

CNC Makineleri ile Ahşap Yüzeylerin Şekillendirilmesinde Çözünürlük ve Tolerans Değerlerinin Önemi*

The Importance of Resolution and Tolerance Values in the Shaping of Wood Surfaces with CNC Machines

 Tuncay BOSTAN¹,  Bekir Cihad BAL²

Özet

Bu çalışmanın amacı, CNC makineleri ile masif ahşap yüzeylerin şekillendirilmesinde çözünürlük ve tolerans değerlerinin etkisini belirlemektir. Önceki çalışmalarda, masif ahşap ve ahşap esaslı levhaların yüzeylerinin düz işlenmesinde oluşan yüzey pürüzlülüğü ve süre üzerine etki eden faktörler üzerine araştırmalar yapılmıştır. Önceki çalışmalarda ahşap yüzeylerin rölyef işlenmesinde çözünürlük ve toleransın etkisi ile ilgili herhangi bir çalışmaya ulaşılamamıştır. Denemelerde, 3 farklı tolerans değerinde ve 3 farklı çözünürlük değerinde çalışma planı oluşturulmuştur. CNC makinesi kesme parametreleri sabit tutulmuştur. Elde edilen verilere göre; çözünürlüğün artması ile genel olarak pürüzlülük değerinde (R_a) bir azalma olduğu belirlenmiştir. Fakat tolerans arttıkça yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmektedir. Çözünürlüğün süre ve enerji tüketimi üzerine çok fazla etki etmediği tespit edilmiştir. Toleransın ise enerji ve süreyi etkilediği ve tolerans arttıkça enerji tüketimi ve sürenin azaldığı tespit edilmiştir. Genel olarak, enerji tüketimi ve süre arttıkça yüzey pürüzlülüğünün azaldığı söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: CNC makinesi, mobilya, rölyef oymacılık

Abstract

The aim of this study is to determine the effect of resolution and tolerance values on the shaping of solid wood surfaces by CNC machines. In the previous studies, the surface roughness and the factors affecting the duration of the surface treatment of the solid wood and wood based boards were studied. In previous studies, there is no study on the effect of resolution and tolerance on the processing of wood surfaces. According to the data obtained, it is seen that there is a decrease in the roughness value (R_a) in general with the increase in resolution. However it is seen that the surface roughness also increases as the tolerance increases. It has been found that the resolution does not have much effect on processing time and energy consumption. It is determined that the tolerance affects the energy consumption and time, and the tolerance decreases as the energy consumption and duration decrease. In general, it can be said that the surface roughness decreased as energy consumption and time increased.

Keywords: CNC machines, furniture, relief carving

Geliş Tarihi: 14.09.2023, **Düzeltilme Tarihi:** 23.11.2023 **Kabul Tarihi:** 24.11.2023

Adres: ¹Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Bilimi ve Müh. ABD, Kahramanmaraş/Türkiye, ²Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Malzeme Bölümü

E-mail: bcbal@hotmail.com

*Bu çalışma, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda "CNC makineleri ile ahşap yüzeylerin şekillendirilmesinde çözünürlük ve tolerans değerlerinin önemi" isimli yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

1. Giriş

Mobilyaları estetik gösteren en önemli unsurlardan birisi yüzey süslemeleridir. Yüzey süslemeleri eski yöntemlerle yapıldığında çok uzun zaman almakta ve maliyeti yüksek olmaktadır. Teknolojik gelişmelerle beraber yüzey süslemeciliğinde el işçiliğinin yerini makineler almaya başlamıştır. Günümüzde yüzey süslemeciliğinde CNC makineleri kullanılmaktadır. CNC makinelerini doğru şekilde çalıştırabilmek için farklı takım yolu kodları oluşturulması gerekmektedir. Bunlar; bıçak motoru hızı, dalma hızı, besleme hızı, bıçak dalma miktarı, bıçak adımı, işleme metodu, işleme stratejisi vs. dir. Yapılan bu takım yolu ayarların değişmesi ile CNC makinelerinde işlenen parça için yüzey kalitesi ve işlem süresi değişmektedir.

Önceki çalışmalarda, ahşap veya ahşap esaslı malzemelerin yüzeylerinin düz (2 boyutlu) işlenmesi esnasında oluşan yüzey pürüzlülüğü ve süre üzerine etki eden faktörler üzerine çalışılmıştır. Örneğin; Mitchell ve Lemaster (2002) tarafından, Akçağaç odununun CNC makinesinde işlenmesi sırasında işleme parametrelerinin yüzey kalitesi üzerine etkisi araştırılmıştır. Elde edilen verilere; göre takım yolu stratejisinin etkisi göz önüne alındığında, düz yüzeylerde aynı yönlü işlemenin zıt yönlü işlemeye göre yüzey kalitesini iyileştirdiğini belirlemişlerdir. Kılıç ve Demirci (2003), kestane ve sarıçam ağacından hazırlanan test örnekleri üzerinde, ağaç türünün, testere diş sayısının ve besleme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri tespit edilmiş ve en düzgün yüzey sarıçamdan elde edilen test örneklerinde 40 dişli testere ile işlem gören gruplarda elde edilmiştir. Ohuchi ve Murase (2006), yapraklı ve ibreli ağaç türlerinden hazırlanmış masif panellerin CNC tezgâhlarda işlenmesin de uygulanan işleme parametrelerinin işlenen ağacın yüzeyinde oluşan pürüzlülüğe olan etkisini istatistiksel olarak değerlendirmişlerdir. Aydemir (2006), bıçakların yıpranması ve uygun kesici takım seçilmesi, işleme süresini ve maliyeti azaltması gibi sebepler dışında yüzey kalitesinin artması açısından da çok önemli olduğunu belirtmiştir. Efe ve Gürleyen (2007), sarıçam, meşe, akasya ve doğu kayını ağaç türleri, 2'li ve 4'lü kesici sayısı ile 4400 dev/dk, 6000 dev/dk, 7800 dev/dk, 10000 dev/dk'lık parametrelere bağlı olarak deneyler yapmışlardır. Elde edilen verilere göre; kesici sayısı, devir sayısı ve kesiş yönü etkileşimlerine bağlı en iyi sonucun sarıçam ağacından elde edildiğini belirtmişlerdir. Aknouche ve ark. (2009), tarafından yapılan çalışmada deney örneği olarak Halep çamı kullanmışlardır. Halep çamı ağacının CNC ile işlenmesi sırasında kesme kuvvetinin, kesici bıçağın aşınması üzerine etkisi araştırılmıştır. Yapılan bu çalışma sonucunda kesme kuvveti ile bıçak aşınması arasında bir ilişki olduğunu belirlemişlerdir. Davim ve ark. (2009), CNC

ile yapılan dik işlemede devir sayısının ve besleme hızının yüzey pürüzlülüğünü etkilediğini belirlemişlerdir. Düşük besleme hızında ve yüksek devirde yüzey kalitesinin arttığı gözlenmiştir. Sütçü ve Karagöz (2013) tarafından yapılan bir çalışmada, masif ahşap panellerin (kayın, kestane ve ceviz) üzerine yinyang modeli CNC ile işlenerek kesme genişliği, kesme derinliği, kesme yönü, besleme hızı ve bıçak motoru hızı gibi bazı takım yolu ayarlarının ahşap yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri incelenmiştir. Sofuoğlu (2015), yaptığı çalışmada, Avrupa karaçam ağacında taguchi yöntemini kullanarak belirlenen işleme parametrelerin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri araştırılarak optimum değerleri belirlemiştir. Bu çalışma sonucunda, devir hızı arttıkça R_a ve R_z değerlerinin iyileştiği, besleme hızının artmasıyla R_a ve R_z değerlerinin arttığı, takım yollarından offset işleme stratejisinin zigzag işleme stratejisine göre daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir. Çakıroğlu (2022) tarafından, kültürel mimari yapılardaki motiflerin modern yapılarda kullanılması alanında bir çalışma yapılmış ve bu çalışmada, bazı cami mobilya yüzeylerinin CNC makineleri kullanılarak işlenmesinde, farklı bıçak çapları ile farklı kesme ve besleme hızlarında işlenen yüzeylerin pürüzlülüğü, ıslanabilirliği ve makinenin enerji tüketimi belirlenmeye çalışılmıştır.

Yukarıda verilen masif ağaç malzemenin işlenmesi ile ilgili çalışmalar haricinde, ayrıca, CNC makineleri ile MDF levha yüzeylerinin işlenmesi esnasında işlem süresi üzerine (Bal 2018; Bal Dumanoglu 2019) ve MDF levhaların yüzey pürüzlülüğü üzerine (Bal ve Akçakaya 2018; Bal ve Gündeş 2019; Aras ve Sofuoğlu 2021) çalışmalar yapılmıştır.

Günümüzde CNC ile rölyef işleme (3 boyutlu) yapan iş yerlerinde yüzey pürüzlülüğü ve parçanın işlem süresinin bilinmesi de son derece önemlidir. Önceki çalışmalarda, CNC makineleri ile masif ahşap yüzeylerin şekillendirilmesinde çözünürlük ve tolerans değerlerinin önemi konusunda bir çalışmaya ulaşılamamıştır. Bu nedenle, bu çalışmanın temel amacı; CNC makineleri ile masif ahşap yüzeylerin rölyef olarak şekillendirilmesinde çözünürlük ve tolerans değerlerinin önemini belirlemektir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

Bu çalışmada, materyal olarak masif çam kerestesi kullanılmıştır. Masif çam kereste çalışmanın amacına uygun olarak, sarıçamdan (*Pinus sylvestris* L.) hazırlanmıştır. Kullanılan sarıçam kereste, Kahramanmaraş'ta faaliyet gösteren bir esnaftan satın alma yolu ile tedarik edilmiştir. Elde edilen kerestelerden test örnekleri 15 x 160 x 200 mm (kalınlık x

genişlik x uzunluk) ölçülerinde hazırlanmıştır. Bu örnekler 3 metre uzunluğundaki keresteden ard arda kesilen parçalar olarak hazırlanmıştır. Böylece homojen test grupları oluşturulmaya çalışılmıştır.

Çalışmada, test örneklerinin işlenmesinde kullanılan CNC makinesi özel üretim bir makinedir. CNC makinesinin maksimum hareket hızı 10 m/dk'dır. CNC makinesinin çalışması sırasında meydana gelen talaş tozlarını ortamdaki uzaklaştırmak için bir elektrikli süpürge ile bıçak etrafına vakum uygulanmıştır. CNC makinesi bilgisayar tarafından 'Mach3' programı aracılığı ile kontrol edilmiştir. Makinenin eksen hareketleri yüksek hassasiyetli servo motorlarla oluşturulmuştur. Makinenin genel görünümü Şekil 1'de verilmiştir.

Testlerin yapılması esnasında bıçakların körelmesinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini önleyebilmek için, her grup için bir bıçak kullanılmıştır. Çalışma da toplam 9 adet, karbür alaşımlı, 6 mm çapında, iki kanatlı düz uçlu bıçak kullanılmıştır. Bıçaklar Kahramanmaraş'ta faaliyet gösteren bir firmadan tedarik edilmiştir.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan CNC makinesi ve kontrol programı görüntüsü.

2.2. Metot

Pürüzlülük testlerinin yapılmasında, her deneme grubu için 10 tane deneme materyali hazırlanmıştır. Test örnekleri 15 x 160 x 200 mm ölçülerinde kesilmiştir. Her bir grup için 10 adet test örneği hazırlanmıştır. Toplamda 9 farklı deneme grubu oluşturulmuştur. Test örneklerinde 100 x 100 mm ölçüsünde bir alan CNC makinesinde 6 mm kesme derinliğinde işlem görmüştür. Merkezine 80 mm çapında bir daire oluşturulmuş (Şekil 2) ve bu daire rölyef işleme yöntemi ile üç boyutlu olarak işlenmiştir. Daha sonra bu işlem gören daire

alanın yüzey pürüzlülüğü 4 farklı noktasında Şekil 4’de görüldüğü gibi ölçülmüştür. Test verileri 2 yönlü ANOVA testi ile değerlendirilmiştir. Gruplar arasındaki farklılıklar Duncan testi ile belirlenmiştir.



Şekil 2. Rölyef olarak işlenmiş bir test örneği.

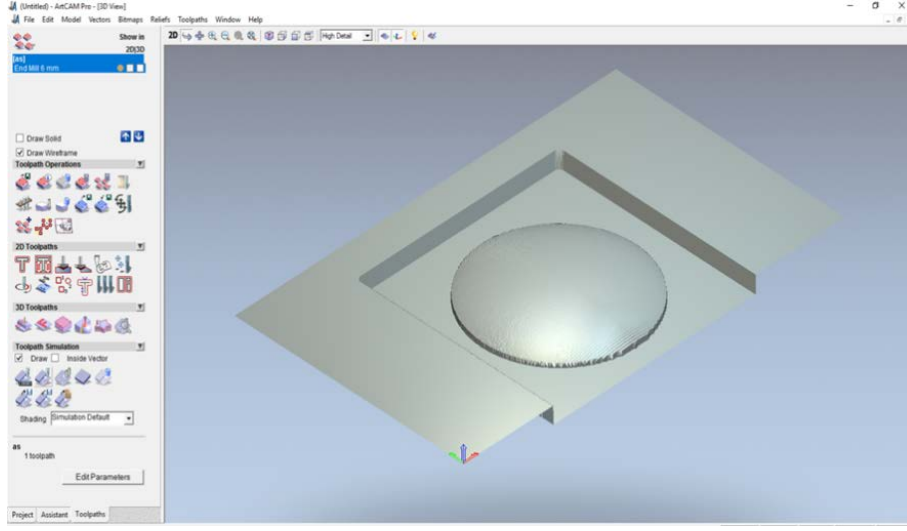
2.2.1. CNC makinası için kod dosyalarının oluşturulması

Test örneklerinin CNC makinesinde işlem görmesi için gerekli kod dosyası ArtCAM programında oluşturulmuştur. Oluşturulan G-kod dosyası Mach3 CNC kontrol programına aktarılmış ve makine bu program ile çalıştırılmıştır. Oluşturulan modelin simülasyonu Şekil 3’de verilmiştir. CNC makinesinin bıçak motor devri 12000 d/dk, besleme hızı 1 m/dk, bıçak adımı %10, güvenli Z yüksekliği 10 mm, işleme stratejisi composite relief, raster in X olarak ayarlanmıştır. Kesme derinliği 6 mm olan rölyef işleme kod dosyası oluşturulmuştur.

Denemeler 3 farklı çözünürlükte (400 x 400, 2004 x 2004 ve 4000 x 4000 piksel) ve 3 farklı tolerans değerinde (0.01, 0.1 ve 1) olmak üzere toplam 9 grupta yapılmıştır. Çözünürlük değerleri modelin çözünürlük değerini göstermektedir.

Çözünürlük değeri, üç boyutlu işleme yöntemi kullanılarak kod dosyası oluşturulurken özellikle, eğik şekillerin oluşturulması esnasında, eğik yüzeyi veya kenarı oluşturmak için kaç adet koordinat noktası oluşturulacağını belirlemektedir. Minimum çözünürlükte bu koordinat noktaları sayısı en az üç olmaktadır. Çözünürlük değeri artırıldıkça eğik kenarı oluşturmak için daha fazla sayıda koordinat noktası oluşturulmakta ve bu yüzey veya kenar daha düzgün görünmektedir. Tolerans değeri ise, şekli işlemek için oluşturulan takım yolunun, oluşturulan Bezier eğrilerine ne kadar yakından geçeceğini belirlemek için kullanılan bir değerdir. Tolerans değeri küçüldükçe takım yolu Bezier eğrilerine çok daha

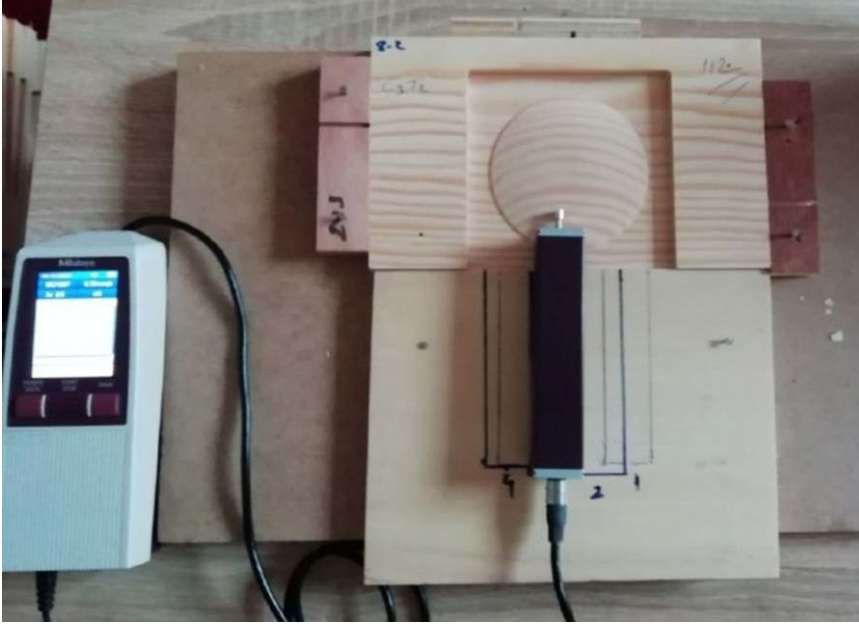
yakın geçer. Çözünürlük değeri büyüdükçe ve tolerans değeri küçüldükçe bilgisayarın yaptığı işlem sayısı artmaktadır.



Şekil 3. ArtCAM programında test örneği simülasyonu.

2.2.2. Pürüzlülük değerlerinin belirlenmesi

Pürüzlülük ölçümlerinde Mitutoyo surfest SJ-210 (Kanagawa-Japan) model cihaz kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülük ölçümlerinde R_a ortalama pürüzlülük parametresi hesaplanmıştır. Bu parametre, TS 971'e göre; numune uzunluğu içerisinde profil sapmaları mutlak değerinin aritmetik ortalaması olarak tanımlanmıştır. Yüzey pürüzlülük ölçümleri her bir test örneğinde farklı noktalarda 4 defa yapılmıştır. Ölçümler TS 971'e göre yapılmıştır. Bu dört değer ortalaması hesaplanmış ve çizelgelerde gösterilmiştir. Ölçümler test örneğinin üzerinde işleme yönüne dik bir doğrultuda yapılmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Mitutoyo SJ-210 model pürüzlülük ölçüm cihazı ve test örneği.

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada elde edilen pürüzlülük (R_a), enerji tüketimi (ET) ve işlem süresine (İS) ait veriler Çizelge 1’de gösterilmiştir. Çizelgede ki veriler incelendiğinde, çözünürlüğün artması ile genel olarak pürüzlülük değerlerinde bir azalma olduğu görülmektedir. Fakat tolerans arttıkça yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmektedir. Çözünürlüğün süre ve enerji tüketimi üzerine çok fazla etki etmediği, toleransın ise enerji ve süre üzerine etki ettiği ve tolerans azaldıkça enerji tüketimi ve süreninde arttığı tespit edilmiştir. Genel olarak enerji tüketimi ve süre arttıkça yüzey pürüzlülüğünün azaldığı tespit edilmiştir. Bir başka deyişle, pürüzlülük değerleri ile tolerans değerleri arasında doğru orantılı bir ilişki ve pürüzlülük değerleri ile çözünürlük arasında ters orantılı bir ilişki olduğu görülmektedir.

Çizelge 1. Pürüzlülük, enerji tüketimi ve işlem süresine ait bulgular (Bostan, 2019).

Tolerans	Çözünürlük								
	400x400 piksel			2004x2004 piksel			4000x4000 piksel		
	R_a	ET	İS	R_a	ET	İS	R_a	ET	İS
%	μm	Wh	sn	μm	Wh	sn	μm	Wh	sn
1	11.7*	73.6	1030	10.4	72.1	1032	10.4	72.6	1032
	<i>1.1**</i>	<i>0.5</i>	<i>0.52</i>	<i>1.1</i>	<i>0.7</i>	<i>0.52</i>	<i>1.5</i>	<i>0.5</i>	<i>0.53</i>
0.1	9.3	73.1	1044	8.4	73.6	1045	7.9	74.9	1045
	<i>0.7</i>	<i>0.3</i>	<i>0.42</i>	<i>1.4</i>	<i>0.5</i>	<i>0.42</i>	<i>0.6</i>	<i>0.6</i>	<i>0.32</i>
0.01	9.3	72.6	1044	7.7	73.5	1047	7.2	73.2	1047
	<i>0.7</i>	<i>0.5</i>	<i>0.32</i>	<i>0.4</i>	<i>0.7</i>	<i>0.42</i>	<i>0.8</i>	<i>0.6</i>	<i>0.53</i>

R_a : Pürüzlülük, ET: Enerji tüketimi, İS: İşlem süresi,
*: Aritmetik ortalamalar koyu, **: Standart sapmalar italik formda verilmiştir.

Test örnekleri üzerinde yapılan denemeler sonunda elde edilen çözünürlük ve tolerans ile ilgili veriler ANOVA testi ile değerlendirilmiş ve sonuçlar Çizelge 2’de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde, Toleransın R_a değeri üzerine etkisinin çok önemli olduğu ($P<0.001$) görülmektedir. Çözünürlüğün etkisinin de çok önemli ($P<0.001$) olduğu belirlenmiştir. Her iki faktörün etkileşiminin ise önemsiz ($P>0.05$) olduğu belirlenmiştir. Çizelgede ayrıca etki boyutu (PES) değerleri de verilmiştir. Bu etki boyutu sonuçlarına göre, CNC makinesinde R_a üzerine en fazla etkili olan faktörün 0.618 değeri ile tolerans faktörü olduğu görülmektedir. Çözünürlüğün etki boyutu ise 0.359 olarak görünmektedir. Çözünürlük ve toleransın etkileşiminin etki boyutu ise 0.034 olarak ölçülmüştür.

Çizelge 2. R_a değeri üzerine çözünürlük ve toleransın etkisini gösteren ANOVA testi.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F Değeri	Önem Düzeyi	Etki Boyutu (PES)
Çözünürlük (Ç)	45.109	2	22.554	22.439	0.000	0.359
Tolerans (T)	129.853	2	64.926	64.595	0.000	0.618
Ç * T	2.854	4	0.713	0.710	0.588	0.034
$R^2 = 0.691$						

Çözünürlük ve tolerans faktörünün R_a değeri üzerine etkisine ilişkin gruplar arası farkları gösteren Duncan testi sonuçları Çizelge 3’de verilmiştir. Bu sonuçlara göre orta ve en yüksek çözünürlük grupları arası bir farklılığın olmadığı, en düşük çözünürlük grubunun ise diğer gruplara göre farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. En düşük R_a değeri (grup ortalamaları) 8.5 μm olarak en büyük çözünürlüğe ait grupta elde edilmiştir. En yüksek R_a değeri ise 10.2 μm olarak en küçük çözünürlüğe ait gruplarda görülmektedir. Tolerans faktörünün R_a değeri üzerine etkisine ilişkin gruplar arası farkları gösteren Duncan testi sonuçlarına göre her üç tolerans grubunda da farklılık olduğu görülmektedir. En düşük R_a değeri (grup ortalamaları) 8.1 μm olarak en düşük toleransa ait grupta elde edilmiştir. En yüksek R_a değeri ise 10.8 μm olarak en yüksek toleransa ait gruplarda görülmüştür.

Çizelge 3. Pürüzlülük üzerine çözünürlük ve toleransın etkisine dair Duncan testi sonuçları.

Çözünürlük (Piksel)	Adet (N)	R_a (μm)	HG	Tolerans (%)	Adet (N)	R_a (μm)	HG
400x400	30	10.2	B**	0.01	30	8.1	A*
2004x2004	30	8.8	A*	0.1	30	8.5	B
4000x4000	30	8.5	A	1	30	10.8	C**
<i>HG</i> : Homojenlik grubu, *: En büyük değer, **: En küçük değer							

Çözünürlük ve tolerans faktörlerinin enerji tüketimi üzerine etkisini gösteren ANOVA testi sonuçları Çizelge 4’de gösterilmiştir. Elde edilen verilere göre, çözünürlük ve tolerans faktörünün enerji tüketimi üzerine etkisi çok ileri düzeyde önemli olarak ($P<0.001$) belirlenmiştir. Çözünürlük ve toleransın etki boyutu değerleri incelendiğinde ise

çözünürlüğün etki boyutu 0.151 olduğu, tolerans faktörünün etki boyutu ise 0.420 olarak belirlenmiştir. Bu etki boyutu değerlerine göre, enerji tüketimi değeri üzerine, tolerans faktörünün etkisi çözünürlük değerinin etkisine göre daha yüksektir. Çözünürlük ve tolerans faktörlerinin beraber etkisine baktığımızda ise 0.519 olarak daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, ölçülen R^2 belirtme katsayısı değeri 0.66 olarak hesaplanmış ve çizelgenin altında verilmiştir. Bu değere göre; enerji tüketimi üzerine çözünürlük ve tolerans faktörlerinin etkisi %66'dır.

Çizelge 4. Enerji tüketimi üzerine çözünürlük ve toleransın etkisini gösteren ANOVA testi.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F Değeri	Önem Düzeyi	Etki Boyutu (PES)
Çözünürlük (Ç)	4.689	2	2.344	7.193	0.001	0.151
Tolerans (T)	19.089	2	9.544	29.284	0.000	0.420
Ç*T	28.444	4	7.111	21.818	0.000	0.519
$R^2 = 0.66$						

Çözünürlük faktörünün enerji tüketimi değeri üzerine etkisine ilişkin gruplar arası farkları gösteren Duncan testi sonuçları Çizelge 5’de verilmiştir. Bu sonuçlara göre en düşük ve orta çözünürlük grupları arası bir farklılığın olmadığı, en yüksek pikseldeki grubun ise diğer gruplara göre farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. En düşük enerji tüketimi değeri (grup ortalamaları) 73.1 Wh olarak en düşük çözünürlüğe ait grupta elde edilmiştir. En yüksek enerji tüketimi değeri ise 73.5 Wh olarak en yüksek çözünürlüğe ait gruplarda belirlenmiştir. Tolerans faktörünün enerji tüketimi değeri üzerine etkisine ilişkin gruplar arası farkları gösteren Duncan testi sonuçlarına göre en düşük ve orta tolerans grupları arası bir farklılığın olmadığı, en yüksek tolerans grubunun ise diğer gruplara göre farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. En düşük enerji tüketimi değeri (grup ortalamaları) 72.7 Wh olarak en düşük toleransa ait grupta elde edilmiştir. En yüksek enerji tüketimi değeri ise 73.8 Wh olarak orta toleransa ait gruplarda belirlenmiştir.

Çizelge 5. Enerji tüketimi üzerine çözünürlük ve toleransın etkisine dair Duncan testi.

Çözünürlük (Piksel)	Adet (N)	ET (Wh)	HG	Tolerans (%)	Adet (N)	ET (Wh)	HG
400x400	30	73.1	B	0.01	30	73.1	A
2004x2004	30	73.06	B**	0.1	30	73.8	A*
4000x4000	30	73.5	A*	1	30	72.7	B**
<i>HG</i> : Homojenlik grubu, *: En büyük değer, **: En küçük değer							

Çözünürlük ve tolerans faktörlerinin işlem süresi üzerine etkisini gösteren ANOVA testi sonuçları Çizelge 6’de gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, çözünürlük ve tolerans faktörünün işlem süresi üzerine etkisi çok ileri düzeyde önemli olarak ($P < 0.001$)

belirlenmiştir. Çözünürlük ve toleransın etki boyutu değerleri incelendiğinde ise çözünürlüğün etki boyutu 0.790 olduğu, tolerans faktörünün etki boyutuna baktığımızda ise 0.996, olarak belirlenmiştir. Bu etki boyutu değerlerine göre, işleme süresi üzerine, tolerans faktörünün etkisi çözünürlük değerinin etkisine göre daha yüksektir. Çözünürlük ve tolerans faktörlerinin beraber etkisine baktığımızda ise 0.385 olarak belirtilmiştir. Ayrıca, ölçülen R^2 belirtme katsayısı değeri 0.99 olarak hesaplanmış ve çizelgenin altında verilmiştir. Bu değere göre işlem süresi, %99 oranında çözünürlük ve tolerans faktörlerinden etkilenmektedir.

Çizelge 6. İşlem süresi üzerine çözünürlük ve toleransın etkisini gösteren ANOVA testi.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F Değeri	Önem Düzeyi	Etki Boyutu (PES)
Çözünürlük (Ç)	61.667	2	30.833	152.287	0.000	0.790
Tolerans (T)	3964.067	2	1982.033	9789.311	0.000	0.996
Ç*T	10.267	4	2.567	12.677	0.000	0.385
$R^2 = 0.99$						

Çözünürlük faktörünün işlem süresi üzerine etkisine ilişkin gruplar arası farkları gösteren Duncan testi sonuçları Çizelge 7’de verilmiştir. Bu sonuçlara göre en düşük ve orta piksel grupları arası bir farklılığın olmadığı, en yüksek pikseldeki grubun ise diğer gruplara göre farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. En düşük işleme süresi değeri (grup ortalamaları) 1039 sn olarak en yüksek çözünürlüğe ait grupta elde edilmiştir. En yüksek işlem süresi değeri ise 1041 sn olarak en düşük ve orta çözünürlüğe ait gruplarda görülmüştür. Tolerans faktörünün işleme süresi üzerine etkisine ilişkin gruplar arası farkları gösteren Duncan testi sonuçlarına göre üç tolerans grubu arasında farklılık olduğu görülmektedir. En düşük işleme süresi değeri (grup ortalamaları) 1031 sn olarak en yüksek çözünürlüğe ait grupta elde edilmiştir. En yüksek işlem süresi değeri ise 1045 sn olarak en düşük ve orta çözünürlüğe ait gruplarda görülmüştür.

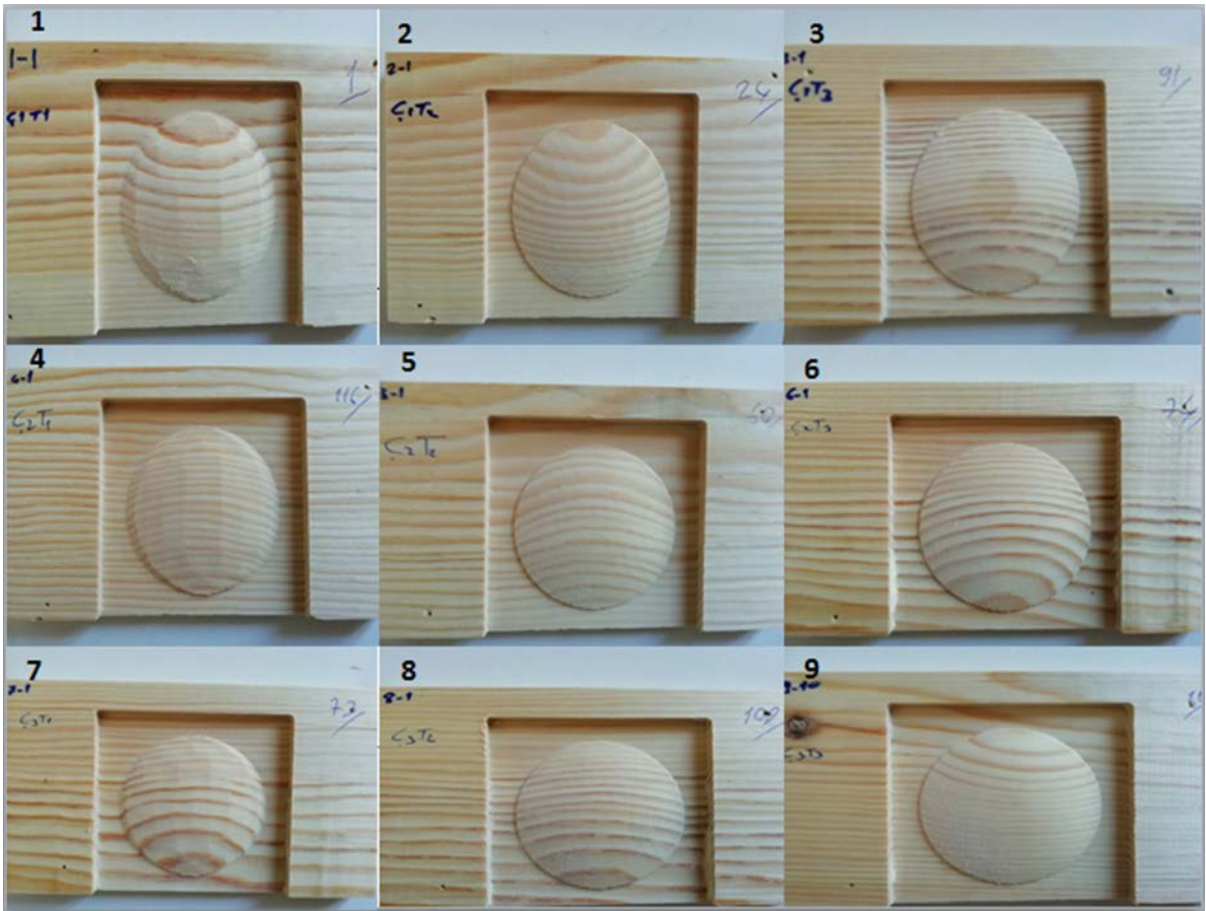
Çizelge 7. İşleme süresi üzerine çözünürlük ve toleransın etkisine dair Duncan testi.

Çözünürlük (Piksel)	Adet (N)	Süre (sn)	HG	Tolerans (%)	Adet (N)	Süre (sn)	HG
400x400	30	1039 A	A*	0.01	30	1045	A*
2004x2004	30	1041 B	B**	0.1	30	1044	B
4000x4000	30	1041 B	B**	1	30	1031	C**
<i>HG</i> : Homojenlik grubu, *: En büyük değer, **: En küçük değer							

Test Örneklerinin Görsel Muayene Sonuçları

Her gruptan bir test örneğinin CNC makinesinde işlenmesinden sonraki görüntüsü aşağıda Şekil 5’de verilmiştir. Çıplak gözle yapılan görsel muayene sonunda test örneklerinin işlenen yüzeylerinde yüzey pürüzlülüğü bakımından çok kolay ayırt

edilebilecek bir farklılık olduğu görülmektedir. Pürüzlülük (R_a) sonuçlarına göre en kötü yüzeylerin çözünürlüğü en düşük ve toleransı en büyük olarak işlenen test örneklerinden elde edildiği önceki bölümlerde verilmiştir. Bu yüzey pürüzlülüğü farklılıkları çıplak gözle de çok kolay ayırt edilmektedir. Çıplak gözle de görüleceği gibi düşük çözünürlük ve yüksek tolerans değerlerinde işlenen parçaların yüzeylerinde şekil bozuklukları görülmektedir. Bu düzensiz kısımlar özellikle tolerans değerinin 1 olarak ayarlandığı test örneklerinde çok daha belirgindir. Diğer tolerans değerlerine ait (0.1 ve 0.01) test örnekleri arasında çıplak gözle ayırt edilebilecek çok belirgin bir farklılık bulunmamaktadır. Yüzey pürüzlülük ölçümlerinde küçük farklar ölçülmüştür. Ancak, görsel muayenede çok belirgin fark belirlenmemiştir. Çözünürlük değerinin farklı ayarlandığı (400 x 400, 2004 x 2004 ve 4000 x 4000) gruplar arasındaki görsel muayene sonucunda belirgin bir farklılık tespit edilememiştir. Diğer parametrelerin aynı olduğu ve sadece çözünürlük değerinin farklı olduğu gruplara ait test örnekleri arasında (1, 4 ve 7 veya 2, 5 ve 8 veya 3, 6 ve 9) çok belirgin bir farklılık bulunmamaktadır.



Şekil 5. Her gruptan bir test örneğinin görüntüsü.

Yapılan bu çalışma sonucunda tolerans ve çözünürlük değerlerinin farklı seviyelerde ayarlanması ile yüzey pürüzlülük değerlerinin, CNC makinesinin harcadığı enerji miktarının ve her bir iş parçası için işlem süresinin nasıl etkilendiği belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışma planlanırken özellikle en düşük seviyeler ile en büyük seviyeler arasında, enerji tüketimi ve işlem süresinin çok fazla farklılık göstereceği ön görülmüştür. Özellikle, ArtCAM programında oluşturulan Gkod dosyalarının büyüklükleri göz önüne alındığında önemli farklılıklar vardır. Bu kadar önemli farklılıklar olmasına rağmen. Elde edilen veriler arasındaki farklılıklar ön görülden çok daha düşük gerçekleşmiştir. Ancak, elde edilen sonuçların çalışılan konuya pozitif katkısı vardır. Tolerans değerinin küçük ve çözünürlük değerinin büyük ayarlanması pürüzlülük değerlerini çok olumlu etkilemektedir. Elektrik tüketimi ve işlem süresini ise negatif etkilememektedir.

4. Sonuçlar

CNC makinesinde işleme sürecinde kullanılan parametreler işlenen yüzeyin kalitesini doğrudan etkilemektedir. Bu kapsamda en uygun sürede kabul edilebilir yüzey kalitesi düzeyini sağlayan işleme parametrelerinin bilinmesi CNC işleme için verimlilik, üretim ve maliyetin belirlenmesi açısından çok önemlidir. Bu çalışmada, CNC makineleri ile ahşap yüzeylerin şekillendirilmesinde çözünürlük ve tolerans değerlerinin önemi araştırılmıştır. Elde edilen verilere göre şu sonuçlar söylenebilir; çözünürlüğün artması ile genel olarak pürüzlülük değerlerinde (R_a) bir azalma olduğu görülmektedir. Fakat tolerans arttıkça yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmektedir. Çözünürlüğün süre ve enerji tüketimi üzerine çok fazla etki etmediği toleransın ise enerji ve süre üzerine etki ettiği ve tolerans azaldıkça enerji tüketimi ve süreninde arttığı tespit edilmiştir. Genel olarak enerji tüketimi ve süre arttıkça yüzey pürüzlülüğünün azaldığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak, çözünürlük ve toleransa ait bulguları değerlendirdiğimizde, çözünürlüğün işlem süresi üzerinde ileri düzeyde önemli etkisi olmadığı, fakat yüzey kalitesinin belirlenmesinde etkili olduğu görülmüştür. Çözünürlüğün artması ile yüzey kalitesinin iyileştiği, tolerans değerinin azalması ile de yüzey kalitesinin iyileştiği aynı zamanda işlem süresinin arttığı tespit edilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Başkanlığı tarafından 2017/2-32 YLS numaralı proje ile desteklenmiştir. Bu desteğinden dolayı KSÜ BAP birimine teşekkür ederiz. Bu çalışmada sunulan veriler, Tuncay Bostan isimli yazarın yüksek lisans tezinden alınmıştır.

Kaynaklar

- Aknouche, H., Nouveau, C., Marchal, R., Zerizer, A., & Butaud, J. (2009). Tool wear effect on cutting forces: in routing process of Aleppo pine wood, *Journal of Materials Processing Technology*, 209, 2918-2922.
- Aras, O. ve Sofuoğlu, S. D. (2021). Anadolu kestanesi (*Castenia sativa* Mill.) ağaç türünün CNC ile işlenmesinde yüzey pürüzlülüğünün işleme parametreleri ile ilişkisi. *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 4(2), 114-125.
- Bal, B.C. (2018). CNC makinelerinin bazı ayarlarının parça işleme süresi ve lif levhannın 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.
- 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.
- Bal, B.C., & Gündeş, Z. (2020). Surface roughness of medium-density fiberboard processed with CNC machine, *Measurement*, 153(2020), 107421.
- Bostan, T. (2019). 'CNC makineleri ile ahşap yüzeylerin şekillendirilmesinde çözünürlük ve tolerans değerlerinin önemi,' Yüksek Lisans tezi, Kahramanmaraş Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Aydemir, A. O. (2006). 'Torna ve freze tezgâhlarında bilgisayar destekli kesici takım seçimi.' Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 94.s.
- Çakıroğlu, O.E. (2022). 'Tarihi ve kültürel mimari yapılardaki motiflerin CNC ahşap işleme olanakları kullanılarak modern yapılarda uygulanması: Amasya Mehmet paşa camii örneği,' Doktora Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Düzce.

- Davim, J., Clemente, V., & Silva, S. (2009). Surface roughness aspects in milling MDF (medium density fibreboard), *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 40(1-2), 49-55.
- Efe, H., ve Gürleyen, L. (2007). Rendeleme işleminde kesiş yönü, kesici sayısı ve devir sayısının bazı ağaç malzemelerin yüzey düzgünlüğüne etkileri, *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 1-15.
- Kılıç, Y., ve Demirci, S. (2003). Sarıçam ve kereste odunlarının yüzey pürüzlülük değerlerinin araştırılması. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 16(3), 553-558.
- Mitchell, P., & Lemaster, R. (2002). Investigation of Machine Parameters on The Surface Qualityin Routing Soft Maple, *Forest Products Journal* 52(6), 85-90.
- Ohuchi, T., & Murase, Y. (2006). Milling of Wood and Wood-Based Material Swith a Computerized Numerically Controlled Router V: Development of Adaptive Control Grooving System Corresponding to Progression of Tool Wear, *Journal of Wood Science*, 52, 395-400.
- Sofoglu, S. (2015). 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), 7772-7781.
- Sütçü, A., ve Karagöz, Ü. (2013). The İnfluence of Process Parameters on The Surface Roughness in a Esthetic Machining of Wooden Edge-Glued Panels (EGPs), *BioResources*, 8(4), 5435-5448.
- TS 971, Yüzey pürüzlülüğünün–parametreler ve pürüzlülük tespiti kuralları, TSE Standardı, Ankara, 1988.