



AISI 304 paslanmaz çelik talaşlı şekil verme işlemlerinde yüzey pürüzlülüğü ve güç tüketimini azaltmaya yönelik istatistiksel yaklaşım

Statistical approach to reducing the surface roughness and power consumption in machining of AISI 304 stainless steel

Mehmet Safa Bodur^{1,*} 

¹ Yeditepe Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Mühendisliği Bölümü, 34755, İstanbul, Türkiye

Öz

İmalat sanayinde talaşlı şekil verme tekniği önemli bir yer tutmaktadır. Plastik şekil verme, döküm ve birleştirme teknikleri gibi geleneksel şekillendirme tekniklerinden farklı olarak, talaşlı şekil vermede iyi bir yüzey kalitesi elde etmek kritiktir. Yüzey kalitesinin yanı sıra düşük maliyetler ile işleme gereksinimi nedeniyle güç tüketimi, işleme maliyetlerinde önemli bir kalem olarak karşımıza çıkmaktadır. Hem yüzey kalitesi hem de güç tüketimi talaşlı işleme esnasında birçok parametreden etkilenebilir. Bu doğrultuda ideal parametre ve seviyelerde talaşlı imalat yapabilmek önemlidir. Çalışmada, birçok uygulama alanına sahip AISI -304 paslanmaz çeliğin soğutma sıvısı kullanıldığı şartlar altında tornalanması esnasında ilerleme miktarı (F), kesme hızı (V_c) ve paso miktarının (d) yüzey pürüzlülüğü ve güç tüketimi açısından farklı seviyelerdeki etkisi istatistiksel analizler kullanılarak incelenmiştir. Aynı zamanda matematiksel modeller oluşturularak deneysel veriler ile sonuçlar kıyaslanmıştır. Yürütülen deneysel ve istatistiksel yaklaşımlar bize ilerleme miktarının yüzey kalitesi açısından çok etkili olduğunu ve güç tüketimi açısından ise her üç parametrenin de önemli olduğunu göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Optimizasyon, Tornalama, AISI 304 paslanmaz çelik, İstatistiksel yaklaşım

1 Giriş

Geçmişten günümüze birçok çalışmaya konu olmuş talaş kaldırma işlemleri neredeyse tüm ürünlerin imalat süreçlerinde tercih edilmektedir. [1, 2]. Tornalama, frezeleme, delik delme, borlama gibi iş parçasından malzeme kaldırarak şekillendirme yapılan birçok geleneksel yöntem yıllardır kullanılmaktadır. Bahsi geçen talaş kaldırma teknikleri arasında tornalama işlemi düşük maliyetlerin ve yüksek üretim hızlarının öncelikli olduğu imalat endüstrisinde önemli bir yer almaktadır [3]. Oldukça rekabetçi bir ortama sahip olan imalat endüstrisinde iş parçalarının uygun işlem parametreleriyle işlenmesi oldukça önem arz etmektedir. Dolayısıyla imalat endüstrisinin bu ihtiyacına yönelik olarak akademik çevreler çalışmalarında talaşlı şekil verme işlemlerinde en ideal işlem parametrelerini bulmaya odaklanmışlardır. Tornalama işlemi genel olarak silindirik iş parçalarının çaplarını

Abstract

Machining technique has an important place in the manufacturing industry. Unlike traditional forming techniques such as plastic forming, casting and welding techniques, it is critical to achieve relatively better surface quality in machining. In addition to surface quality, power consumption is an important concern in processing costs due to the need for processing with low costs. Both surface quality and power consumption can be affected by many parameters during machining. In this direction, it is important to be able to produce machining at ideal parameters and levels. In this study, the effects of feed rate (F), cutting speed (V_c) and depth of cut (d) at different levels during turning of AISI -304 stainless steel, which has many application areas, under the conditions of using coolant, were investigated using statistical analyzes. At the same time, mathematical models were created and results were compared with experimental data. Experimental and statistical approaches have shown us that the feed rate is very effective in terms of surface quality while all three parameters are important in terms of power consumption.

Keywords: Optimization, Turning, AISI 304 stainless steel, Statistical approach

düşürmek, istenilen boyutlara ulaştırmak ve iyi bir yüzey kalitesine sahip olmalarını sağlamak amacıyla yapılmaktadır. Talaşlı şekil verme işlemlerinde iyi bir yüzey kalitesi daima aranmaktadır. Genel anlamda yüzey kalitesini etkileyen üç ana etki vardır. Bu faktörler, ilerleme miktarı (F), kesme hızı (V_c) ve kesme derinliği / paso miktarı' dır (d).

Literatürde farklı malzemelerin talaşlı şekillendirilmesine ve optimizasyonuna yönelik olarak birçok çalışma yürütülmektedir. Kaladhar ve arkadaşları AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin tornalanması ve ideal parametrelerin talaş kaldırma miktarı açısından belirlenmesine yönelik çalışmayı yürütmüşlerdir. Sonuçlar paso ve ilerleme miktarının en etkin parametreler olduğunu göstermiştir [4]. AISI 304 paslanmaz çeliği üzerine yapılan bir diğer çalışmada ise farklı kesme sıvılarının takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri incelenmiştir. Anthony ve arkadaşlarının yürüttüğü çalışmadaki ANOVA

* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: mehmet.bodur@yeditepe.edu.tr (M. S. Bodur)
Geliş / Received: 07.01.2022 Kabul / Accepted: 02.02.2022 Yayımlanma / Published: 15.04.2022
doi: 10.28948/ngumuh.1054913

analizleri, yüzey pürüzlülüğü üzerine en etkili parametrenin %61 katkı oranı ile ilerleme miktarının olduğunu göstermiştir. Ayrıca takım aşınması açısından ise %46 katkı oranı ile kesme hızının etkisinin en yüksek olduğu anlaşılmıştır [5]. 2011 yılında Aouici ve arkadaşları, AISI H 11 çeliğinin tormalanması sırasında takım aşınmasının ve yüzey pürüzlülüğünün farklı parametrelerden nasıl etkilendiğini incelemişlerdir. Çalışmada, ilerleme miktarını yüzey pürüzlülüğü üzerinde oldukça etkili olduğu anlaşılmıştır [6]. Şahin ve arkadaşlarının ilerleme miktarının AISI 1050 çeliğinin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü üzerinde de oldukça etkili olduğu ortaya çıktı. Ayrıca kesme hızı, ilerleme miktarı ve paso miktarı azaldıkça yüzey pürüzlülüğünün azaldığı sonucuna varılmıştır [7]. Kesme parametrelerinin etkilerinin incelendiği bir başka çalışmada, yüzey pürüzlülüğü üzerinde üç ana faktörün yanı sıra kesici takım açılarının da etkili olduğu anlaşılmıştır [8]. Farklı malzeme grupları üzerine yapılan çalışmalar da benzer parametrelerin yüzey kalitesini etkilediğini göstermektedir [9-13]. Talaşlı şekil verme işlemlerinde dikkat edilmesi gereken diğer önemli nokta ise düşük güç tüketimidir. Çünkü yapılan çalışmalar, endüstriyel elektriğin yaklaşık %75'inin tezgahlar tarafından tüketildiğini göstermektedir [14]. Fernando ve arkadaşları AISI P20 malzemesi üzerine yürüttüğü çalışmada kesme parametrelerinin yanı sıra kesme sıvısının güç tüketimi, yüzey pürüzlülüğü ve çevresel etkiler üzerine etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada kesme hızının çevresel etki açısından en etkili parametre olduğu diğer yandan ilerleme ve paso miktarının ise etkilerinin göz ardı edilebilir seviyede olduğu görülmüştür. Güç tüketimi açısından ise kesme sıvısının kullanılmasının oldukça etkili olduğu görülmüştür [15]. AISI 1040 çeliği üzerine yürütülen bir çalışmada ise kuru ve ıslak talaşlı şekil verme şartlarında farklı kesme parametrelerinin güç tüketimi, takım aşınması ve oluşan sıcaklık değerleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Kesme sıvısı kullanımının güç tüketimi üzerine %94 etkili olduğu ayrıca düşük kesme hızı ve ilerleme miktarının düşük güç tüketimi için tercih edilmesi gerektiği vurgulanmıştır [16].

Talaşlı şekil verme işlemlerinde en ideal işleme parametrelerinin bulunabilmesi için istatistiksel analiz en tercih edilen yöntemlerden bir tanesidir. Bu yöntem ile birlikte hangi parametrelerin ve seviyelerinin talaşlı işleme esnasında malzeme özelliklerini nasıl etkilediğini ve hangi faktörün/seviyenin en verimli olduğu farklı bir bakış açısıyla yorumlanabilmektedir. Roopa ve arkadaşlarının 2015 yılında EN 19 çeliğinin tormalanması esnasında kesme hızı, ilerleme ve paso miktarının yanı sıra ıslak işlemlerin yüzey kalitesi ve talaş kaldırma miktarı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada farklı parametreler ve seviyeler kullanarak en etkili parametreleri belirlemek için varyans analizi (ANOVA) de yapılmıştır. Gerçekleştirilen ANOVA analizi sonucunda kesme hızının %63 oranında en etkili parametre olduğu anlaşılmıştır [17].

Orta karbonlu çeliklerin işlenmesinde kesme hızı, ilerleme ve paso miktarının kesme kuvvetleri üzerindeki etkileri Ajit ve arkadaşları tarafından incelenmiştir. Çalışmada yüksek hızlı tormalama koşulları tartışılmış ve sonuçlar ANOVA analizi ile desteklenmiştir. Bu çalışmada

paso miktarının en etkili faktör olduğu ve kesme hızının ise en az etkili faktör olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca matematiksel modeller geliştirilmiş ve deneysel verilerle karşılaştırılmıştır [18]. Vijaykumar ve ark. Kesme parametrelerinin sertleştirilmiş AISI 52100 çeliği üzerindeki etkileri talaş kaldırma oranı esas alınarak araştırılmıştır. Ortaya çıkan sonuçları yorumlamak amacıyla ANOVA analizinden faydalanılmıştır. Çalışma sonunda kesme hızı, paso ve ilerleme miktarının etkilerinin sırasıyla %28.33, %24.3 ve %19.55 olduğu bulunmuştur [19]. Benzer şekilde, birçok çalışmada farklı malzemelerin işlenmesine yönelik ANOVA analizleri yapılmıştır [20-25].

Bu çalışma, AISI 304 paslanmaz çeliğin boraks yağı kullanılarak tormalama işleminde kesme hızı, ilerleme ve paso miktarının yüzey pürüzlülüğü ve güç tüketimi üzerindeki etkilerini deneysel veriler ışığında istatistiksel analizlerden faydalanarak yorumlama yapmak, belirlenen seviyeler arasında ideal olanları ortaya koymak ve oluşturulan matematiksel modellerin uygunluklarını araştırmak amacıyla yürütülmüştür. İlk olarak numuneler çeşitli kesme parametreleri kullanılarak işlenmiştir. Numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiş ve tormalama işlemi esnasındaki akım değerleri ölçülmüştür. Deneysel olarak bulunan sonuçlara ait ANOVA analizleri yapılmış ve sonuçları yorumlanmıştır. Ayrıca oluşan talaş türleri de optik mikroskop altında incelenmiştir. Çalışma sonunda minimum yüzey pürüzlülüğü ve enerji tüketimi için gerekli olan parametreleri belirlenerek matematiksel modeller oluşturulmuştur.

2 Deneysel metod

Çalışma kapsamında 26 mm çapında ve 150 mm uzunluğunda AISI 304 paslanmaz çelik çubuklar kullanılmıştır. İş parçaları Yıldızay Paslanmaz Çelik ve Metal ürünleri Ltd. Şti. firmasından temin edilmiştir. Kimyasal bileşeni ve mekanik özellikleri Tablo 1 ve 2'de sırasıyla verilmektedir.

ISCAR tarafından üretilen DNMG 150608-PP, IC907 kodlu kesici takım kullanılmıştır. Takımın burnun çapı 0.8 mm'dir. Çalışmada Takisawa Corporation firmasına ait SP-TB5M universal CNC torna tezgahı kullanılmıştır ve talaş kaldırma esnasında soğutucu akışkan olarak boraks yağı tercih edilmiştir. İşlem sonunda talaşlar incelenmek üzere CNC torna tezgahında toplanmıştır.

Tablo 1. AISI 304 kimyasal bileşenleri

%C	%Mn	%Si	%P	%Cr	%Ni	%Cu	%Mo	%Co	%N ₂
0.02	1.63	0.37	0.034	18.2	8.02	0.75	0.33	0.14	0.027

Tablo 2. AISI 304 özellikleri

Sertlik [BHN]	204.0
% Alan daralması	71.0
% Birim şekil değişimi	43.0
Çekme dayanımı [MPa]	689.0
0.2 % Akma dayanımı [MPa]	537.0

Test numuneleri üzerinde Mitutoyo SJ-210P profilometre cihazı kullanılarak yüzey pürüzlülük ölçümleri yapılmıştır (Şekil 1a). Test numunelerinin yüzeyleri

ölçümden önce temizlenmiş ve her numune için beş farklı bölgede ölçümler yapılmış olup sonuçların aritmetik ortalaması alınmıştır.



Şekil 1. (a)Profilometre (SJ-210 P) (b) Dijital pensampermetre (Dt 266)

Tornalama esnasında enerji tüketimini hesaplayabilmek amacıyla gerekli olan akımı ölçebilmek amacıyla Dt 266c pensampermetre (Şekil 1b) tercih edilmiştir. Güç tüketim değerleri, deneysel olarak ölçülen ortalama akım değerleri kullanılarak Denklem (1) ile hesaplanmıştır.

$$P = \frac{I \times U}{1000} \quad (1)$$

Burada;

P: Güç Tüketimi [kW]

I: Tornalama esnasında ölçülen akım [A]

U: Voltaj [Volt]

Çalışmada AISI 304 paslanmaz çeliğinin tornalama işlemi esnasındaki etkilerini incelemek amacıyla kesme hızı, paso ve ilerleme miktarları farklı seviyelerde incelenmiştir. Bu amaçla her parametrenin etkisini belirlemek için toplamda 27 farklı yüzey tornalanmıştır. Kesme parametrelerinin seçiminde kesici takım üreticisinin önerdiği ideal kesme parametreleri dikkate alınmıştır. İşleme parametreleri Tablo 3'te görülebilmektedir.

Tablo 3. Deneysel parametreler

Parametre	Birim	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Kesme Hızı (V _c)	m/dk.	100	125	150
İlerleme Miktarı (F)	mm/dev.	0.12	0.175	0.25
Paso Miktarı (d)	mm	1	2	3

3 Bulgular ve tartışma

Tablo 4' te kesme parametrelerinin elektrik tüketimi ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri verilmektedir. Ayrıca Minitab 19 yazılımı kullanılarak yüzey pürüzlülüğü ve elektrik tüketimi üzerine matematiksel modeller oluşturulmuş (Denklem (2) ve (3)), elde edilen sonuçlar deneysel sonuçlarla kıyaslanarak Tablo 4' te sunulmuştur. Yüzey pürüzlülüğü ve elektrik tüketimine ait modeller sırasıyla Denklem (2) ve (3)' te verilmektedir. Görüldüğü

üzere yüksek R² değerleri yüzey pürüzlülüğü ve enerji tüketim değerleri için oluşturulan matematiksel modellerin deneysel veriler ile yakın sonuçlar çıkaracağını göstermektedir.

$$\text{Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)} = -0.933 + 14.540 * F + 0.0944 * d - 0.00156 * V_c \quad (2)$$

$$R^2 = \% 97.63$$

$$R^2 (\text{adj.}) = \% 97.32$$

$$\text{Güç Tüketimi (kW)} = -0.094 + 2.432 * F + 0.2244 * d + 0.008578 * V_c \quad (3)$$

$$R^2 = \% 90.89$$

$$R^2 (\text{adj.}) = \% 89.70$$

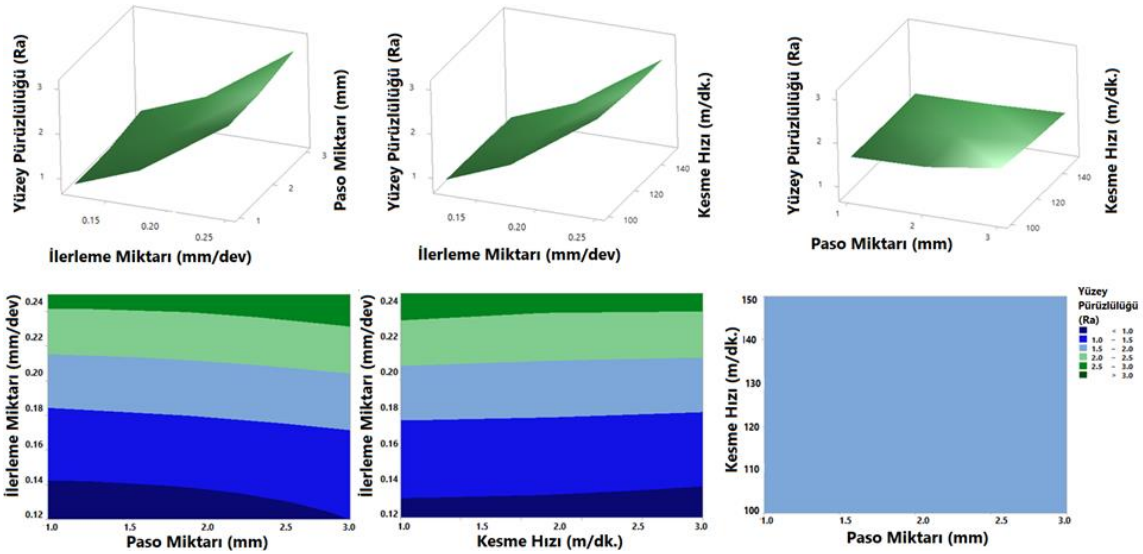
Tablo 4'te kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine deneysel sonuçlar incelendiğinde genel olarak sabit kesme hızı ve paso miktarında ilerleme miktarı arttıkça yüzey pürüzlülük değerinin de artış gösterdiği gözlenmektedir. Örneğin, 100 m / dk.'lık bir kesme hızı ve 1 mm'lik paso miktarı için, 0.12 mm / dev. olan ilerleme miktarı 0.25 mm /dev. değerine yükseldiğinde, 0.86 Ra yüzey pürüzlülük değeri, 2.69 Ra değerine kadar yükseldiği anlaşılmaktadır. Başka bir deyişle, kesme hızı ve paso miktarı sabit olmasına rağmen, ilerleme miktarının 0.12 mm / dev. 'den 0.25 mm / dev.' e yükselmesi, yüzey pürüzlülük değerlerinin yaklaşık %212 oranında artmasına neden olmuştur.

Tablo 4'teki sonuçları daha rahat okuyabilmek amacıyla 3 boyutlu yüzey ve kontur grafikleri (3D surface plots) oluşturulmuştur (Şekil 2). Şekil 2' teki grafiklere bakıldığında yüzey pürüzlülüğünün ilerleme miktarının artışıyla birlikte arttığı görülmektedir. Öte yandan sabit ilerleme miktarları için kesme hızı ve paso miktarının artışıyla birlikte yüzey pürüzlülük değerlerinin kayda değer bir şekilde değişmediğini kontur grafiklerden ve yapılan ANOVA analizlerinden anlaşılmaktadır. Kontur grafiklerinden ayrıca kesme hızının ve paso miktarının belirlenen seviyelerinde ortalama bir yüzey pürüzlülük değeri elde edilmiştir (Şekil 2). Kaladhar ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada da, ilerleme miktarının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisine ilişkin benzer sonuçlar gözlenmiştir [4].

Yüzey pürüzlülüğü için geliştirilen matematiksel modelin deneysel çalışmalarla benzer sonuçlar verdiği Tablo 4' te görülmektedir. Bu modelin kullanımı sayesinde AISI 304 paslanmaz çeliğin tornalanması sırasında farklı parametre değerleri için yüzey pürüzlülük değerlerinin aynı koşullar altında tahmin edilmesi mümkün olacaktır. Modeller ile deneysel sonuçlar arasında ortalama olarak %7'lik bir fark olduğu görülmüştür. Deneysel verilerin desteklenmesi ve daha sağlıklı bir yorumlama yapabilmek amacıyla Minitab 19 yazılımı ile Varyans Analizi (ANOVA) yapılmıştır (Tablo 5 ve 6). Tablolardaki F, P ve DF değerleri sırasıyla varyans oranı, önem faktörü ve serbestlik derecesini göstermektedir. Analizler %95 güven düzeyinde ($\alpha = 0.05$) gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4. Kesme parametre ve seviyelerinin yüzey pürüzlülüğü ve enerji tüketimi üzerine etkileri

Paso (mm)	Kesme Hızı (m/dk)	İlerleme Miktarı (mm/dev.)	Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)- Deneysel	Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)- Model	Fark (%)	Enerji Tüketimi (kW)-Deneysel	Enerji Tüketimi (kW)-Model	Fark (%)
1	100	0.12	0.86	0.75	12.8	1.27	1.28	0.79
2	100	0.12	0.84	0.84	0.5	1.53	1.50	1.67
3	100	0.12	1.06	0.94	11.4	1.49	1.73	16.03
1	100	0.175	1.36	1.55	14.0	1.52	1.41	6.99
2	100	0.175	1.46	1.64	12.6	1.71	1.64	4.20
3	100	0.175	1.63	1.74	6.7	1.85	1.86	0.68
1	100	0.25	2.69	2.64	1.8	1.56	1.60	2.32
2	100	0.25	2.73	2.73	0.2	1.78	1.82	2.28
3	100	0.25	3.08	2.83	8.1	2.11	2.05	3.08
1	125	0.12	0.8	0.71	11.1	1.63	1.49	8.31
2	125	0.12	0.85	0.81	5.2	1.79	1.72	3.97
3	125	0.12	1.05	0.90	14.3	1.86	1.94	4.48
1	125	0.175	1.39	1.51	8.7	1.66	1.63	1.91
2	125	0.175	1.46	1.61	10.0	1.91	1.85	3.00
3	125	0.175	1.53	1.70	11.1	2.1	2.08	1.09
1	125	0.25	2.67	2.60	2.6	1.81	1.81	0.04
2	125	0.25	2.7	2.70	0.2	2	2.04	1.75
3	125	0.25	2.81	2.79	0.7	2.2	2.26	2.70
1	150	0.12	0.84	0.67	20.0	1.72	1.71	0.64
2	150	0.12	0.85	0.77	9.8	1.94	1.93	0.34
3	150	0.12	0.9	0.86	4.3	2.14	2.16	0.83
1	150	0.175	1.36	1.47	8.2	1.73	1.84	6.51
2	150	0.175	1.4	1.57	11.9	2	2.07	3.36
3	150	0.175	1.49	1.66	11.5	2.36	2.29	2.90
1	150	0.25	2.67	2.56	4.0	1.86	2.03	8.88
2	150	0.25	2.71	2.66	2.0	2.24	2.25	0.42
3	150	0.25	2.79	2.75	1.4	2.69	2.47	8.03



Şekil 2 Farklı tornalama parametreleri ve seviyelerine göre yüzey pürüzlülüğü için 3B yüzey ve kontur grafikleri

Dolayısıyla 0.05 değerinden daha küçük P değerlerine sahip parametrelerin etkili, 0.05 değerinden daha büyük P değerlere sahip parametrelerin ise etkisiz oldukları yorumlanabilir. İstatistiksel analiz sayesinde parametre ve seviyelerinin hem yüzey pürüzlülüğü hem de güç tüketimi üzerindeki katkı oranlarını (%) belirlenebilmektedir. Ayrıca, ideal parametre ve seviyelerini araştırmak için ana etki grafikleri (Main Effect Plot) oluşturulmuştur. X eksenini her parametrenin değerini üç seviyede gösterirken, y eksenini yanıt değerlerini (yüzey pürüzlülüğü veya güç tüketimi) gösterir.

Tablo 5'e göre ilerleme miktarının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin oldukça yüksek olduğu (%98.29),

ilerleme miktarını takiben paso miktarının az da olsa (%1.19) etkili olduğu görülebilmektedir. Bununla birlikte, yüzey pürüzlülük değerinin kesme hızının artışıyla birlikte azaldığı ana etki grafiklerinden anlaşılmaktadır (Şekil 3). Kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin (%0.16) göz ardı edilebilir olduğu istatistiksel analiz ile göz ardı edilebilir olduğu anlaşılmaktadır. Kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi, benzer çalışmaların sonuçlarına paralellik göstermektedir [26,27]. ANOVA analizi sayesinde kesme parametrelerinin birbirleriyle etkileşimlerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin de oldukça sınırlı olduğu da anlaşılmıştır (Tablo 5).

Tablo 5. ANOVA analizi (Yüzey Pürüzlülüğü)

Parametre	DF	Seq. SS	%Katku	Adj. SS	Adj. MS	F-Değeri	P-Değeri
F	2	2.36857	98.29%	2.36857	1.18429	3881.09	0.000
V _c	2	0.00391	0.16%	0.00391	0.00196	6.41	0.022
d	2	0.02863	1.19%	0.02863	0.01431	46.91	0.000
F* V _c	4	0.00051	0.02%	0.00051	0.00013	0.42	0.789
F*d	4	0.00127	0.05%	0.00127	0.00032	1.04	0.443
V _c *d	4	0.00455	0.19%	0.00455	0.00114	3.73	0.053
Hata	8	0.00244	0.10%	0.00244	0.00031		
Toplam	26	2.40990	100.00%				

Şekil 3' teki, ana etki grafiklerine göre, tormalama işlemi sırasında en iyi yüzey kalitesi (en düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri) için ideal parametreler aşağıdaki gibi olmalıdır;

İlerleme miktarı: 0.120 mm/dev.

Kesme hızı: 150 m/dk.

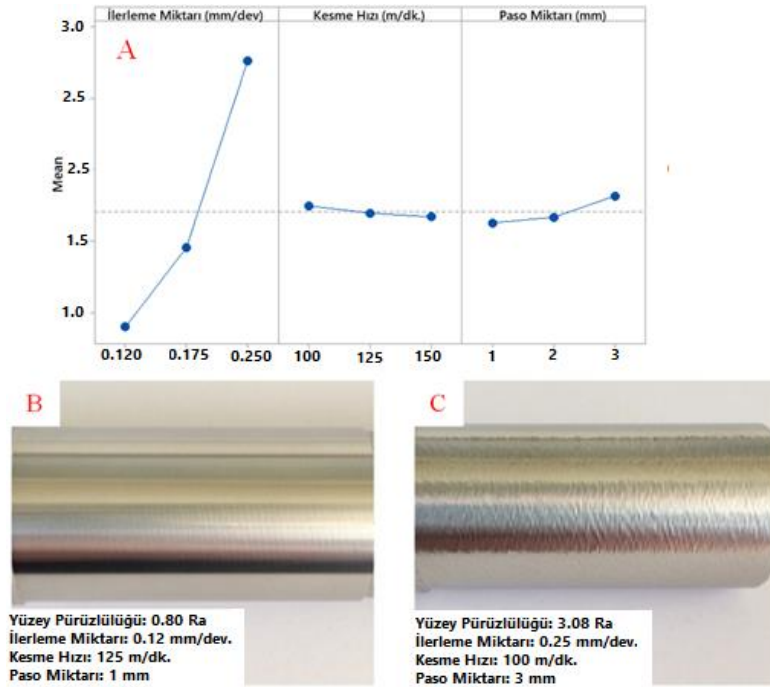
Paso miktarı: 1 mm

Bu değerler kullanılarak gerçekleştirilen tormalama işlemi neticesinde oluşan pürüzsüz yüzey görüntüsü (0.80 Ra) Şekil 3b'de verilmektedir.

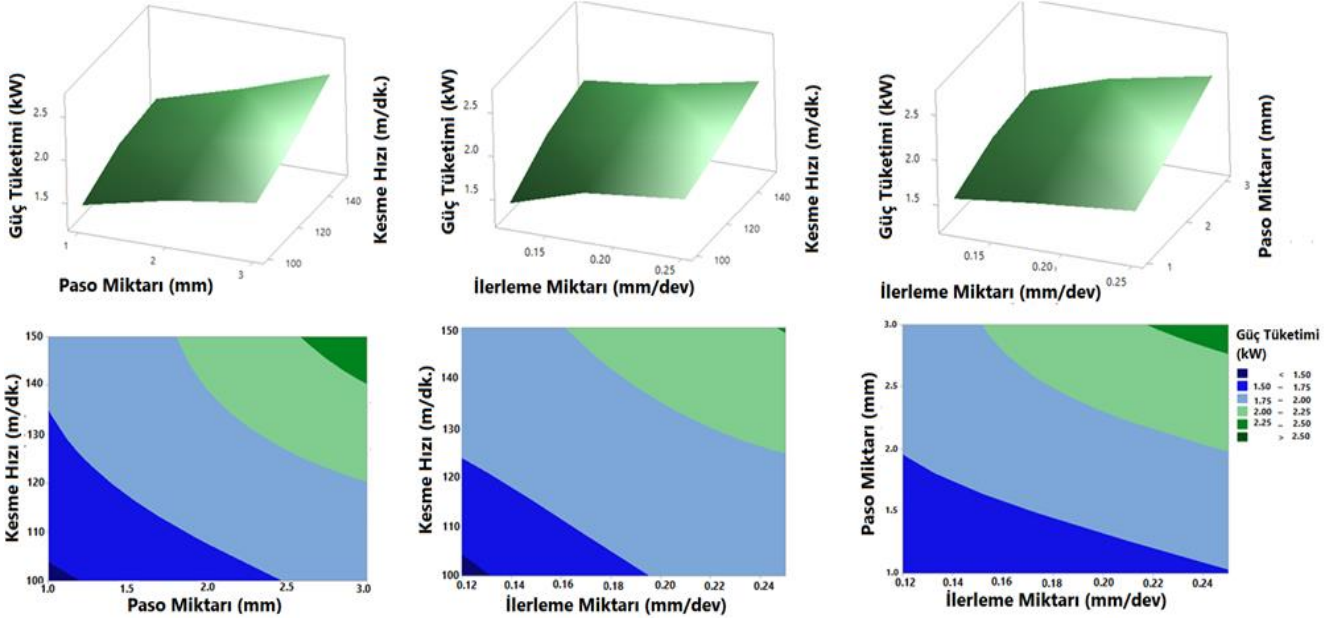
Kesme parametrelerinin ve seviyelerinin enerji tüketimi üzerine sonuçları incelediğimizde yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerinden daha farklı olduğu gözlenmiştir (Tablo 4). Diğer bir deyişle, yüzey pürüzlülüğü üzerinde ilerleme miktarının etkisinin oldukça baskın olduğu (%98), kesme hızı ve paso miktarı gibi diğer parametrelerin ise işleme sırasında güç tüketimini etkilediği görülebilmektedir. Örneğin 0.25 mm/dev ilerleme miktarı ve 100 m/dk. kesme hızı için paso miktarı 1 mm'den 3 mm'ye yükseltirse güç tüketiminin 1.56 kW'dan 2.11 kW'a çıktığı görülmüştür. Böylelikle güç tüketiminin %35 oranında arttığı tespit edilmiştir (Tablo 4). Dolayısıyla sabit kesme hızı ve ilerleme

miktarlarında enerji tüketimi paso miktarı ile doğru orantılı olarak değişmiştir. Öte yandan örneğin 3 mm paso miktarı ve 100 m / dk. kesme hızı için, ilerleme miktarında 0.12 mm / dev. değerinden 0.25 mm / dev. miktarına geçiş, güç tüketiminin 1.49 kW'dan 2.11 kW'a çıkmasına neden olmuştur. Sonuç olarak, yüzey pürüzlülüğü sonuçlarında olduğu gibi, enerji tüketimi üzerinde sadece tek bir parametrenin baskın bir etkiye sahip olduğu sonucuna varılamaz. Genel olarak, Tablo 4'te sunulan sonuçlar bize, en yüksek güç tüketiminin 0.25 mm / dev ilerleme miktarı, 150 m / dk. kesme hızı ve 3 mm paso miktarı için 2.69 kW olarak bulunduğunu göstermektedir. En düşük güç tüketimi ise 0.12 mm/dev ilerleme miktarı, 100 m/dk. kesme hızı ve 1 mm paso miktarında 1.27 kW olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4'te ise farklı tormalama parametre ve seviyeleri dikkate alınarak güç tüketimi değişimleri 3B yüzey ve kontur grafikleri ile gösterilmiştir. Verilen grafiklere dikkatlice bakıldığında her üç kesme parametresinin artmasıyla birlikte güç tüketim değerlerinin de artış gösterdiği anlaşılmaktadır. Buna göre düşük güç tüketimi için düşük ilerleme miktarı, paso miktarı ve kesme hızlarında çalışılması gerekmektedir.



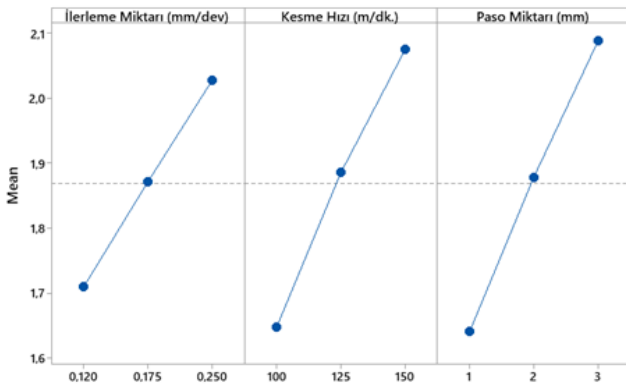
Şekil 3 Yüzey pürüzlülük değerlerine ait (a) ana etki grafikleri (b) en iyi yüzey kalitesi (c) en kötü yüzey kalitesi



Şekil 4 Farklı tornalama parametreleri ve seviyelerine göre güç tüketimi için 3B yüzey ve kontur grafikleri

Güç tüketimi açısından ideal parametre ve seviyelerini belirleyebilmek adına ana etki grafikleri Şekil 5'te verilmiştir. Ana etki grafiklerine göre en düşük güç tüketimi için 0.12 mm/dev. ilerleme miktarı, 100 m/dk. kesme hızı ve 1 mm paso miktarı ile tornalama işleminin yapılması gereklidir. Diğer yandan 0,25 mm/dev. ilerleme miktarı, 150 m/dk. kesme hızı ve 3 mm paso miktarı ile tornalamada en yüksek güç tüketimi olacaktır.

Güç tüketimi açısından ideal parametre ve seviyelerini belirleyebilmek adına ana etki grafikleri Şekil 5'te verilmiştir. Ana etki grafiklerine göre en düşük güç tüketimi için 0.12 mm/dev. ilerleme miktarı, 100 m/dk. kesme hızı ve 1 mm paso miktarı ile tornalama işleminin yapılması gereklidir. Diğer yandan 0.25 mm/dev. ilerleme miktarı, 150 m/dk. kesme hızı ve 3 mm paso miktarı ile tornalamada en yüksek güç tüketimi olacaktır.



Şekil 5. Güç tüketim değerlerine ait ana etki grafikleri




Tablo 6'da, üç parametre ve farklı seviyelerinin güç tüketimi üzerine etki miktarlarını gösteren ANOVA analizi verilmektedir. Bu tablodan her üç parametrenin de güç tüketimi üzerine etkileri olduğu anlaşılmaktadır. Katkıların sayısal değerlerini bulmak için ANOVA sonuçlarına

bakıldığında, güç tüketimi üzerinde en etkili parametrenin %37.63 katkı oranı ile paso miktarı olduğu, bunu sırasıyla %35.46 ve %19.27 katkı oranı ile kesme hızı ve ilerleme miktarının izlediği görülebilmektedir (Tablo 6). Mahdevinejad ve arkadaşlarının yürüttüğü çalışmaya göre güç tüketim değerinin paso miktarı ile doğrudan artması, kesme düzlem açısının paso miktarına paralel bir şekilde artması ve dolayısıyla malzemede plastik deformasyon için daha fazla güç tüketimine ihtiyaç duyulması ile açıklanabilmektedir [28]. Diğer yandan parametrelerinin ikili etkileşimlerinin %2 civarı etkisinin olduğu ve P değerlerine bakıldığında 0.05 değerlerinden büyük P değerlerine sahip oldukları için ikili etkileşimlerinin güç tüketimi üzerine anlamlı bir etkisinin olmadığı sonucuna varılmıştır. Tablo 7'de, AISI 304 paslanmaz çeliği çubukların tornalanması esnasında farklı parametre değerlerinin oluşan talaş tiplerine etkisi gösterilmektedir. Genel olarak, ilerleme miktarı arttıkça talaşların plastik deformasyon davranışı gösterdiği ve buna bağlı olarak süreksiz talaşların oluştuğu gözlemlenmiştir. Elde edilen bulgular farklı çalışmalardan elde edilen sonuçlarla tutarlılık göstermektedir [3]. Buna göre sabit paso miktarı ve kesme hızları için düşük ilerleme miktarlarında sürekli talaş tipi oluşumu gözlenirken yüksek ilerleme miktarlarına çıkıldıkça süreksiz talaş tipinin oluştuğu anlaşılmaktadır. Deneysel çalışmalarımız neticesinde her ne kadar düşük ilerleme miktarlarında düşük yüzey pürüzlülük değerleri yakalansa da oluşan sürekli talaş tipine karşı talaşlı işleme esnasında önlemlerin (kesme sıvısı kullanımı, talaş kırıcı takım tasarımı, basınçlı hava gibi) alınması da gerekmektedir. Aksi takdirde oluşan sürekli talaşlar iş parçasına dolanıp yüzey pürüzlülüğünü arttırabileceği gibi takım aşınmasına da neden olabilmektedir. AISI 304 paslanmaz çeliğin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü ve güç tüketimi üzerine elde ettiğimiz sonuçların yanı sıra oluşan talaş tiplerini de dikkate alarak parametre değerlerinin seçimi gerçekleştirilmelidir.

Tablo 6. ANOVA analizi (Güç Tüketimi)

Parametre	DF	Seq. SS	%Katkı	Adj. SS	Adj. MS	F-Değeri	P- Değeri
F	2	0.060807	19.27	0.060807	0.030404	94.69	0.000
V _c	2	0.111864	35.46	0.111864	0.055932	174.20	0.000
d	2	0.118725	37.63	0.118725	0.059362	184.89	0.000
F* V _c	4	0.005874	1.86	0.005874	0.001468	4.57	0.032
F*d	4	0.008378	2.66	0.008378	0.002095	6.52	0.012
V _c *d	4	0.007258	2.30	0.007258	0.001814	5.65	0.018
Hata	8	0.002569	0.81	0.002569	0.000321		
Toplam	26	0.315475	100.00				

Tablo 7. Farklı kesme parametrelerine göre oluşan talaş tipleri

İlerleme Miktarı [mm/dev.]	Kesme Hızı [m/dk.]	Paso Miktarı [mm]	Talaş Tipi
0.12	125	1	
0.175	125	1	
0.25	125	1	

4 Sonuçlar

Çalışmada AISI 304 paslanmaz çeliğinin tornalama işlemi sırasında farklı parametre ve seviyelerin yüzey pürüzlülüğü ve güç tüketimi üzerindeki etkileri istatistiksel analizlerle analiz edilmiştir. İstatistiksel analiz çalışmaları ile toplam 27 farklı yüzeyin işlenmesiyle elde edilen veriler kolaylıkla değerlendirilebildiği anlaşılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar ve ANOVA analizleri sayesinde parametrelerin yüzey pürüzlülüğü ve enerji tüketimi üzerinde farklı etkileri olduğunu anlamayı mümkün kılmıştır. Paso miktarı ve kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerinde kayda değer bir etkisinin olmadığı ve ilerleme miktarının %98'lik baskın bir etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir. Buna karşılık, her üç parametrenin de enerji tüketimi için etkili olduğu çalışma neticesinde anlaşılmıştır. Bu anlamda sırasıyla paso miktarının %44, kesme hızının %24 ve ilerleme miktarının %19 katkı oranlarında güç tüketimi üzerinde etkileri olduğu anlaşılmaktadır. Yüzey pürüzlülüğü açısından ideal parametre değerleri 0.12 mm/dev. ilerleme miktarı, 125 m/dk. kesme hızı ve 1 mm paso miktarı olarak bulunmuştur. Güç tüketimi açısından ise 0.12 mm/dev ilerleme miktarı, 100 m/dk. kesme hızı ve 1 mm paso miktarının ideal parametre değerleri olduğu anlaşılmıştır. Sonuç olarak AISI 304 paslanmaz çeliklerin tornalanmasında düşük güç tüketimi ile iyi bir yüzey kalitesi elde etmek amacıyla küçük ilerleme miktarı, düşük kesme hızı ve paso miktarlarında çalışılması gerektiği çalışma sonunda tavsiye edilmektedir.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (iThenticate): % 10

Kaynaklar

- [1] B.L. Juneja, G.S. Sekhon and S. Nitini, Fundamentals of Metal Cutting and Machine Tools 2nd ed. New Age International Ltd. Publishers, New Delhi, 2003.
- [2] C.S. Milton, Metal Cutting Principles 2nd ed. Oxford University Press, United Kingdom, 2004.
- [3] K. Yunus and A. Ahmet, Investigation of machinability characteristics of AISI 316Ti stainless steel. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 18(1), 61-71, 2012. <https://doi.org/10.5505/pajes.2012.58076>
- [4] M. Kaladhar, K.S. Venkata and C.S. Rao, Determination of optimum process parameters during turning of AISI 304 Austenitic stainless steel using Taguchi method and ANOVA. International Journal of Lean Thinking, 3(1),1-22, 2012.
- [5] X. Anthony and M. Adithan, Determining the influence of cutting fluids on tool wear and surface roughness during turning of AISI 304 austenitic stainless steel. Journal of Material Processing Technology, 209, 900-909,2009. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2008.02.068>.
- [6] H. Aouici, M.A. Yaltese, B. Fnides, K. Chaoui and T. Mabrouki, Modelling and optimization of hard turning of x38crmov5-1 steel with cbn tool machining

- parameters effects on flank wear and surface roughness. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 25, 2843-51, 2011. <https://doi.org/10.1007/s12206-011-0807-z>
- [7] Y. Sahin and A.R. Motorcu, Surface roughness model in machining hardened steel with cubic boron nitride cutting tool. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 26, 84–90, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.jrmhm.2007.02.005>
- [8] J.P. Davim, A note on the determination of optimal cutting conditions for surface finish obtained in turning using design of experiments. *Journal of Materials Processing Technology*, 116, 305-308, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(01\)01063-9](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(01)01063-9)
- [9] Ç. Selim and D. Suat, AISI 4140 çeliğinin işlenmesinde kesici uç geometrisinin talaş kırma ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi. *Düzcce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4,765-771, 2016.
- [10] M. Aruna and V. Dhanalakshmi, Optimization of turning parameters of inconel 718 alloy using RSM. *International Journal of Manufacturing Technology and Management*, 25,113–134, 2012. <https://doi.org/10.1504/IJMTM.2012.047722>
- [11] R.P. Pragadesh and V.A. Patel, Effect of machining parameters on surface roughness and power consumption for 6063 Al alloy TiC composites (MMCs). *International Journal of Engineering Research and Applications*, 2(4), 295-300, 2012.
- [12] P. Sahoo, Optimization of turning parameters for surface roughness using RSM and GA. *Advances in Production Engineering and Management*, 6(3), 197-208, 2011.
- [13] İ. Korkut, M.A. Donertas and U. Seker, Three-Dimensional dynamometer design and production. *Karabuk Technical Education Faculty Journal Technology*, 2, (1–2), 115–129, 1999.
- [14] U.S. Energy Information Administration, *International Energy Outlook 2019*, Washington, 2019.
- [15] R. Fernando, J. Gamage and H. Karunathilake, Sustainable machining: environmental performance analysis of turning. *International Journal of Sustainable Engineering*, yayın aşamasında (ahead of print),1-20,2021. <https://doi.org/10.1080/19397038.2021.1995524>.
- [16] S. Emin, K. Mustafa, A. Abdullah and Y.P. Danil, The effects of mql and dry environments on tool wear, cutting temperature, and power consumption during end milling of aisi 1040 steel. *Metals*, 11, 1674, 2021. <https://doi.org/10.3390/met11111674>.
- [17] K.R. Roopa, M. Vinay, A.S. Deshpande and K.K. Jadhav, Analysis of effect of cutting parameters on responses surface roughness and material removal rate for En 19 work-pieces material with and without Heat Treatment. *International Journal of Scientific and Engineering Research*, 6(1), 69-77, 2015.
- [18] K.S. Ajit, B. Abhijit, S. Avinash, M. Omkarnath and M. Satyajeet, Effect of machining parameters on cutting forces during turning of mild steel on high speed lathe by using Taguchi orthogonal Array. *Global Journal of Advanced Research*, 1(1), 28-35, 2014.
- [19] H.K. Vijaykumar, S. Aboobaker and S. Muhammed, Optimization of turning parameters using Taguchi technique for MRR and surface roughness of hardened AISI 52100 steel. *Journal of Engineering Research and Applications*, ISSN:2248-9620, 4 (5), 39-44, 2014.
- [20] S.D. Philip and P. Chandramohan, Optimization of surface roughness of AISI 304 austenitic stainless steel in dry turning operation using Taguchi design method. *Journal of Engineering Science and Technology*, 5(3), 293-301, 2010.
- [21] R.M. Venkata, K. Srinivasulu and M.R.G. Krishna, Performance evaluation and selection of optimal parameters in turning of Ti-6Al4V alloy under different cooling conditions. *International Journal of Innovative Technology and Creative Engineering*, 1(5),134-41, 2011. <https://doi.org/10.18178/IJMMM>
- [22] V. Marinkovic and M. Madic, Optimization of surface roughness in turning alloy steel by using Taguchi method. *Scientific Research and Essays*, 6(16), 3474-3484, 2011. <https://doi.org/10.5897/SRE11.704>
- [23] K.K. Adarsh, C. Ratnam, B.S.N. Murthy and B.B. Satish, Optimization of surface roughness in face turning operation in machining of EN-8. *International Journal of Engineering Science and Advanced Technology*, 2(4), 807-812, 2012.
- [24] M.T. Sreenivasa, R.K. Suresh, G. Krishnaiah and R.V. Diwakar, Optimization of process parameters in dry turning operation of EN 41B alloy steels with cermet tool based on the Taguchi method. *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, 3, 1144-1148, 2013.
- [25] H.M. Somashekara and S.N. Lakshmana, Optimizing surface roughness in turning operation using Taguchi technique and ANOVA. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 4(5), 1965-73, 2012.
- [26] M.A. Khan, J.K. Kittur and D.K. Vishal, Study and analysis of effect of cutting parameters on cutting forces and surface roughness. *Advanced Engineering and Applied Sciences: An International Journal*, 5(3), 63-73, 2015.
- [27] C. Özek and V. Taşdemir, Modelling of surface roughness with variance analysis in turning of AISI 304 austenitic stainless steel. *e-Journal of New World Science Academy*, 4(3), 305-314, 2009.
- [28] R.A. Mahdavinjad and S. Saeedy, Investigation of the influential parameters of machining of AISI 304 stainless steel. *36(6)*, 963-70, 2011. <https://doi.org/10.1007/S12046-011-0055-Z>

