istenmeyen bozuk yüzeyler meydana gelebilmektedir. Masif ağaç malzemede birleştirme yerlerinde ve yüzeylerdeki yapışma gücü, ağaç türlerindeki mekanik özellikler yüzey pürüzlülüğü ile bağlantılıdır. Pürüzlü kaplamalarda yapışma kalitesi pürüzsüz yüzeylere

✉ ^a Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Kütahya, Türkiye

^b Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Simav Teknoloji Fakültesi, Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Bölümü 43500 Simav/Kütahya, Türkiye

@ ^{*} **Corresponding author** (İletişim yazarı): sdundar.sofuoglu@dpu.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 26.08.2021, **Accepted** (Kabul tarihi): 15.10.2021



Citation (Atıf): Aras, O., Sofuoğlu, S.D., 2021. Doğu kayını ağaç türünün CNC ile işlenmesinde işleme yüzeylerinin ve parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ile ilişkisinin araştırılması. Turkish Journal of Forestry, 22(4): 449-456. DOI: [10.18182/tjf.987276](https://doi.org/10.18182/tjf.987276)

göre daha düşüktür. Masif ağaç malzemelerdeki yüzey pürüzlülüğü aynı zamanda üst yüzey işlemlerinin kalitesini de etkilemektedir (Jakub ve Martino, 2005). Özellikle masif ağaç malzeme kalitesi ve düzgün yüzeyler elde edilmesi ve işleme özelliklerinin bilinmesi son derece önemlidir (Sofuoğlu, 2008).

Ağaç işleri ve mobilya sektöründe ağaç ve ağaç kökenli malzemelerin işlenmesinde yüzey kalitesinin her açıdan önemli bulunmaktadır ve göz önüne alınmalıdır. Ağaç malzemenin günümüz modern teknolojisi CNC ile işlenmesinde, farklı işleme yüzeylerinde en pürüzsüz yüzeyi elde etmek için, işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ile ilişkisinin araştırılmış ve optimum işleme parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve yöntem

2.1. Materyal

Çalışmada deneme materyali olarak Doğu kayını (*Fagus orientalis* L.) ağaç türü kullanılmıştır. Numune hazırlamada kullanılan keresteler Simav'da bulunan bir kereste fabrikasından rastgele seçilerek temin edilmiştir. Kullanılan ağaç türünün hava kurusu yoğunluğu 0,70 gr/cm³ olarak tespit edilmiştir.

Numunelerin işlenmesinde Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Simav Teknoloji Fakültesi'nde bulunan SKILLED 2040 CNC makinesinden yararlanılmıştır. Şekil 1'de çalışmada kullanılan CNC tezgahı verilmektedir.

Kesici tipi olarak HSS malzemeden üretilmiş 8 mm çapında farklı kesici kenar sayısına sahip ($Z=2$, $Z=3$) düz parmak frezeler kullanılmıştır (Şekil 2). Bu tip kesiciler genellikle cep frezeleme, kanal açma gibi işlemlerde kullanılmaktadırlar. Kesiciler Netmak isimli firmadan temin edilmiştir.

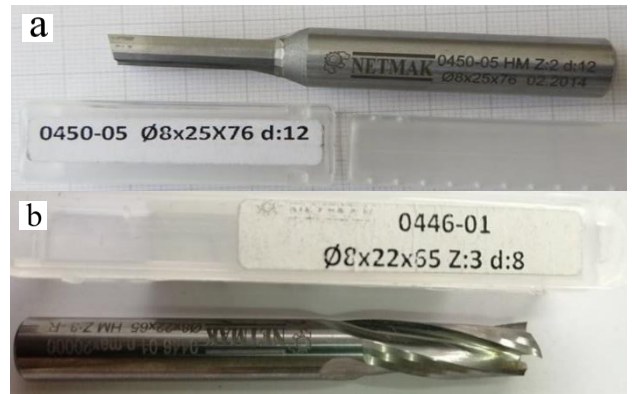
Pürüzlülük ölçümlerinde ardışık profil değişimini ölçebilen Time TR-200 dokunmalı (iğneli) pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılmıştır.

2.2. Yöntem

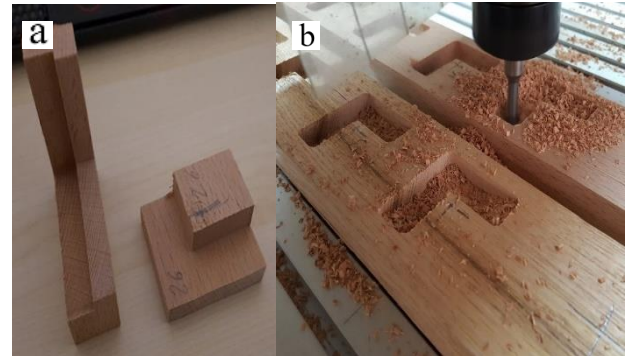
Denemeler için hazırlanan numuneler ağırlığı değişmez hale gelinceye kadar (üç hafta süre ile) $20 \pm 2^\circ\text{C}$ sıcaklık ve $65 \pm 5\%$ nisbi rutubette klimatize edilerek rutubet miktarının $12 \pm 2\%$ 'ye gelmesi sağlanmıştır. CNC tezgahta işlenmek üzere ArtCAM yazılımı kullanılarak uzun kenarları 5 cm, kısa kenarları 2 cm ebatlarında, 10 mm işleme derinliğinde 36 adet L şeklinde işleme gerçekleştirmek için takım yolu oluşturulmuştur. 10 mm işleme derinliği, her bir işleme derinliği 3,33 mm olacak şekilde 3 adımda ve her bir işleme derinliği 2,5 mm olacak şekilde 4 adımda olacak şekilde iki farklı düzeyde gerçekleştirilmiştir. Deney tasarımının oluşturulmasında belirlenen işleme parametreleri ve düzeyleri Çizelge 1'de verilmektedir. Verilen işleme parametrelerine göre G kodları çıkarılmış ve CNC tezgaha aktararak zig zag takım yolu ile işleme gerçekleştirilmiştir (Şekil 3).



Şekil 1. Skilled CNC 2040 CNC freze makinesi (Aras, 2019).



Şekil 2 a. İki ağızlı düz parmak freze (Netmak) b. Üç ağızlı spiral hassas kesim bıçağı (Netmak)



Şekil 3. a. CNC ile deney numunelerinin işlenmesi b. Numuneleri zemin ve yan yüzeylerinde kesilerek pürüzlülük ölçümü için uygun hale getirilmesi (Aras, 2019).

Çizelge 1. İşleme parametreleri, düzeyleri ve değerleri (Aras, 2019).

İşleme parametreleri	Düzyerler ve değerler
İşleme adım (katman) sayısı (10 mm kesiş derinliği elde etmek için)	3 (3,33 mm kesiş derinliği kullanılarak) 4 (2,5 mm kesiş derinliği kullanılarak)
Devir sayısı (dev/dk)	8000, 12000, 16000
İlerleme hızı (mm/dk)	1000, 1500, 2000
Kesici tipi	1, 2

Pürüzlülük ölçümlerinde ISO 4287 prensipleri uygulanmıştır. Ölçümler sonuçları ardışık profil değişimini ölçebilen Time TR-200 dokunmalı (iğneli) pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılarak numunelerin zemin yüzeylerinde ve yan yüzeylerinde liflere dik ve liflere paralel şekilde gerçekleştirilmiştir (Şekil 4). Ölçme adımı (cut-off) 0,8 mm alındıktan sonra numuneler ve cihaz yere paralel olacak şekilde ayarlanarak ölçme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Ölçümler 5'er defa tekrarlanmıştır. Yüzey pürüzlülüğünü değerlendirmede, genellikle ortalama pürüzlülük (R_a), on nokta yüksekliği (R_z) ve en büyük pürüzlülük R_y (R_{max}) ölçüt alınır (TS 6956, 2004). Elde edilen R_a (ortalama pürüzlülük) ve R_z (10 nokta pürüzlülüğü) değerleri cihazın LCD ekranından okunarak not edilmiştir. Ölçümler devam ederken cihazın kalibrasyonu belli aralıklarla kontrol edilmiştir.

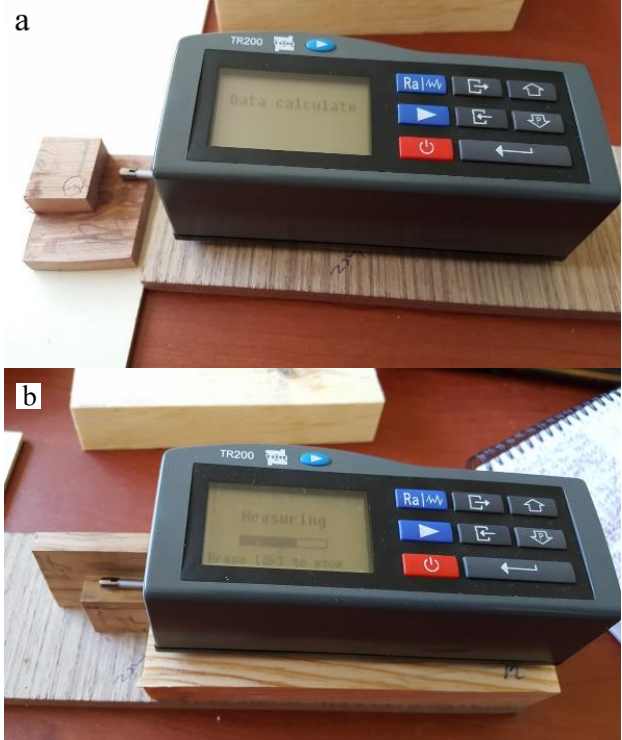
Elde edilen veriler üzerinde Minitab 19 yazılımı kullanılarak %95 güven düzeyinde varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır.

3. Bulgular ve tartışma

Zemin ve yan yüzeylerde R_a ve R_z üzerinde kesici tipinin, devir sayısının, ilerleme hızının ve işleme adım sayısının etkisini belirlemek amacıyla yapılan denemelerde elde edilen değerler istatistiksel metotlar kullanılarak değerlendirilmiştir. Çizelge 2'de elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri (R_a , ortalama pürüzlülük değeri ve R_z , 10 noktanın ortalama pürüzlülük değeri) verilmektedir.

Zemin yüzeyde liflere dik yapılan ölçümlerde yüzey pürüzlülük parametreleri için varyans analizi sonuçları Çizelge 3'de verilmektedir.

Çizelge 3'e göre %95 güven düzeyinde yapılan varyans analiz sonuçlarına göre tüm faktörler (kesici tipi, devir sayısı, ilerleme hızı, işleme katman (adım) için $P>0,05$ olduğundan istatistiki açıdan anlamlı bir fark bulunmamaktadır. Şekil 5'de ise zemin yüzeyde liflere dik yapılan ölçümlerde ortalama pürüzlülük (R_a) için ana etki grafiği verilmektedir.



Şekil 4. Zemin (a) ve yan yüzeylerin (b) pürüzlülük değerlerinin belirlenmesi

Çizelge 2. Liflere dik ve paralel yapılan ölçümlerde elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerine ait ortalamalar (Aras, 2019)

Kesici tipi	Devir sayısı (dev/dk)	İlerleme hızı (mm/dk)	İşleme adım sayısı	Zemin yüzey				Yan yüzey			
				Liflere dik		Liflere paralel		Liflere dik		Liflere paralel	
				R_a (μm)	R_z (μm)	R_a (μm)	R_z (μm)	R_a (μm)	R_z (μm)	R_a (μm)	R_z (μm)
1	8000	1000	3	6,19	36,44	4,09	20,89	3,24	21,53	2,81	15,29
1	8000	1000	4	5,22	31,85	3,37	16,19	4,00	24,16	2,63	13,78
1	8000	1500	3	5,49	32,17	4,46	24,26	3,53	19,13	1,91	9,62
1	8000	1500	4	5,98	38,21	3,05	16,56	4,92	26,32	2,83	15,94
1	8000	2000	3	6,73	38,29	4,75	24,89	3,83	25,07	2,61	16,27
1	8000	2000	4	5,55	31,25	3,91	19,61	3,78	21,58	1,84	9,63
1	12000	1000	3	4,35	30,28	2,61	15,93	2,75	17,09	2,46	11,55
1	12000	1000	4	5,05	32,23	2,89	15,06	2,10	13,26	3,12	17,45
1	12000	1500	3	5,46	33,55	3,34	17,92	3,18	21,11	1,91	15,02
1	12000	1500	4	5,97	35,15	3,79	20,48	2,82	18,65	3,19	17,21
1	12000	2000	3	5,14	27,82	3,62	19,30	4,27	25,43	2,23	11,92
1	12000	2000	4	5,68	33,31	3,36	17,92	2,35	12,78	2,55	12,54
1	16000	1000	3	2,84	19,29	3,14	17,90	2,63	17,21	2,56	12,37
1	16000	1000	4	4,81	29,57	2,49	13,58	2,84	19,48	1,45	7,77
1	16000	1500	3	6,32	34,45	4,11	22,30	2,78	18,30	2,72	14,89
1	16000	1500	4	5,46	32,73	4,53	27,47	3,35	24,47	2,54	13,56
1	16000	2000	3	3,67	25,95	3,41	18,78	2,37	15,58	2,82	15,20
1	16000	2000	4	5,23	31,18	4,71	24,29	2,67	18,99	2,78	16,29
2	8000	1000	3	6,62	36,81	3,27	18,10	3,02	16,77	2,14	12,10
2	8000	1000	4	4,28	27,64	2,70	15,06	3,75	21,07	1,71	11,21
2	8000	1500	3	5,69	33,73	3,22	16,19	5,14	33,21	2,60	13,45
2	8000	1500	4	4,27	27,09	4,94	27,21	2,98	17,81	2,20	13,15

Çizelge 2. devamı

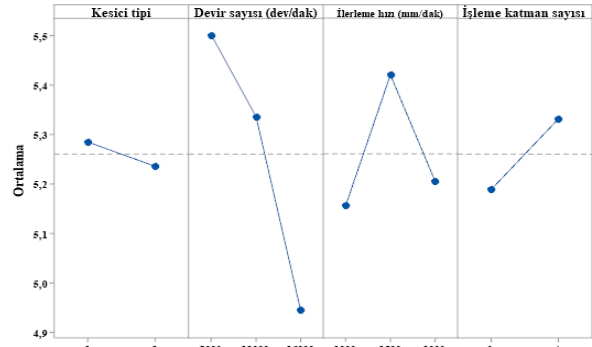
Kesici tipi	Devir sayısı (dev/dk)	İlerleme hızı (mm/dk)	İşleme adım sayısı	Zemin yüzey				Yan yüzey			
				Liflere dik		Liflere paralel		Liflere dik		Liflere paralel	
				Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)
2	8000	2000	3	4,11	26,97	5,02	24,86	3,49	19,68	2,38	12,80
2	8000	2000	4	5,90	35,26	3,26	17,90	3,02	18,28	1,39	7,77
2	12000	1000	3	5,18	32,55	3,88	22,74	4,62	29,11	2,62	11,05
2	12000	1000	4	6,57	37,27	5,29	25,61	3,49	22,61	2,35	13,33
2	12000	1500	3	5,38	33,91	3,85	21,67	4,89	29,37	2,44	14,03
2	12000	1500	4	6,49	38,20	4,57	26,71	2,23	15,22	2,01	10,29
2	12000	2000	3	4,67	27,28	3,48	19,37	4,28	28,17	1,53	8,12
2	12000	2000	4	4,11	25,64	2,72	16,06	3,93	22,13	2,08	10,63
2	16000	1000	3	5,18	32,94	2,54	18,79	1,84	11,00	2,38	16,29
2	16000	1000	4	5,58	30,83	3,75	19,87	2,57	15,56	1,70	9,89
2	16000	1500	3	4,81	28,67	3,62	18,62	2,64	15,42	1,34	7,32
2	16000	1500	4	3,74	23,27	2,82	15,55	3,37	20,69	1,31	9,74
2	16000	2000	3	5,60	32,47	4,15	28,11	3,43	21,35	2,16	13,32
2	16000	2000	4	6,08	36,69	3,02	16,43	1,88	11,14	1,87	10,82

Çizelge 3. Zemin yüzeyde liflere dik yapılan ölçümlerde yüzey pürüzlülük parametreleri (Ra ve Rz) için varyans analizi sonuçları

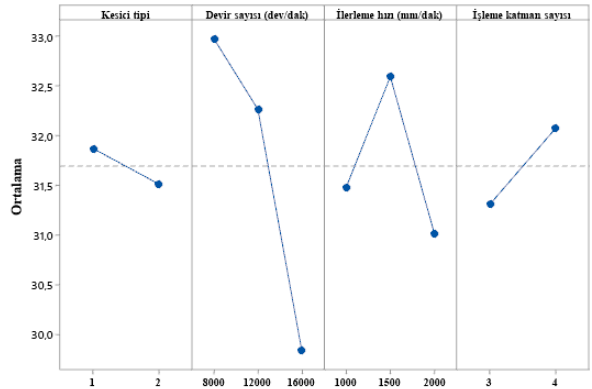
Kaynak	Serbestlik derecesi	Ra				Rz			
		Kareler toplamı	Ortalama kareler	F	P	Kareler toplamı	Ortalama kareler	F	P
Kesici tipi	1	0,0217	0,02169	0,02	0,878	1,152	1,152	0,06	0,816
Devir sayısı (dev/dk)	2	1,9742	0,98711	1,08	0,352	65,018	32,509	1,56	0,227
İlerleme hızı (mm/dk)	2	0,4761	0,23807	0,26	0,772	15,946	7,973	0,38	0,685
İşleme katman sayısı	1	0,1837	0,18372	0,20	0,657	5,291	5,291	0,25	0,618
Hata	29	26,4255	0,91122			603,307	20,804		
Toplam	35	29,0813				690,716			

Şekil 5'deki ana etki grafiğine göre zemin yüzeyde liflere dik yapılan ölçümlerde; 2 no'lu kesici ile işlenen yüzeylerde daha düşük pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Devir sayısı 8000 dev/dk'dan 16000 dev/dk'ya arttıkça pürüzlülük değerinde bir düşme meydana gelmiştir. Dönerek işleyen kesicilerde devir sayısının artması ile birlikte pürüzlülük değerlerinde düşme meydana gelmekte ve daha düzgün yüzeyler elde edilebilmektedir (Davim, vd., 2009; Karagöz, 2010; Sütçü ve Karagöz, 2012; Sofuoğlu, 2015a; Sofuoğlu, 2015b; Koç, vd., 2017; Hazır, vd., 2018; Aykaç ve Sofuoğlu, 2021; Tosun, 2021). Genel olarak değerlendirildiğinde çalışmada elde edilen değerlerin çoğunlukla literatür ile benzer eğilimler gösterdiği görülmektedir. Kesicilerin malzeme yüzeyinde birim mesafedeki kesici izi sayısı ne kadar yüksekse o kadar düzgün yüzeyler elde edilebilmektedir (Malakoçoğlu ve Özdemir, 2006; Sofuoğlu, 2008; Sofuoğlu ve Kurtoğlu, 2014). 1000 mm/dk ilerleme hızında en düşük pürüzlülük değeri elde edilirken, ilerleme hızının 1500'e çıkması ile pürüzlülük değerinde artış meydana gelmiş ve en yüksek pürüzlülük değeri 1500 mm/dk'da elde edilmiştir. İlerleme hızı 2000 mm/dk'ya çıkarıldığında ise yüzey pürüzlülük değeri tekrardan düşmüş ancak en düşük pürüzlülük değeri 1000 mm/dk'da elde edilmiştir. En düşük pürüzlülük değerleri 2 no'lu kesici tipinde, 16000 dev/dk devir sayısında, 1000 mm/dk ilerleme hızında ve 3 işleme adım (katman) sayısında $Ra=5,18 \mu m$ ve $Rz=32,94 \mu m$ elde edilmiştir. Devir sayısı eğrisinin konumu dikkate alındığında diğerlerinden daha etkin olduğu söylenebilir. En az etkiye sahip olan parametre ise kesici tipi olarak görülmektedir.

Şekil 6'da ise zemin yüzeyde liflere dik yapılan ölçümlerde Rz için ana etki grafiği görülmektedir.



Şekil 5. Zemin yüzeyde liflere dik yapılan ölçümlerde kesici tipi, devir sayısı, ilerleme hızı ve işleme katman sayısının Ra üzerine etkisi.



Şekil 6. Zemin yüzeyde liflere dik yapılan ölçümlerde kesici tipi, devir sayısı, ilerleme hızı ve işleme katman sayısının Rz üzerine etkisi.

En düşük pürüzlülük değerleri 2 no'lu kesici tipinde, 16000 dev/dk devir sayısında, 2000 mm/dk ilerleme hızında ve 3 işleme adım sayısında elde edilmiştir. R_a için en düşük pürüzlülük değeri 1000 mm/dk ilerleme hızında elde edilirken, R_z de bu değer 2000 mm/dk da meydana gelmiştir.

Zemin yüzeyde liflere paralel yapılan ölçümlerde yüzey pürüzlülük parametreleri için varyans analizi sonuçları Çizelge 4'de verilmektedir.

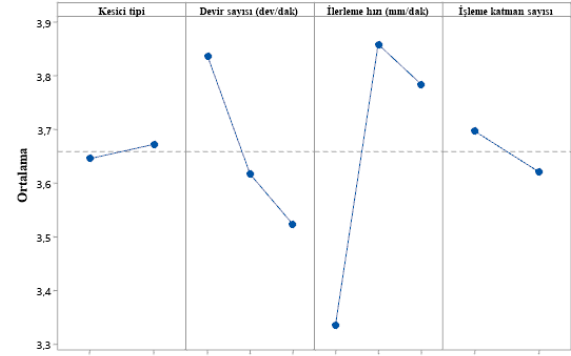
Çizelge 4'e göre %95 güven düzeyinde yapılan varyans analiz sonuçlarına göre tüm faktörler için $P > 0,05$ olduğundan anlamlı bir fark bulunmamaktadır. Şekil 7'de ise zemin yüzeyde liflere paralel yapılan ölçümlerde ortalama pürüzlülük (R_a) için ana etki grafiği görülmektedir.

Şekil 7'deki zemin yüzeyde liflere paralel yapılan ölçümlerde R_a için ana etki grafiği incelendiğinde; 1 no'lu kesici ile işlemede az da olsa daha pürüzsüz yüzeyler elde edildiği görülmektedir. Devir sayısı 8000 dev/dk'dan 16000 dev/dk'ya arttıkça pürüzlülük değerinde bir düşme meydana gelmiştir. İlerleme hızı incelendiğinde ise, 1000 mm/dk ilerleme hızında en düşük pürüzlülük değeri elde edilirken, ilerleme hızının 1500'e çıkması ile pürüzlülük değerinde artış meydana gelmiş ve en yüksek pürüzlülük değeri 1500 mm/dk'da elde edilmiştir. İlerleme hızı 2000 mm/dk'ya çıkarıldığında ise yüzey pürüzlülük değeri tekrardan düşmüş ancak en düşük pürüzlülük değeri 1000 mm/dk ilerleme hızında meydana gelmiştir. En düşük R_a 1 no'lu kesici tipinde, 16000 dev/dk devir sayısında, 1000 mm/dk ilerleme hızında ve 4 işleme adım sayısında $R_a=2,49 \mu\text{m}$ ve $R_z=13,58 \mu\text{m}$ elde edilmiştir.

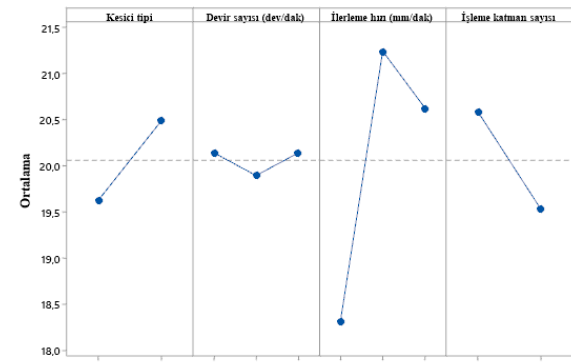
Şekil 8'deki zemin yüzeyde liflere paralel yapılan ölçümlerde R_z için ana etki grafiği incelendiğinde, 1 no'lu kesici tipinin daha düşük pürüzlülük değerleri verdiği görülmektedir. Devir sayısı 8000 dev/dk'dan 12000 dev/dk'ya arttıkça R_z değerinde bir düşme, 16000 dev/dk'ya arttıkça R_z değerinde artma meydana gelmiştir. İlerleme hızı incelendiğinde ise, 1000 mm/dk ilerleme hızında en düşük pürüzlülük değeri elde edilirken, ilerleme hızının 1500'e çıkması ile pürüzlülük değerinde artış meydana gelmiş ve en yüksek pürüzlülük değeri 1500 mm/dk'da meydana gelmiştir. İlerleme hızı 2000 mm/dk'ya çıkarıldığında ise yüzey pürüzlülük değeri tekrardan düşme meydana gelse de en düşük pürüzlülük değeri 1000 mm/dk'da elde edilmiştir.

Genel olarak değerlendirildiğinde en düşük R_z değerleri 1 no'lu kesici tipinde, 16000 dev/dk devir sayısında, 1000 mm/dk ilerleme hızında ve 4 işleme adım sayısında elde edilmiştir.

Yan yüzeylerde liflere dik yapılan ölçümlerde yüzey pürüzlülük parametreleri için varyans analizi sonuçları Çizelge 5'de verilmektedir.



Şekil 7. Zemin yüzeyde liflere paralel yapılan ölçümlerde kesici tipi, devir sayısı, ilerleme hızı ve işleme katman (adım) sayısının R_a üzerine etkisi.



Şekil 8. Zemin yüzeyde liflere paralel yapılan ölçümlerde kesici tipi, devir sayısı, ilerleme hızı ve işleme katman (adım) sayısının R_z üzerine etkisi.

Çizelge 4. Zemin yüzeyde liflere paralel yapılan ölçümlerde yüzey pürüzlülük parametreleri için varyans analizi sonuçları.

Kaynak	R_a					R_z			
	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Ortalama kareler	F	P	Kareler toplamı	Ortalama kareler	F	P
Kesici tipi	1	0,0065	0,006454	0,01	0,919	6,689	6,6891	0,39	0,538
Devir sayısı (dev/dk)	2	0,6165	0,308238	0,51	0,608	0,479	0,2397	0,01	0,986
İlerleme hızı (mm/dk)	2	1,9300	0,965010	1,59	0,222	57,475	28,7377	1,67	0,205
İşleme katman sayısı	1	0,0519	0,051899	0,09	0,772	10,066	10,0658	0,59	0,450
Hata	29	17,6379	0,608202			498,344	17,1843		
Toplam	35	20,2427				573,054			

Çizelge 5. Yan yüzeyde liflere dik yapılan ölçümlerde yüzey pürüzlülük parametreleri için varyans analizi sonuçları

Kaynak	R_a					R_z			
	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Ortalama kareler	F	P	Kareler toplamı	Ortalama kareler	F	P
Kesici tipi	1	0,2764	0,2764	0,48	0,492	1,982	1,982	0,08	0,778
Devir sayısı (dev/dk)	2	6,6294	3,3147	5,80	0,008	145,959	72,980	2,98	0,067
İlerleme hızı (mm/dk)	2	1,0360	0,5180	0,91	0,415	40,529	20,265	0,83	0,447
İşleme adım sayısı	1	0,9603	0,9603	1,68	0,205	45,211	45,211	1,84	0,185
Hata	29	16,5654	0,5712			710,698	24,507		
Toplam	35	25,4675				944,380			

Çizelge 5'e göre %95 güven düzeyinde yapılan varyans analiz sonuçlarına göre R_a değerinde devir sayısı için $p=0,008<0,05$ olduğundan istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmaktadır. R_a ve R_z için diğer tüm faktörler $P>0,05$ olduğundan anlamlı bir fark bulunmamaktadır. Şekil 10'da ise yan yüzeylerde dik yapılan ölçümlerde R_a için ana etki grafiği görülmektedir.

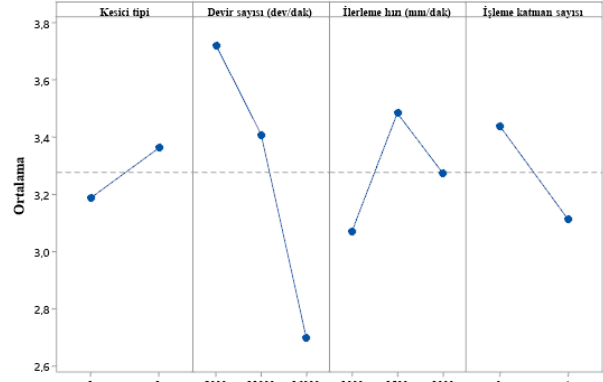
Şekil 9'daki yan yüzeyde liflere dik yapılan ölçümlerde ana etki grafiğine göre; 1 no' lu kesici daha düşük R_a değeri vermektedir. Devir sayısı 8000 dev/dk'dan 16000 dev/dk'ya arttıkça pürüzlülük değerinde bir düşme meydana gelmiştir. 1000 mm/dk ilerleme hızında en düşük pürüzlülük değeri elde edilirken, ilerleme hızının 1500'e çıkması ile pürüzlülük değerinde artış meydana gelmiş ve en yüksek pürüzlülük değeri 1500 mm/dk'da elde edilmiştir. İlerleme hızı 2000 mm/dk'ya çıkarıldığında ise yüzey pürüzlülük değeri tekrardan düşmüş ancak en düşük pürüzlülük değeri 1000 mm/dk'da meydana gelmiştir. Sonuç olarak en düşük pürüzlülük değerleri 1 no'lu kesici tipinde, 16000 dev/dk devir sayısında, 1000 mm/dk ilerleme hızında ve 4 işleme adım sayısında $R_a=2,84 \mu m$ ve $R_z=19,48 \mu m$ elde edilmiştir.

Şekil 10'da ise yan yüzeyde liflere dik yapılan ölçümlerde R_z için ana etki grafiği görülmektedir.

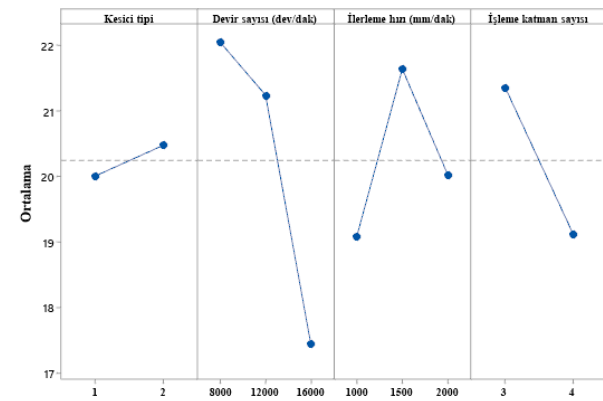
Şekil 10'daki yan yüzeyde liflere dik yapılan ölçümlerde R_z için ana etki grafiği incelendiğinde devir sayısı 8000 dev/dk'dan 16000 dev/dk'ya arttıkça pürüzlülük değerinde bir düşme meydana gelmiştir. 8000 dev/dk'dan 12000 dev/dk'ya düşüş az bir miktar iken 12000 dev/dk'dan 16000 dev/dk'ya olan düşme yüksek bulunmuştur. 1000 mm/dk ilerleme hızında en düşük pürüzlülük değeri elde edilirken, ilerleme hızının 1500'e çıkması ile pürüzlülük değerinde artış meydana gelmiş ve en yüksek pürüzlülük değeri 1500 mm/dk'da elde edilmiştir. İlerleme hızı 2000 mm/dk'ya çıkarıldığında ise yüzey pürüzlülük değeri tekrardan düşmüş ancak en düşük pürüzlülük değeri 1000 mm/dk'da olarak tespit edilmiştir. En düşük pürüzlülük değerleri 1 no'lu kesici tipinde, 16000 dev/dk devir sayısında, 1000 mm/dk ilerleme hızında ve 4 işleme adım sayısında elde edilmiştir.

%95 güven düzeyinde yapılan varyans analizi sonuçlarına göre kesici tipi için $p=0,004<0,05$ olduğundan R_a ve R_z için istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmaktadır. Liflere dik ve liflere paralel ölçümlerdeki %95 güven düzeyindeki anlamlılık farkının odunun anatomik

yapısının etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Diğer tüm faktörler (devir sayısı, ilerleme hızı, işleme adım sayısı) için $p>0,05$ olduğundan istatistiksel açıdan anlamlı bir fark bulunmamaktadır (Çizelge 6).



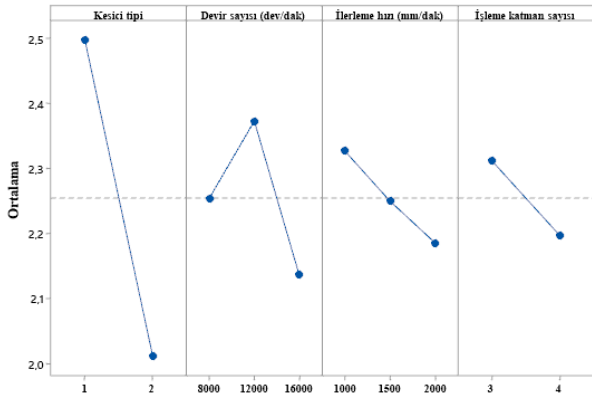
Şekil 9. Yan yüzeyde liflere dik yapılan ölçümlerde kesici tipi, devir sayısı, ilerleme hızı ve işleme katman (adım) sayısının R_a üzerine etkisi.



Şekil 10. Yan yüzeyde liflere dik yapılan ölçümlerde kesici tipi, devir sayısı, ilerleme hızı ve işleme katman (adım) sayısının R_z üzerine etkisi.

Çizelge 6. Yan yüzeyde liflere paralel yapılan ölçümlerde yüzey pürüzlülük parametreleri (R_a ve R_z) için varyans analizi sonuçları

Kaynak	Serbestlik derecesi	R_a				R_z			
		Kareler toplamı	Ortalama kareler	F	P	Kareler toplamı	Ortalama kareler	F	P
Kesici tipi	1	2,1359	2,13588	10,02	0,004	46,615	46,6148	6,14	0,019
Devir sayısı (dev/dk)	2	0,3368	0,16842	0,79	0,463	1,376	0,6882	0,09	0,914
İlerleme hızı (mm/dk)	2	0,1213	0,06065	0,28	0,754	3,602	1,8012	0,24	0,790
İşleme adım sayısı	1	0,1190	0,11896	0,56	0,461	2,567	2,5666	0,34	0,565
Hata	29	6,1833	0,21322			220,163	7,5918		
Toplam	35	8,8963				274,323			



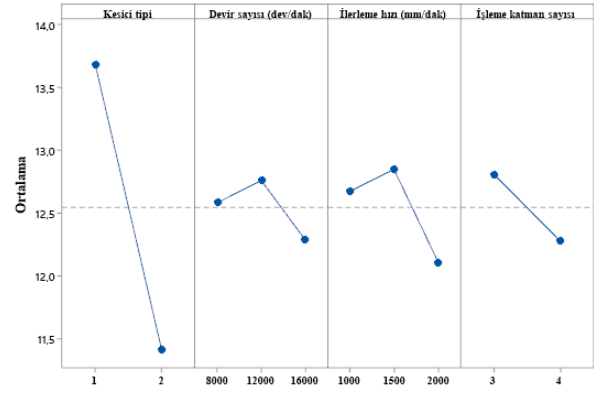
Şekil 11. Yan yüzeyde liflere paralel yapılan ölçümlerde kesici tipi, devir sayısı, ilerleme hızı ve işleme katman (adım) sayısının R_a üzerine etkisi.

Şekil 11'deki ana etki grafiğinde yan yüzeyde liflere paralel yapılan ölçümlerde 2 no'lu kesici ile yapılan işlemlerde daha düşük R_a değerleri edilmiştir. Devir sayısı 8000 dev/dk'dan 12000 dev/dk'ya arttıkça pürüzlülük değerinde bir yükselme meydana gelmiştir. Devir sayısının 16000 dev/dk'ya çıkması ile en düşük pürüzlülük değeri elde edilmiştir. İlerleme hızı incelendiğinde ise, 1000 mm/dk ilerleme hızında en yüksek pürüzlülük değeri elde edilirken, ilerleme hızının 1500' mm/dk'ya çıkması ile pürüzlülük değerinde düşüş meydana gelmiş ve en düşük pürüzlülük değeri 2000 mm/dk'da elde edilmiştir. Sonuç olarak en düşük pürüzlülük değerleri 2 no'lu kesici tipinde, 16000 dev/dk devir sayısında, 2000 mm/dk ilerleme hızında ve 4 işleme adım sayısında $R_a=1,87 \mu m$ ve $R_z=10,82 \mu m$ elde edilmiştir.

Şekil 12'deki yan yüzeyde liflere paralel yapılan ölçümlerde R_z için ana etki grafiği incelendiğinde 2 nolu kesici en düşük R_z değerini vermiştir. Devir sayısı 8000 dev/dk'dan 12000 dev/dk'ya arttıkça R_z değerinde artış meydana gelmiştir. Devir sayısının 16000 dev/dk'ya çıkması ile en düşük pürüzlülük değeri elde edilmiştir. İlerleme hızı incelendiğinde ise, 1000 mm/dk'dan 1500 mm/dk'ya arttıkça pürüzlülük değerinde bir yükselme meydana gelmiştir. İlerleme hızı 2000 mm/dk'ya arttığında ise en düşük pürüzlülük değeri elde edilmiştir. Sonuç olarak en düşük pürüzlülük değerleri 2 no'lu kesici tipinde, 16000 dev/dk devir sayısında, 2000 mm/dk ilerleme hızında ve 4 işleme adım sayısında elde edilmiştir.

Düzensiz yüzeyler makinanın stabil olması, titreşimlerin engellenmesi vb. faktörlerin sabit tutulmasıyla birlikte ilerleme hızının düşürülmesi, devir sayısı ve bıçaktaki kesici sayısının artırılması ile mümkün olabilmektedir. Yan yüzeylerin işlenmesinde daha fazla gözlemlenebilmektedir. Literatürde de ağaç ve ağaç kökenli malzemelerin işlenmesinde ilerleme hızı arttıkça genel bir eğilim olarak pürüzlülük değerlerinde artış meydana geldiği araştırma sonuçlarında belirtilmektedir (İlter, vd., 2002; Davim, vd., 2009; Karagöz, 2010; Sütçü ve Karagöz, 2012; Koç, vd., 2017; Bal, 2018; Bal ve Akçakaya, 2018; Hazir, vd., 2018; Pinkowski, vd., 2018; İşleyen ve Karamanoğlu, 2019; Aykaç ve Sofuoğlu, 2021).

Şekil 12'de ise yan yüzeyde liflere paralel yapılan ölçümlerde R_z için ana etki grafiği görülmektedir.



Şekil 12. Yan yüzeyde liflere paralel yapılan ölçümlerde kesici tipi, devir sayısı, ilerleme hızı ve işleme katman (adım) sayısının R_z üzerine etkisi.

4. Sonuç ve öneriler

Bu çalışmada Doğu kayını (*Fagus orientalis* L.) ağaç türünden hazırlanan test örneklerinin optimum işleme koşullarını belirlemek amacıyla, CNC makinesinde çeşitli parametreler değiştirilerek işleme gerçekleştirilmiş ve elde edilen yüzeylerin yüzey kalitesi yüzey pürüzlülüğü göz önüne alınarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde;

- Belirli sınırlar arasında devir sayısı arttıkça pürüzlülük değerlerinde azalma meydana gelmektedir.
- Bir derin kesiş yerine iki sığ kesişin daha düzgün yüzey vereceği görülmektedir. Yüzey kalitesinin önemli olduğu durumlarda derin kesişlerden kaçınılmalıdır.
- Kesici devir sayısındaki artış belli bir yere kadar pürüzlülük değerinde iyileşme gösterirken daha fazla artması pürüzlü yüzeyler oluşturmuştur. Yüzey kalitesi için en uygun devir sayısını tespit ederek o devir sayısında kesışı gerçekleştirmek hem yüzey kalitesini arttıracak hem de kesicinin daha uzun süre keskin kalmasını sağlayacaktır.
- Kesici ilerleme hızı arttıkça pürüzlülükte paralel olarak artış göstermiştir. Daha düşük ilerleme hızlarında daha düzgün, pürüzsüz yüzeyler elde edilebilecektir. Ancak bu durum işleme süresini arttıracak ve süre açısından olumsuz bir durum oluşmasına yol açacaktır. Bu durumda hem kesiş süresi hem de ilerleme hızı değerlendirilerek optimum noktada kesiş sağlanmalıdır.
- Pürüzlülük değerlerinin minimum olarak elde edilmesi için elde edilen veriler değerlendirilerek optimum noktada işleme gerçekleştirilmelidir.
- Belirli sınırlar içinde kesicilerdeki bıçak sayısının artırılması işlenen yüzey kalitesini arttıracaktır.

Açıklama

Bu makale, Oruç ARAS isimli yazarın "CNC frezeleme operasyonlarında, farklı ahşap kesitlerinde işleme parametreleri ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişkinin araştırılması" başlıklı yüksek lisans tezi baz alınarak hazırlanmıştır

Kaynaklar

- Aras, O., 2019. CNC frezeleme operasyonlarında, farklı ahşap kesitlerinde işleme parametreleri ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişkinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Aykaç, E., 2018. Bambu'da işleme parametrelerinin yüzey kalitesi üzerine etkisinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Aykac, E., Sofuoğlu, S.D., 2021. Investigation of the effect of machining parameters on surface quality in Bamboo. *Tehnicky Vjesnik-Technical Gazette*, 28(2): 684-689.
- Bal, B.C., 2018. CNC makinelerinin bazı ayarlarının parça işleme süresi ve lif levhanın yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri. *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 1(1): 21-30.
- Bal, B.C., Akçakaya, E., 2018. The effects of step over, feed rate and finish depth on the surface roughness of fiberboard processed with CNC machine. *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 1(2): 86-93.
- Davim, J.P., Clemente, V.C., Silva, S., 2009. Surface roughness aspects in milling MDF (Medium Density Fibreboard). *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 40(1-2): 49-55
- Hazır, E., Erdinler, E. S., Koc, K. H., 2018. Optimization of CNC cutting parameters using design of experiment (DOE) and desirability function. *Journal of Forestry Research*, 29(5): 1423-1434.
- İlter, E., Çamlıyurt, C., Balkız, O.D., 2002. Researches of the determination of the surface roughness values of bornmullerian fir (*Abies bornmülleriana* Mattf.). Central Anatolia Forestry Research Institute, Ankara, Turkey.
- İşleyen, Ü. K., Karamanoğlu, M., 2019. The influence of machining parameters on surface roughness of MDF in milling operation. *BioResources*, 14(2): 3266-3277.
- Jakub, S., Martino, N., 2005. Wood surface roughness-What is it, Rosenheim Workshop, September, Boku University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna, Austria.
- Karagöz, Ü., 2010. Ahşap malzemenin CNC ile işlenmesinde yüzey kalitesini etkileyen işleme parametrelerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Koç, K.H., Erdinler, E.S., Hazır, E., Öztürk, E., 2017. Effect of CNC application parameters on wooden surface quality. *Measurement*, 107:12-18,
- Malkoçoğlu, A., Özdemir, T. 2006. The machining properties of some hardwoods and softwoods naturally grown in Eastern Black Sea Region of Turkey. *Journal of Materials Processing Technology*, 173(3): 315-320.
- Marian, J.E., Suchland, O., 1962. Surface texture measurement theories, methods, applications, *Forest Product Journal*, 13: 303.
- Pinkowski, G., Szymański, W., Krauss, A., Stefanowski, S., 2018. Effect of sharpness angle and feeding speed on the surface roughness during milling of various wood species. *BioResources*, 13(3): 6952-6962.
- Sofuoğlu, S.D., 2008. Bazı yerli ağaç türü odunlarının işleme özelliklerinden yüzey kalitesi üzerine etkileri, Doktora tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Sofuoğlu, S.D., 2015a. Determination of optimal machining parameters of massive wooden edge-glued panels made of European larch (*Larix decidua* Mill.) using Taguchi design method. *BioResources*, 10(4): 6797-6808.
- Sofuoğlu, S.D., 2015b. Using artificial neural networks to model the surface roughness of massive wooden edge-glued panels made of scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) in a machining process with computer numerical control, *BioResources*, 10(4): 6797-6808.
- Sofuoğlu, S.D., Kurtoğlu, A., 2014. Some machining properties of 4 wood species grown in Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 38(3): 420-427.
- Stumbo, D.A., 1961. Surface texture measurements for quality and production control, *Forest Products Journal*, 10 (12): 122-124.
- Sütçü, A., Karagöz, Ü., 2012. Effect of machining parameters on surface quality after face milling of MDF, *Wood Research*, 57 (2): 231-240.
- Tosun, M., 2021. Termo-mekanik yoğunlaştırmanın masif ağaç malzemenin işleme özellikleri üzerine etkisi, Yüksek lisans tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Kütahya.
- TS 6956 EN ISO 4287, 2004. Geometrik mamul özellikleri (GMÖ)-Yüzey yapısı: profil metodu terimler, tarifler ve yüzey yapısı parametreleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.