



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 30.08.2023
Kabul Tarihi : 05.12.2023

Received Date : 30.08.2023
Accepted Date : 05.12.2023

CNC MAKİNESİ KESME PARAMETRELERİNİN CEVİZ ODUNUNUN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÜZERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF CNC MACHINE CUTTING PARAMETERS ON THE SURFACE ROUGHNESS OF WALNUT WOOD

Osman KABA¹ (ORCID: 0000-0001-5627-8966)

Bekir Cihad BAL^{2*} (ORCID: 0000-0001-7097-4132)

¹ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Bilimi ve Müh. ABD, Kahramanmaraş/Türkiye

² Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Malzeme Bölümü, Kahramanmaraş/Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Bekir Cihad BAL, bcbal@hotmail.com

ÖZET

Ceviz, sapelli ve sarıçam gibi bazı ağaç türleri, ahşap yüzey oyma işlemlerinde kullanılan ağaç türlerindedir. Günümüzde, ahşap yüzey oyma işlemleri manuel olarak veya CNC makinelerinden yararlanılarak yapılabilmektedir. Bu çalışmada, CNC tezgâhında farklı besleme hızı, bıçak adımı ve bıçak motoru devri kullanılarak masif ağaç malzemenin yüzey pürüzlülüğü ve işlem süresi belirlenmeye çalışılmıştır. Masif ağaç malzemenin önemli kalite özelliklerinden birisi yüzey pürüzlülüğüdür. Ayrıca, CNC makinelerinde her bir parça için işlem süresi toplam kapasiteyi etkileyen önemli bir parametredir. Bu çalışmanın amacı; masif ağaç malzemenin CNC makineleri ile şekillendirilmesi esnasında, kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve işlem süresi üzerine etkisini belirlemektir. Çalışma sonunda; bıçak motoru hızının artması ile Ra , Rp ve Rv değerlerinde bir düşüş olduğu görülmüştür. Fakat bıçak adımı ve besleme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığı belirlenmiştir. Genel olarak, bıçak motoru hızı arttıkça ve bıçak adımı ve besleme hızı azaldıkça yüzey pürüzlülüğü azalmakta olduğu ve bıçak adımı ve besleme hızı azaldıkça işlem süresinin arttığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bilgisayar destekli üretim, kesme parametreleri, mobilya, masif ceviz odunu

ABSTRACT

Some wood species such as walnut, sapele and Scots pine are used in wood carving processes. Today, wooden surface carving operations can be done manually or using CNC machines. In this study, it was tried to determine the surface roughness and processing time of solid wood material by using different spindle speed, step over and feed rate on the CNC machine. One of the important quality features of solid wood material is surface roughness. The processing time for each part in CNC machines is an important parameter that affects the total capacity. The aim of this study is to determine the effect of tool path settings on surface roughness and processing time during the processing of wood material with CNC machines. At the end of the experiments; it is seen that there is a decrease in the Ra , Rp and Rv in general with the increase of spindle speed. However, it is determined the roughness increases with the increase of step over and feed rate. In general, it has been found the surface roughness decreases as the spindle speed increases, and the stepover and feed rate decrease, and the processing time increases as the step over and feed rate decrease.

Keywords: Computer added manufacture, cutting parameters, furniture, solid walnut wood

GİRİŞ

Ahşap malzeme işleme makineleri, mobilya endüstrisinde önemli bir yer tutmaktadır. Bu makinelerin en önemlilerinden birisi CNC makineleridir. CNC makineleri ile işlem yapabilmek için çeşitli kesme parametreleri ayarlanmalıdır. Bunlar; bıçak motoru devri, hareket hızı, bıçak yanal ilerleme miktarı, dalma hızı, işleme stratejisi vs. dir. Ayrıca, işlenen ahşap malzemenin yoğunluğunun, rutubetinin ve bıçak dalma derinliğinin değişmesi veya CNC makinelerinde yapılan bu ayarlamaların değişmesi ile malzemenin yüzey kalitesi değişmektedir (Sofuoğlu 2008; Karagöz 2010; Koç vd., 2017; Bal ve Gündeş 2020; Singer ve Özşahin 2022; Demir vd., 2022; Çakıroğlu vd., 2022).

CNC makineleri masif ağaç malzemenin ve ahşap esaslı kompozit levhaların, özellikle lif levhanın yüzeyinin şekillendirilmesinde orta ve büyük ölçekli işletmelerde oldukça fazla kullanılmaktadır. CNC makinalarında işlem gören, özellikle yüzey süslemeciliğinde kullanılan bazı ağaç türleri şunlardır; Sarıçam (*Pinus sylvestris*), Ceviz (*Juglans regia*), Audire (*Guarrea Africana Pellegr*), Maun (*Khaya sp.*), İhlamur (*Tilia cordata*) (Kaba 2022).

Ağaç işleri sektöründe, masif ağaç malzeme ve ahşap esaslı kompozit malzemelerin üretiminde ve işlenmesinde yüzey kalitesinin her yönden önemli olması nedeniyle, yüzey pürüzlülüğüyle ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte üretimde hassasiyet ve beklentiler artmıştır. Bu konuyla ilgili olarak yapılan bazı çalışmalar bulunmaktadır. Örneğin; Cutri vd., (1991) ahşap malzemelerin planlanmış ve şekillendirilmiş parçaların üretimi sırasında makinadan etkilendiğini belirttiği çalışmada işlem sırasında yapılan ölçümlerde dokunmalı ölçüm sisteminin makinanın titreşiminden ve ilerleme hızından etkilendiğini belirterek lazer ölçüm sistemini kullanmaya başlamıştır. Baykan (1996) nem oranı, kesme yönü, planlamaya ve zımparalama işlemlerinden geçen malzemelerin yüzey pürüzlülüğünü araştırmış ve düşük rutubet miktarındaki parçada ve düşük besleme hızında daha kaliteli yüzeyler elde edildiği görülmüştür. Örs ve Baykan (1999) tarafından planlama da kesme derinliği, kesme sayısı ve ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisinin araştırıldığı çalışmada, mobilya üretiminde fazlaca kullanılan meşe (*Quercus petraea* L.) ve akasya (*Robinia pseudoacacia* L.) ağaç türleri kullanılmıştır. Testler için, 4 ve 2 bıçaklı planya, 9,5 mm/dk ve 4,2 mm/dk hareket hızı ve 1 mm kesme derinliği uygulama amaçlı numuneler hazırlanmıştır. Yapılan pürüzlülük ölçümlerine göre, akasyanın meşeye oranla daha düzgün yüzeyde olduğu, kesiş derinliği ve ilerleme hızı azaldıkça, kesici sayısı fazlaştıkça yüzey kalitesinin arttığı görülmüştür.

Mitchell ve Lemaster'in (2002), akçağaç test örneklerinin CNC makinesi ile farklı yüzeylerde, farklı kesici devir sayısı, işleme yönü ve farklı kesici uçlar ile yaptığı araştırmada, liflere paralel işlemenin, liflere dik işlemeye göre daha düşük yüzey pürüzlülük değeri verdiği gözlemlenmiştir. İlerleme hızının artması ile yüzey kalitesinin azaldığı görülmüştür. Sofuoğlu (2016) sarıçam odunundan hazırlanmış masif panel test örnekleri üzerinde, CNC makinesinde işlemede en uygun kesme parametrelerini belirlemek amacı ile Taguchi tasarım yöntemini kullanmıştır. Bu uygulamada, 5 işleme parametresinin (kesiş derinliği, ilerleme hızı, devir sayısı, işleme stratejisi ve kesici tipi) yüzey düzgünlüğü üzerine etkisi incelenmiştir. En uygun şartı sağlayan işleme sinyal/gürültü oranı (S/N) kullanılmış ve incelenmiştir. En iyi pürüzlülük değeri R_z ve R_a için 1 numaralı kesici, 1000 mm/dak ilerleme hızında, 16 000 dev/dak sayısında, raster işleme stratejisi ile elde edilmiştir. Testlerin sonuçlarına göre başlangıç parametreleri ele alındığında R_z parametresinde 2,0 kat ve R_a parametresinde 2,8 kat azalma görülmüştür.

Yapılan bir başka çalışmada ise, CNC makinesi ile işlemede ceviz ve dişbudak ağacı kerestesi kullanılmıştır. Çalışmada, üç farklı kesici takım çapı (3 mm, 6 mm ve 8 mm), 3 farklı iş mili hızı (12000 rpm, 15000 rpm ve 18000 rpm) ve 3 farklı ilerleme hızının (3 m/dk, 6 m/dk ve 9 m/dk) kesme koşulları olarak denemeleri yapılmıştır. Bu çalışmada aynı zamanda, CNC işleminden hemen sonra ölçülen enerji tüketimi ve işlem süresi değerleri ile testlerden elde edilen yüzey pürüzlülüğü ve temas açısı değerleri kullanılarak, yapay sinir ağı (YSA) analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonunda elde edilen verilere; çalışmada kullanılmayan ara kesme koşullarına karşılık gelen çıkış değerleri de başarılı bir şekilde tahmin edilmiştir (Çakıroğlu vd., 2022).

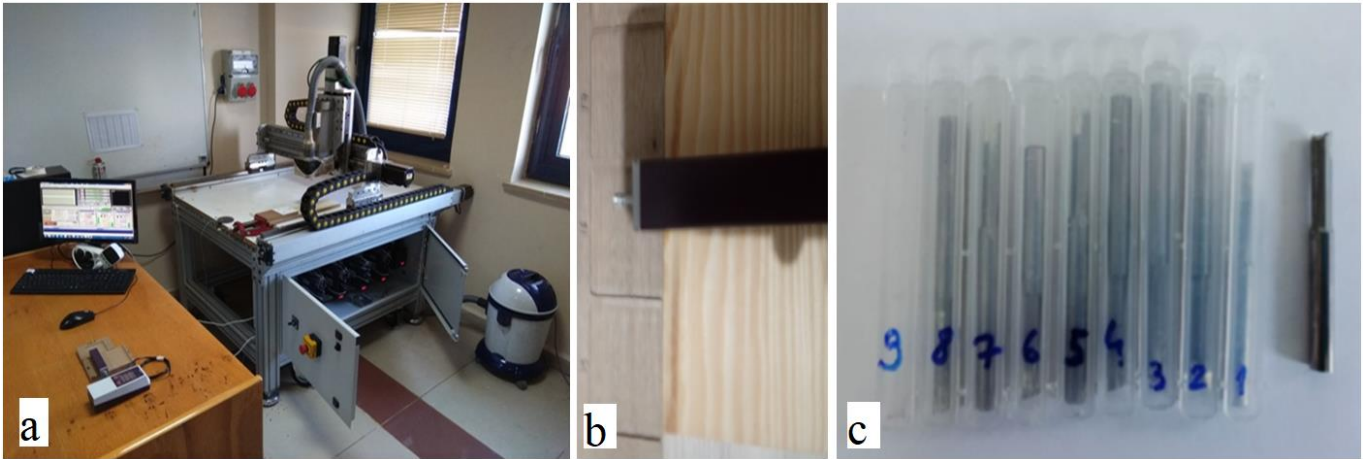
CNC makinelerinde işlem yapabilmek için çeşitli kesme parametrelerinin iyi bir şekilde ayarlanması gerekmektedir. Bu kesme parametrelerinin değişmesi ile CNC makinesinde işlem gören parça için yüzey pürüzlülüğü ve işlem süresi de değişkenlik göstermektedir. Bu çalışmanın amacı, CNC makinesinin farklı takım yolu ayarlarının, cep işleme yöntemi ile işlenen ceviz odunun yüzey pürüzlülüğü ve parça işleme esnasındaki işlem süresi üzerine etkisini belirlemektir.

MATERYAL VE METOT

Materyal

Bu çalışmada, ceviz odunu kullanılmıştır. Kullanılan ceviz odununun ortalama yoğunluk değeri 610 kg/m^3 ve rutubet değeri % 8,31'dir. Ceviz odunu çalışmanın amacına uygun olarak oymacılıkta fazla kullanılan bir tür olduğu için seçilmiştir. Denemelerde kullanılan ceviz odunu özel bir işletmeden, biçilmiş ve kurutulmuş kereste olarak tedarik edilmiştir. Elde edilen kerestelerden $17 \times 110 \times 800 \text{ mm}$ (kalınlık x genişlik x uzunluk) 10 adet test örneği hazırlanmıştır.

Testlerin yapılmasında, laboratuvar ölçekli bir CNC makinesi kullanılmıştır. Makine, alüminyum konstrüksiyona sahip bir makinedir (Şekil 1-a). Makine 3 eksenli bir makinedir ve hareket motorları 750 W Servo Motordur. CNC makinesinin bıçak motor devri maksimum 18 000 d/dak'dir ve 2.2 kw gücünde ve hava soğutmalıdır. Makine bir bilgisayar ile ve Mach 3 programı kullanılarak kontrol edilmiştir.



Şekil 1. CNC Makinesi Ve Bilgisayar Kontrolü (a), Test Örneği Ve Pürüzlülük Ölçümü (b) ve Bıçaklar (c)

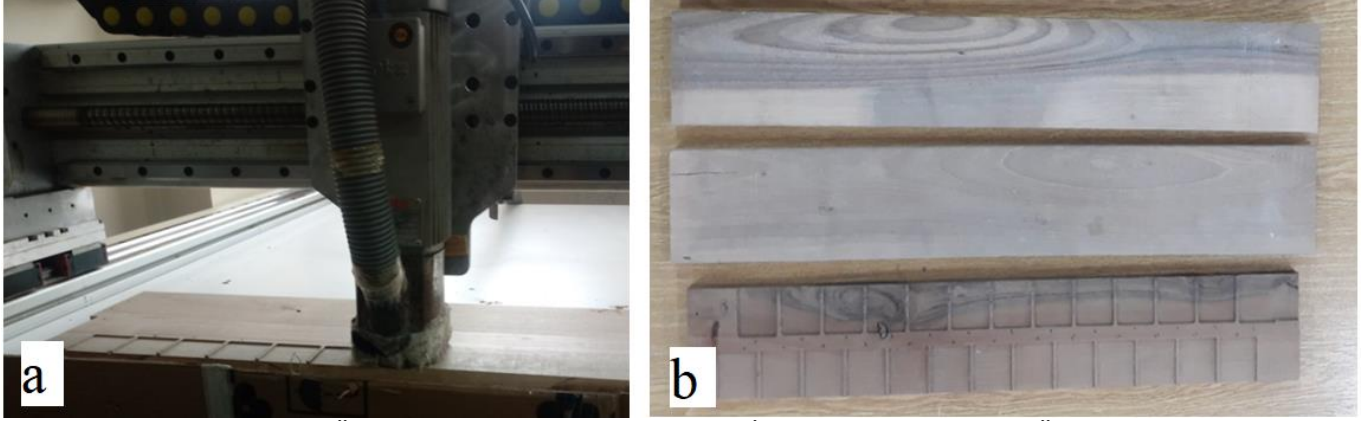
Pürüzlülüğü tespit edebilmek için, Mitutoyo SJ-210 model cihaz kullanılmıştır (Şekil 1-b). Pürüzlülük ölçüm cihazı ayarları; λc : 2,5 mm, stylus ucu açısı 60° , sürücü ünite hızı 0,75 mm/sn.

Testlerde, ortalama pürüzlülük (Ra), maksimum vadi derinliği (Rv) ve maksimum tepe yüksekliği (Rp) olan üç pürüzlülük değeri belirlenmiştir. CNC makinesinde masif test numunelerinin şekillendirilmesinde 2 kanatlı bir bıçak kullanılmıştır. Testlerde, Şekil 1-c'de görülen, 6 mm çapında, karbür çeliğinden üretilmiş bıçaklar kullanılmıştır. Her 3 grup için 1 bıçak olmak üzere toplam 27 grup için 9 adet bıçak kullanılmıştır.

Metot

Yapılan bu çalışmada, pürüzlülük testlerinin yapılabilmesi için 10 adet numune hazırlanmıştır. Her biri numune üzerinde 27 adet farklı kod dosyası ile cep boşaltma denemesi yapılmıştır. Test örneklerine $50 \times 50 \text{ mm}$ ölçüsünde, CNC ile 3 mm derinlikte cep boşaltma işlemi yapılmıştır (Şekil 2). Daha sonra bu alanın 4 farklı noktasından yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür. Testlerden elde edilen veriler excel programında işlenmiş ve bir istatistik programı ile varyans analizi testi yapılmıştır.

Test numunelerinin yoğunlukları ve rutubetleri TS 2471 ve TS 2472'ye göre belirlenmiştir. Pürüzlük ölçümleri ise TS 971'e göre yapılmıştır. Yüzey pürüzlüğü, test örneği üzerinde işlenen alanın yüzey pürüzlülüğünün cihaz ile ölçülmesi için boy yönünde iki eşit parçaya bölünmüştür. İki eşit parçaya ayrılan her bir modelin test örneğinin bir tarafında 13 diğer tarafında 14 cep boşaltma yapılmıştır. Ölçümler, CNC makinesinin işleme yönüne (bıçak izine) dik bir doğrultuda yapılmıştır. Her bir cep içerisinde 4 defa pürüzlülük ölçümü yapılmış ve bu ölçümlerin ortalama değerleri alınmıştır.



Şekil 2. Test Örneklerinin CNC Makinesinde İşlenmesi (a) Ve Test Örnekleri (b)

Yüzey pürüzlülüğü ve işlem süresi üzerine etkisi araştırılan takım yolu ayarları; 3 farklı bıçak motoru devri, 3 farklı besleme hızı ve 3 farklı bıçak adımıdır. Tablo 1’de verilen tüm gruplar (3 x 3 x 3 = 27 grup) denenmiştir. Takım yolu ayarlarının oluşturulmasında ArtCAM programı kullanılmıştır. Bu çalışma için 27 farklı takım yolu ayarı (27 farklı grup) kodlanmıştır.

Tablo 1. Deneme Planı Takım Yolu Ayarları

Faktör	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Bıçak motoru devri	8000 d/dk	12000 d/dk	16000 d/dk
Besleme hızı	1000 mm/dk	1500 mm/dk	2000 mm/dk
Bıçak adımı	1.5 mm	3.0 mm	4.5 mm

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bulgular

Bu çalışmada, denemeler sonunda elde edilen bulgular Tablo 2’de gösterilmiştir. Tabloda verilen değerler incelendiğine, besleme hızının artması ile genel olarak pürüzlülük değerlerinde (Ra , Rp , Rv) bir artış olduğu görülmektedir. Ayrıca, daha önce yapılan çalışmalarda (Sofuoğlu 2008; De Deus vd., 2015; Koç vd., 2017; Bal ve Gündes 2020; Singer ve Özşahin 2022) motor devrinin artması ile genel olarak pürüzlülük değerlerinin azaldığı rapor edilmiştir. Fakat masif malzemede ceviz odununda bulunan iğne çizdiği şeklindeki trahelerin fazla olması sebebiyle bazı grupların verilerinde literatüre göre küçük farklılıklar oluşmuştur.

Tablo 2’de verilen değerlere göre; 8000 devirdeki motor hızı dikkate alındığında 2000 mm/dk besleme hızında ve 4.5 mm bıçak adımında Ra değeri 10,53 μm olarak en yüksek değeri verirken, 1000 mm/dk besleme hızı ve 1,5 mm bıçak adımı 6,71 olarak en düşük değeri vermiştir. Rp değeri için 2000 mm/dk besleme hızı ve 4,5 mm bıçak adımı 29,77 ile en yüksek değeri sağlarken, 2000 mm/dk besleme hızı 1,5 mm bıçak adımı 16,85 ortalama ile en düşük değeri vermiştir. Rv değerinde ise 1000 mm/dk besleme hızı ve 3 mm bıçak adımıyla 56,13 μm değeriyle en yüksek sonuç verirken, 1000 mm/dk besleme hızı 4,5 mm bıçak adımıyla 45,32 μm değeriyle en düşük sonucu vermiştir.

Bıçak motor devrinin 12 000 d/dk, olduğu pürüzlülük test sonuçları dikkate alındığında 2000 mm/dk besleme hızında ve 4.5 mm bıçak adımında Ra değeri 8,63 μm olarak en yüksek sonuç verirken, 1000 mm/dk besleme hızı ve 1,5 mm bıçak adımı 4,67 μm olarak en düşük değeri vermiştir. Rp değeri için 2000 mm/dk besleme hızı ve 4,5 mm bıçak adımı 25,87 μm ile en yüksek değeri sağlarken, 1000 mm/dk besleme hızı 1,5 mm bıçak adımı 11,78 μm ortalama ile en düşük değeri vermiştir. Rv değerine bakacak olursak 2000 mm/dk besleme hızı ve 3 mm bıçak adımıyla 50,84 μm değeriyle en yüksek sonuç verirken, 1000 mm/dk besleme hızı 1,5 mm bıçak adımıyla 35,43 μm değeriyle en düşük sonucu vermiştir.

Bıçak motor hızının 16 000 d/dk olduğu gruplarda ise en küçük ortalama pürüzlülük değeri 1000 mm/dk besleme hızında ve 1,5 mm bıçak adımıyla 4,55 μm olarak ölçüldüğü, en yüksek pürüzlülük değerinin ise 2000 mm/dk besleme hızında ve 4,5 mm bıçak adımıyla 7,62 μm olarak ölçüldüğü görülmektedir. En küçük R_p değeri 4,55 μm ve en küçük R_v değeri ise 11,20 μm olarak 1,5 mm bıçak adımı ve 1000 mm/dk besleme hızında ölçülmüştür. En büyük R_p değeri 22,40 μm ve R_v değeri ise 62,39 μm olarak 4,5 mm bıçak adımı ve 2000 mm/dk besleme hızında ölçülmüştür.

Tablo 2. Pürüzlülük Ve İşlem Süresine Ait Ortalama Değerler (Kaba, 2022)

Besleme hızı mm/dk	Bıçak adımı mm	Bıçak motoru devri (d/dk)											
		8000				12000				16000			
		R_a	R_p	R_v	Süre	R_a	R_p	R_v	Süre	R_a	R_p	R_v	Süre
			(μm)		(sn)		(μm)		(sn)		(μm)		(sn)
1000	1,5	6,71	17,20	49,12	113,8	4,67	11,78	35,43	113,6	4,55	11,20	34,04	113,5
	3,0	8,57	23,14	56,13	74,2	6,19	16,70	42,90	74,0	6,06	15,96	41,89	74
	4,5	7,43	23,47	45,32	60,8	5,69	17,18	36,63	61,0	5,79	16,30	38,84	60,8
1500	1,5	8,13	20,26	52,74	81,9	5,57	14,69	39,09	81,8	5,11	12,15	37,64	82
	3,0	9,36	26,09	54,47	55,6	7,06	19,64	45,43	55,8	5,82	15,79	38,49	55,5
	4,5	9,31	27,36	51,59	46,6	7,26	21,23	45,49	46,9	6,15	17,94	40,99	46,6
2000	1,5	7,30	16,85	47,89	66,6	6,86	16,89	45,17	66,6	6,07	14,74	43,03	66,3
	3,0	8,99	22,92	52,91	46,6	8,49	24,66	50,84	46,2	7,45	19,17	48,42	46,3
	4,5	10,53	29,77	54,70	39,8	8,63	25,87	50,18	39,8	7,62	22,40	62,39	39,7

Motor devri, bıçak adımı ve besleme hızının R_a , R_p ve R_v pürüzlülük değeri üzerine ve ayrıca işlem süresi üzerine etkisini gösteren ANOVA testi sonuçları aşağıda Tablo 3’de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde her üç faktörün de R_a , R_p ve R_v değeri üzerine etkisinin çok önemli ($P < 0.001$) olduğu görülmektedir (R_v değeri üzerine bıçak adımının etkisi hariç). Ayrıca, motor devri ve besleme hızı etkileşiminin de önemli ($P < 0.05$) bir faktör olduğu belirlenmiştir. Diğer etkileşimlerin önemsiz olduğu görülmektedir. Ayrıca, işlem süresi üzerine, motor devrinin etkisinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu (NS) ancak besleme hızı ve bıçak adımının etkisinin çok ileri düzeyde ($P < 0.001$) etkili olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, etkileşimler incelendiğinde sadece besleme hızı-bıçak adımı etkileşiminin işlem süresi üzerine etkili olduğu ($P < 0.001$) tespit edilmiştir.

Tablo 3. Pürüzlülük Parametreleri Ve Süre İçin ANOVA Testi F Değeri Ve Önem Düzeyi Verileri

Varyans Kaynağı	SD	R_a		R_p		R_v		Süre	
		F değeri	Önem düzeyi	F değeri	Önem düzeyi	F değeri	Önem düzeyi	F değeri	Önem düzeyi
Motor devri (MD)	2	64,0	0,000	79,44	0,000	10,6	0,000	2,469	0,087
Besleme hızı (BH)	2	33,5	0,000	36,20	0,000	8,0	0,000	128699	0,000
Bıçak adımı (BA)	2	29,5	0,000	82,42	0,000	3,7	0,027	193293	0,000
MD * BH	4	3,0	0,020	2,82	0,026	2,1	0,085	0,887	0,472
MD * BA	4	0,2	0,921	1,36	0,247	1,0	0,426	1,121	0,347
BH * BA	4	1,9	0,105	3,13	0,015	1,6	0,175	7746,3	0,000
MD*BH*BA	8	0,7	0,698	0,76	0,642	0,3	0,972	0,92	0,500

Tablo 4’de verilen Duncan testi sonuçlarına göre, motor devri yükseldikçe Ra değerinin de azaldığı tespit edilmiştir. Motor devri ile Ra değeri ters orantılıdır. Bulunan değerlere göre besleme hızı arttıkça Ra değeri de artmaktadır. Besleme hızı ile Ra değeri doğru orantılıdır. Ayrıca, bıçak adımı arttıkça Ra değeri de artmaktadır. Bıçak adımı ile Ra değeri arasında pozitif artan bir ilişki olduğu belirlenmiştir.

Tablo 4. Ra Değerine Etki Eden Motor Devri, Bıçak Adımı Ve Besleme Hızına Dair Duncan Testi Sonuçları

Bıçak Motor devri (dv/dk)			Besleme hızı (mm/dk)			Bıçak adımı (mm)		
	N	Ra (μm)		N	Ra (μm)		N	Ra (μm)
16000	90	6,06A	1000	90	6,18A	1,5	90	6,10A
12000	90	6,71B	1500	90	7,08B	3,0	90	7,55B
8000	90	8,48C	2000	90	7,99C	4,5	90	7,59B

Bıçak motor devri, bıçak adımı ve besleme hızının Rp değeri üzerine etkisine ilişkin gruplar arası farkları gösteren Duncan testi sonuçları Tablo 5’de verilmiştir. Bu sonuçlara göre motor devrinin azaldıkça ve besleme hızı ve bıçak adımı arttıkça Rp değerinin arttığı tespit edilmiştir. Rp değeri ile motor devri ters orantılı, ancak, besleme hızı ve bıçak adımı ile doğru orantılıdır.

Tablo 5. Rp Değerine Etki Eden Motor Devri, Bıçak Adımı Ve Besleme Hızına Dair Duncan Testi Sonuçları

Bıçak Motor devri (d/dk)			Besleme hızı (mm/dk)			Bıçak adımı (mm)		
	N	Rp		N	Rp		N	Rp
16000	90	16.18A	1000	90	16.98A	1,5	90	15.22A
12000	90	18.73B	1500	90	19.46B	3,0	90	20.65B
8000	90	23.62C	2000	90	22.09C	4,5	90	22.67C

Bıçak motoru devri, besleme hızı ve bıçak adımının Rv değeri üzerine etkisine ilişkin gruplar arası farklılıkları gösteren Duncan testi sonuçları aşağıdaki Tablo 6’da gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre bıçak motor devri azaldıkça, besleme hızı ve bıçak adımı arttıkça Rv değeri artış göstermektedir. Diğer bir deyişle bıçak motoru devri azaldıkça, besleme hızı arttıkça ve bıçak adımı büyüdükçe işlenen ceviz ağacı kerestesinin yüzeyi daha pürüzlü bir hale gelmektedir.

Tablo 6. Rv Değerine Etki Eden Motor Devri, Bıçak Adımı Ve Besleme Hızına Dair Duncan Testi Sonuçları

Bıçak Motor devri (d/dk)			Besleme hızı (mm/dk)			Bıçak adımı (mm)		
	N	Rv		N	Rv		N	Rv
16000	90	42,86A	1000	90	42,25A	1,5	90	42,68A
12000	90	43,46A	1500	90	45,10A	3,0	90	47,34B
8000	90	51,64B	2000	90	50,61B	4,5	90	47,94B

İşlem süresi üzerine etki eden değişkenlerin çoklu ayırım testi sonuçları Tablo 7’de verilmiştir. Tablo 7 incelendiğinde motor devrinin işlem süresi üzerine etkisine ilişkin çok küçük farklılıklar bulunmaktadır. Tablo incelendiğinde besleme hızı arttıkça işlem süresinin azaldığı belirgin bir şekilde tespit edilmiştir. Bu çizelgeye göre bıçak adımı miktarı arttıkça işlem süresinin istatistiksel olarak önemli derecede azaldığı da belirlenmiştir. Bu çalışma planlanırken, işlem süresi üzerine motor devrinin, etkileri olamayacağı ve bıçak adımı ve besleme hızının ise etkili olabileceği düşünülmüştür. Bu nedenle elde edilen işlem süresi sonuçları beklenen bir sonuçtur. Duncan testi sonuçlarına göre; bu çalışma kapsamında denemeleri yapılan 1.5, 3 ve 4.5 mm bıçak adımı miktarlarının işlem süresi gruplarının hepsi birbirlerinden farklı olmuştur.

Tablo 7. İşlem Süresine Etki Eden Motor Devri, Bıçak Adımı Ve Besleme Hızına Dair Duncan Testi Sonuçları

	Bıçak motoru devri (d/dk)		Besleme hızı (mm/dk)			Bıçak adımı (mm)		
	N	Süre	N	Süre	N	Süre		
8000	90	65,2A	1000	90	83,1A	1,5	90	87,3A
12000	90	65,1A	1500	90	61,4B	3,0	90	58,8B
16000	90	64,9A	2000	90	50,9C	4,5	90	48,9C

Tartışma

CNC makineleri ile yapılan önceki çalışmalarda genel olarak besleme hızı arttığında yüzey pürüzlülük değerlerinin arttığı, motor devrinin artırılmasıyla pürüzlülük değerlerinin azaldığı ve buna bağlı olarak yüzey kalitesinin iyileştiği belirlenmiştir (Davim 2009; Sütçü ve Karagöz 2012; Sofuoğlu 2015a-b; Bal 2018; Bal ve Akçakaya 2018; Bal ve Dumanoglu 2019; Aras ve Sofuoğlu 2021). Ayrıca, Demir vd., (2022) tarafından yapılan çalışmada mobilya sektöründe kullanılan kontrplak, MDF ve yongalevhanın yüzey pürüzlülüğünün CNC makinesi kesme parametrelerinin (bıçak çapı, bıçak motor devri ve besleme hızı) değişmesiyle nasıl değiştiği araştırılmıştır. Ancak, yapılan bu çalışmalar sonunda genel olarak besleme hızının düşük tutulması, motor devrinin yüksek tutulması ve bıçak adımının düşük tutulması önerilmiş ve bu şekilde oluşturulan kod dosyaları ile iyi bir yüzey elde edilebileceği belirtilmiştir. Bu şekilde oluşturulan kod dosyaları ile yapılan işlemler esnasında yüzey pürüzlülüğü düşük ve kaliteli bir yüzey olduğu yapılan bilimsel çalışmalarla ortaya konmuştur (Davim 2009; Karagöz 2010; Deus 2015; Sofuoğlu 2015a-b; Bal 2018; Bal ve Akçakaya 2018; Bal ve Dumanoglu 2019). Ancak, bu şekilde yapılan kodlamalar ile CNC makinelerinin harcadığı elektrik enerjisinin arttığı da belirlenmiştir (Akçakaya 2018; Bal ve Dumanoglu 2019; Dumanoglu ve Bal 2022). Yapılan bu çalışma ile elde edilen verilere göre; düşük besleme hızı ve küçük bıçak adımı ile yapılan kodlamalarda CNC makinesinde her bir parça için işlem süresi uzamaktadır. Her bir parça için harcanan işlem süresinin uzaması o üretimin yapıldığı fabrikadaki günlük üretim miktarını azaltmakta ve dolayısıyla kapasitenin azalmasına neden olmaktadır. Öte yandan, çok kısa işlem süresi elde edebilmek için yapılan kodlamalarda ise yüzey pürüzlülüğü artmakta ve işlenen malzemenin yüzey kalitesi bozulmaktadır. Bu nedenle, seri üretimin yapıldığı fabrikalarda, CNC makinalarının çalıştırılması için gerekli olan kod dosyalarının oluşturulmasında, hem yüzey kalitesi ve hem de işlem süresi göz önünde bulundurulması gereken en önemli iki kriterdir. Bu çalışma ile elde edilen veriler doğrultusunda işlem süresinin önemi ortaya konmuştur. Daha önce yapılan bir çalışmada (Bal ve Dumanoglu 2019) CNC makinesi ile işlenen ve MDF levhalardan hazırlanan gerçek ölçüdeki mutfak dolap kapakları ile ilgili olarak CNC makinesinin işlem yapma süresi belirlenmeye çalışılmış ve bu çalışmaya benzer sonuçlar rapor edilmiştir. Ancak, yapılan bu çalışmada kullanılan materyal masif ağaç malzemedir. MDF levhalar ile masif ağaç malzemenin özellikleri birbirlerinden farklıdır. CNC makinelerinde işlenen MDF levhalar, üst yüzey işlemi şeklinde bir işlem görmeden kullanıma arz edilmez. Bu levhaların yüzeyleri ya boyanır, ya da PVC ile kaplanır. Ancak, CNC makinesinde işlem gören ceviz ağacından elde edilen masif ağaç malzemelerin yüzeyleri üst yüzey işlemi olarak genellikle verniklendikten sonra kullanıma arz edilir. Her iki malzeme arasında bu bakımdan önemli farklar vardır. Sunulan bu çalışmaya, deneme deseni bakımından benzer bir çalışma Çakıroğlu vd., (2022) tarafından da yapılmıştır. Bu çalışmada, CNC makinesi ile işlemede ceviz ve dişbudak ağacı kerestesi kullanılmıştır. Kesme parametrelerinde; üç farklı kesici takım çapı (3 mm, 6 mm ve 8 mm), 3 farklı iş mili hızı (12000 rpm, 15000 rpm ve 18000 rpm) ve 3 farklı ilerleme hızı (3 m/dk, 6 m/dk ve 9 m/dk) kesme koşulları olarak denemeleri yapılmıştır. Bu çalışmada aynı zamanda, CNC işleminden hemen sonra ölçülen enerji tüketimi ve işlem süresi değerleri ile testlerden elde edilen yüzey pürüzlülüğü ve temas açısı değerleri kullanılarak yapay sinir ağı (YSA) analizleri gerçekleştirildi. Çalışma sonunda elde edilen verilere göre; çalışmada kullanılmayan ara kesme koşullarına karşılık gelen çıkış değerleri de başarılı bir şekilde tahmin edilmiştir. Tahmin edilen tüm gruplar arasında, ceviz ağacı kerestesi için en düzgün yüzeyi veren optimum kesici takım çapı 3 mm, bıçak motoru devri 18000 rpm ve besleme hızı 3,8 m/dk olarak belirlenmiştir. Bu çalışma ile bizim sunduğumuz çalışma arasında ki önemli farklılıklar ise şunlardır; bizim çalışmalarımızı yaptığımız CNC makinesi laboratuvar tipi bir makinedir. Makinenin konstrüksiyonu, çalışma sırasında titreşimi absorbe etmesi bakımından önemlidir. Bizim çalışmamızda Ra değeri haricinde Rp ve Rv değerleri de ölçülmüştür. Çalışmada kullanılan ceviz ağacı bünyesinde büyük çaplı traheler bulduran bir ağaç türüdür. Pürüzlülük ölçümlerinde bu traheler maalesef ortalama pürüzlülük değerini olumsuz etkilemektedir. CNC makinesi ile derin ya da sığ hangi derinlikte bir işleme yapılırsa yapılsın ceviz ağacı gibi geniş çaplı trahe bulduran ağaç türlerinin kerestelerinde bu traheler yüzey pürüzlülüğünü artırıcı rol oynamaktadır. Bu nedenle, bizim yaptığımız çalışmada Rv ve Rp değeri de ölçülmüştür. Tablo 5 ve Tablo 6'da verilen değerler incelendiğinde,

pürüzlülük ölçümü yapılan yüzeydeki kesme uzunluğu içerisindeki maksimum vadi ve tepe noktalarının ortalama değerler bakımında farklı olduğu ve R_v (maksimum vadi derinliği) değerinin R_p (maksimum tepe yüksekliği) değerinden çok daha fazla (yaklaşık 2 katı) olduğu rahatlıkla görülebilir.

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, CNC makinelerinde işlenen masif test örneklerinin motor hızı, besleme hızı ve bıçak adımının yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri araştırılmıştır. Elde edilen verilere göre şu sonuçlar söylenebilir; bıçak motor devri arttırıldıkça, yüzey kalitesinin iyileştiği belirlenmiştir. Besleme hızının azaltılması ile yüzey kalitesinin iyileştiği besleme hızının arttırılması ile de yüzey kalitesinin düştüğü ve yüzeyin daha pürüzlü hale geldiği tespit edilmiştir. Besleme hızı ile motor devrinin yüzey kalitesine etkisi ile ilgili elde edilen sonuçların önceki çalışmalarla uyumlu olduğu görülmüştür. Bıçak adımı miktarının artması ile yüzey pürüzlülüğünün arttığı ve işlenen masif test örneğinin yüzeyinin daha pürüzlü hale geldiği belirlenmiştir. Genel olarak besleme hızı arttırdığında yüzey pürüzlülük değerlerinin arttığı, ancak, işlem süresinin azaldığı tespit edilmiştir. Bıçak adımı miktarının artırılması ile yüzey pürüzlülüğünün arttığı ve yüzey kalitesinin kötü etkilendiği, ancak, bıçak adımının artması ile işlem süresinin kısaldığı belirlenmiştir.

CNC makinesi için hazırlanan kod dosyalarında, öncelikle en iyi kalitede yüzey mi elde edilmeye çalışılacağı ya da en kısa işlem süresinin mi hedefleneceğinin belirlenmesi önem arz etmektedir. Yapılan bu çalışma sonucunda önerimiz, kodlama yaparken her iki faktörün göz önünde bulundurulmasıdır.

Teşekkür

Bu çalışmada sunulan veriler Osman Kaba isimli yazarın yüksek lisans tezinden elde edilmiştir. Bu çalışma için herhangi bir kurumdan destek alınmamıştır.

KAYNAKLAR

- Akçakaya E., (2018). Lif levha yüzeylerinin CNC makineleri ile işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü üzerine takım yolu ayarlarının etkileri, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş.
- Aras, O. & Sofuoğlu, S. D. (2021). Anadolu kestanesi (*Castanea sativa* Mill.) ağaç türünün CNC ile işlenmesinde yüzey pürüzlülüğünün işleme parametreleri ile ilişkisi. *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 4 (2) , 114-125. <https://doi.org/10.33725/mamad.992157>
- 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. <https://doi.org/10.33725/mamad.427588>
- 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. <https://doi.org/10.33725/mamad.481278>
- Bal, B.C., & Dumanoğlu, F. (2019). Surface roughness and processing time of a medium density fiberboard cabinet door processed via CNC Router, and the Energy Consumption of the CNC Router, *BioResources*, 14(4); 9500-9508. <https://doi.org/10.15376/biores.14.4.9500-9508>
- Bal B.C., & Gündeş Z, (2020). Surface roughness of medium-density fiberboard processed with CNC machine, *Measurement*, 153 (2020), 107421. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.107421>
- Baykan, İ. (1996). Rendelenmiş ve zımparalanmış masif ağaç malzeme yüzeylerinde yüzey pürüzlülüklerine ilişkin araştırmalar, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Cutri, F., Maycock, K., & Parkin, R. (1991). Surface measurement of planed and moulded timber products, *Sensors and Actuators A: Physical*, 26(1-3), 433-437. [https://doi.org/10.1016/0924-4247\(91\)87027-Z](https://doi.org/10.1016/0924-4247(91)87027-Z)
- Çakıroğlu, E. O., Demir, A., Aydın, İ., & Büyüksarı, Ü. (2022). Prediction of optimum CNC cutting conditions using artificial neural network models for the best wood surface quality, low energy consumption, and Time Savings, *BioResources*, 17(2). 2501-2524, <https://doi.org/10.15376/biores.17.2.2501-2524>

- Davim, J. P., Clemente, V. C., & Silva, S. (2009). Surface roughness aspects in milling MDF (Medium Density FibreBoard), *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 40(1-2), 49-55. <https://doi.org/10.1007/s00170-007-1318-z>
- De Deus, P. R., de SampaioAlves, M. C., & Vieira, F. H. A. (2015). The quality of MDF work pieces machined in CNC milling machine in cutting speeds, feed rate, and depth of cut. *Meccanica*, 50(12), 2899-2906. <https://doi.org/10.1007/s11012-015-0187-z>
- Demir, A., Cakiroglu, E. O., & Aydin, I. (2022). Effects of CNC processing parameters on surface quality of wood-based panels used in furniture industry. *Wood Industry/Drvna Industrija*, 73(4), 363-371 <https://doi.org/10.5552/drvind.2022.2109>
- Dumanoğlu, F., & Bal BC, (2022). CNC makinesi ile işlenmiş lif levhaların yüzey pürüzlülüğü ve işlem süresi üzerine işleme parametrelerinin etkileri, *KSÜ-JES*, 25(4), 615-621. <https://doi.org/10.17780/ksujes.1144224>
- Kaba O., (2022). CNC makinesi kesme parametrelerinin ceviz odununun yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- 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., Hazir, E., & Öztürk, E. (2017). Effect of CNC application parameters on wooden surface quality, *Measurement* 107, 12-18. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.05.001>
- Mitchell, P., & Lemaster, R., (2002). Investigation of machine parameters on the surface quality in routing soft maple, *Forest Products Journal*, Sayı 52(6): s. 85-90.
- Örs, Y., & Baykan, İ., (1999). Masif ağaç malzemede rendeleme ve zımparalamanın yüzey pürüzlülüğüne etkileri, *Turkish J. of Agriculture and Forestry*, Sayı 23: s. 577-582.
- Singer, H., & Özşahin, Ş. (2022). Prioritization of factors affecting surface roughness of wood and wood-based materials in CNC machining: a fuzzy analytic hierarchy process model. *Wood Material Science & Engineering*, 17(2), 63-71. <https://doi.org/10.1080/17480272.2020.1778079>
- 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), s. 6797-6808. <https://doi.org/10.15376/biores.10.4.7772-7781>
- 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), s. 6797-6808, <https://doi.org/10.15376/biores.10.4.6797-6808>
- Sofuoğlu, S.D., (2016). Determination of optimal machining parameters of massive wooden edge-glued panels which is made of scots pine (*Pinus sylvestris* L.), using Taguchi Design Methods, *European Journal of Wood and Wood Pr.*, 75(2017), 33-42. <https://doi.org/10.1007/s00107-016-1028-z>
- Sütçü, A., & Karagöz, Ü., (2012). Effect of machining parameters on surface quality after face milling of MDF, *Wood Research*, 57 (2): 231-240.
- TS 2471, (1976). Odunda fiziksel ve mekanik deneyler için rutubet miktarı tayini. Türk Standartları Enstitüsü. Ankara.
- TS 2472. (1976). Odunda, fiziksel ve mekanik deneyler için birim hacim ağırlığı tayini. Türk Standartları Enstitüsü. Ankara.
- TS 971, (1988). Yüzey pürüzlülüğünün-parametreler ve pürüzlülük tespiti kuralları, TSE Standardı, Ankara.