



## Sleipner Çeliğinin Yüzey Finiş Modellemesinde Takım Yolu Stratejisinin ve Kesme Parametrelerinin MRR ve Ra Üzerine Etkisi

### *The Effect of Tool Path Strategy and Cutting Parameters on MRR and Ra in Surface Finish Modeling of Sleipner Steel*

Hasan Ballıkaya<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> İnönü Üniversitesi, Malatya OSB MYO, Makine ve Metal Teknolojileri bölümü, [hasan.ballikaya@inonu.edu.tr](mailto:hasan.ballikaya@inonu.edu.tr)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5484-0214>

#### MAKALE BİLGİLERİ

*Makale Geçmişi:*

Geliş 30 Aralık 2021  
Revizyon 19 Ocak 2022  
Kabul 21 Ocak 2022  
Online 30 Mart 2022

*Anahtar Kelimeler:*

*Yüzey Pürüzlülüğü Sleipner,  
ANOVA, Taguchi, Takım Yolu  
Stratejisi, MRR*

#### ÖZ

Bu çalışmada içerdiği alaşım elementi ve karbon oranına bağlı olarak yüksek sertlik, aşınma dayanımı ve tokluk özelliklerinden dolayı kalıpcılık endüstrisinde yaygın olarak kullanılan Sleipner soğuk iş takım çeliği kullanılmıştır. Frezeleme yöntemleri ile yapılan deneysel çalışmalarda kesme parametreleri ve takım yolu stratejisinin, yüzey pürüzlülüğü (Ra) ve malzeme kaldırma oranı (MRR) üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Kesme parametreleri olarak, takım yolu hareketleri, kesici takım devri ve ilerleme hızı parametreleri farklı seviyelerde kullanılmıştır. Finiş frezeleme deneylerinde kesme derinliği sabit tutulmuştur. Deneysel tasarım, Taguchi  $L_{16}$  ortogonal dizine göre yapılmıştır. Ayrıca yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar, S/N oranlarına dönüştürülerek ideal kesme parametre seviyeleri belirlenmiştir. Ayrıca Minitab 17 paket programında ANOVA analizi ile yüzey pürüzlülük ve malzeme kaldırma oranı sonuçları istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar ile ANOVA tabloları oluşturulmuş ve kesme parametrelerinin sonuçlar üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Ayrıca yanıt yüzey yöntemi kullanılarak işleme parametrelerine bağlı Ra ve MRR sonuçlarının matematiksel modellemesi yapıldı ve Genetik algoritma yöntemi kullanılarak optimum işleme parametreleri belirlendi. Sonuçlar değerlendirildiğinde oluşturulan matematiksel modelin deney sonuçları ile uyumlu olduğu belirlendi.

#### ARTICLE INFO

*Article history:*

Received 30 December 2021  
Received in revised form 19 January 2022  
Accepted 21 January 2022  
Available online 30 March 2022

*Keywords:*

*Surface Roughness, Sleipner,  
ANOVA, Taguchi, Tool Path  
Strategy, MRR*

#### ABSTRACT

In this study, Sleipner cold work tool steel, which is widely used in the molding industry, was used due to its high hardness, wear resistance and toughness properties depending on the alloying element and carbon ratio it contains. In experimental studies with milling methods, the effects of cutting parameters and tool path strategy on surface roughness (Ra) and material removal rate (MRR) were investigated. As cutting parameters, tool path movements, cutting tool speed and feed rate parameters were used at different levels. The depth of cut was kept constant in the finish milling experiments. Experimental design was made according to Taguchi  $L_{16}$  orthogonal array. In addition, the results obtained in the experimental studies were converted to S/N ratios and ideal cutting parameter levels were determined. In addition, the results of surface roughness and material removal rate were evaluated statistically by ANOVA analysis in Minitab 17 package program. ANOVA tables were created with the results obtained and the effects of cutting parameters on the results were determined. In addition, mathematical modeling of Ra and MRR results depending on processing parameters was performed using the surface response method, and optimum processing parameters were determined using the genetic algorithm method. When the results were evaluated, it was determined that the mathematical model created was compatible with the experimental results.

*Doi: 10.24012/dumf.1051243*

\* Hasan Ballıkaya

## Giriş

Sleipner çeliğinin genel kullanım amacı, soğuk iş takım çeliğinin kullanıldığı birçok alanda kullanılabilir olmasıdır. Bu çelik yüksek aşınma dayanımı, ağız dökülmesine karşı yüksek direnç, yüksek tokluk, yüksek basma dayanımı, yüksek sertlik olanağı, kaplamaya uygunluk, iyi tel erozyon özellikleri, ısıl işlemlerde yüksek boyutsal kararlılık, yüzey işlemlerine uygunluk, özelliklerine sahiptir. Sleipner sert ve katkılı plastikler ile çok yüksek baskı ömrü beklenen enjeksiyon kalıplarında ve kalın sacların kesiminde, yüksek sertliği ve tokluğu nedeni ile sorunsuz bir şekilde kullanılabilir. PVD yüzey kaplama yöntemi ile TiN, CrN gibi yüzey kaplama tekniklerine de uygundur [1]. Özlü (2021), Sleipner soğuk iş takım çeliğinin tornalanmasında kesme parametrelerinin kesme kuvveti bileşenlerine, Ra'ya ve talaş oluşumuna etkilerini deneysel olarak incelemiştir. İlerleme miktarının artması ile kesme kuvvetlerinin ve Ra değerinin arttığını belirtmiştir. Ayrıca kesme hızının artması ile birlikte bileşke kesme kuvvetinin azaldığını ifade etmiştir [1]. Aldaş ve diğ. (2013), farklı değişkenlerle ilişkili kesme parametreleri kullanarak yüzey pürüzlülüğünü tahmin etmek için Adaptif nöro-bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) kullanan bir yöntem üzerine çalışmışlardır. Tel erozyon imalat yönteminde Sleipner soğuk iş takım çeliğini kullanmışlardır. İki farklı yöntemle yapılmış olan ANFIS model tahmini; ortalama hata oranları göz önüne alındığında, %5.53'teki Gauss üyelik tipi, %13.23'lük çan şeklindeki üyelik fonksiyonundan daha iyi olduğunu açıklamışlardır [2].

Ra, yaygın olarak kullanılan bir ürün kalitesi endeksidir ve çoğu durumda mekanik ürünler için teknik bir gerekliliktir. İstenen yüzey kalitesinin elde edilmesi, bir parçanın fonksiyonel davranışı için büyük önem taşımaktadır [3]. Yüzey özellikleri, nihai parça performansını etkiler ve kalite göstergeleri olarak kullanılır. Talaş kaldırma işlemlerinde yüzey oluşumu, birbiriyle karmaşık şekilde ilişkili ve birçok faktörden etkilenir [4]. Talaşlı imalat süreçlerinde optimal kesme parametrelerinin belirlenmesi Ra için önemli bir araştırma konusudur. Bununla birlikte, Ra kesici yol stratejilerinden etkilenir. Ra'yı en aza indirmek için kesici yol stratejilerinin doğru seçimi çok önemlidir. Frezeleme işlemlerinde parmak frezelerle farklı takım yolları kullanılabilir. Yüzey frezelemenin verimliliğini artırmak için üreticiler tarafından farklı metodolojiler ve CAM araçları geliştirilmiştir. Uygun takım yolu stratejilerinin ve frezeleme koşullarının belirlenmesi, yüksek verimlilik oranı, daha iyi yüzey dokusu değerlerinin karşılanması ve daha düşük kesme kuvvetleri, takım sapması ve yüzey hataları için çok önemlidir. Yao ve Gupta (2004), cep frezeleme işlemlerinde yeni bir kesici yolu oluşturma algoritması uygulamışlardır. Bu algoritma ile geometrinin farklı bölgelerinde farklı desenler kullanarak ve bunları sorunsuz bir şekilde birbirine dönüştürerek bir kesici yolu oluşturmuşlardır. Karmaşık ceplerin işlenmesinde, algoritma ile oluşturulan takım yolu stratejisinin tek bir takım yolu modelinden daha üstün olduğunu belirtmişlerdir [5]. Edem ve diğ. (2019), AISI 1080 çeliğinin cep frezeleme işleminde HyperMill CAM programı kullanarak gerçek spiral, dikdörtgen spiral ve kare kontur takım yolları ile enerji verimli takım yolunu belirlemek için çalışma yapmışlardır. Sonuç olarak teorik, yazılım ve deneysel analizler, gerçek spiral takım yolunun en düşük

toplam elektrik enerjisi talebine ve işleme süresine sahip olduğunu ifade etmişlerdir [6].

Kalite ve üretkenlik, herhangi bir işleme operasyonunda iki önemli ancak birbiriyle çelişen kriterleridir. Yüksek verimliliği sağlamak için kaliteden ödün verilmelidir. Bu nedenle, kalite ve üretkenliği aynı anda optimize etmek çok önemlidir. Verimlilik, işleme operasyonunda talaş kaldırma oranı olarak yorumlanabilir. Kalite ise, müşterilerin istediği gibi ürün özellikleri açısından tatmin edici verimi temsil eder. Boyutsal doğruluk, form kararlılığı, Ra ve öngörülen uygulama alanında fonksiyonel gereksinimlerin karşılanması ürünün önemli kalite özellikleridir. Parmak frezelemede, yüzey kalitesi ve malzeme kaldırma oranı hem endüstri personelinin hem de araştırma ve geliştirmenin dikkat etmesi gereken iki önemli husustur, çünkü bu iki faktör işleme performanslarını büyük ölçüde etkiler. MRR, işleme operasyonları gerçekleştirirken birim zaman başına (genellikle dakika başına) kaldırılan malzeme miktarıdır. Dakikada ne kadar fazla malzeme çıkarılırsa, malzeme kaldırma oranı o kadar yüksek olur. Modern endüstri trendlerinden biri, kısa sürede düşük maliyetli, yüksek kaliteli ürünler üretmektir [7]. Tunç ve diğ. (2017), robotik frezeleme yönteminde MRR için mevcut CAM paketleri tarafından sunulan takım yolu modellerini değerlendirmek ve seçmek için araştırma yapmışlardır. MRR için işleme takım yolu modellerinin seçiminin çok önemli olduğunu ifade etmişlerdir [8]. Lu ve diğ. (2019), Inconel 718'in mikro frezelemede MRR ve Ra için çok amaçlı optimizasyon tekniğini kullanmışlardır. Çalışmalarını Taguchi deney tasarımı yöntemi  $L_9$  ortogonal dizin ile gerçekleştirmişlerdir. Ra ve MRR arasında çok amaçlı optimizasyon uygulamak için genetik algoritma kullanmışlardır. Sonuç olarak talaş miktarı Ra'yı, ilerleme ise MRR'i etkilen en önemli parametre olduğunu ifade etmişlerdir [9]. Bağcı ve diğ. (2017), kavisli yüzeylerin frezelemesi yönteminde, takım yolu stratejilerinin anlık malzeme kaldırma oranı (IMRR) ve işleme üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Takım yolu stratejisi olarak çeşitli açılara sahip zigzag, profil işleme ve spiral takım yollarını kullanmışlardır. Kesme yolu stratejilerinin işleme süreleri üzerindeki etkisini ve bunların gereken süreyi ve dolayısıyla maliyetleri azaltmadaki önemini açıklamışlardır. Sonuç olarak,  $90^\circ$  zigzag takım yolu stratejisinin en düşük kesme kuvvetlerini, takım sapmasını ve yüzey hatası değerlerini gösterdiğini belirtmişlerdir [10]. Rad (2011), frezeleme işleminde, işleme verimliliğini artırmak için optimum takım yolu planlaması için birleşik bir matematiksel-grafik yaklaşımı üzerinde çalışmışlardır. Frezeleme işlemlerinde kesme kuvvetlerini sınırlar içinde tutarken MRR'yi ayarlayarak işleme operasyonlarını stabilize eden bir metodoloji kullanmışlardır. Sonuç olarak bu yaklaşımın uygulanmasının işleme süresinde hafif bir artışla sonuçlanabileceğini, ancak daha iyi bir yüzey kalitesi üretmenin yanı sıra takım maliyetinde, işleme titreşiminde ve gürültüde önemli bir azalma sağlanabileceğini ortaya koymuşlardır [11].

Mühendislik uygulamalarında ürün ve süreç gelişiminde deneysel çalışmaların önemi büyüktür. Deneysel çalışmaların zaman aldığı ve uygulama maliyetlerinin ise yüksek olduğu bilinir. Bu nedenle deneysel çalışma hatalarının minimize edilmesi gerekir. Taguchi yöntemi, kontrol dışında olan faktörlerin etkisini en alt seviyeye indirmesini sağlayan bir

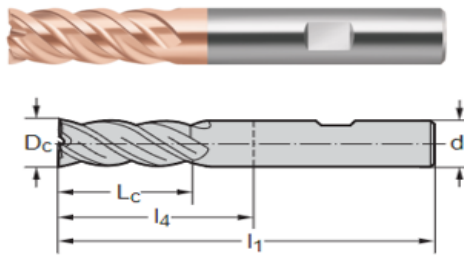
deneysel bir tasarım tekniğidir. Ayrıca deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçları ANOVA analizi ile değerlendirilerek en etkin parametre ve seviyeleri belirlemede yardımcı olmaktadır. Ayrıca parametrelerin sonuçlar üzerindeki etkileri % olarak belirlenebilir [12–14]. Göloğlu ve Sakarya (2008) yüksek hızlı çelik parmak frezeler kullanarak DIN 1.2738 kalıp çeliğinin optimum kesme özellikleri ve kesici yol stratejilerinin etkilerini araştırmışlardır. Taguchi parametre tasarımı kullanılarak her iki araştırmanın sonuçlarını incelemişlerdir. Tek yönlü ve zigzag takım yolu stratejilerinin tahmin edilen değerden daha iyi bir sonuç verdiğini ifade etmişlerdir [15]. Sunil ve diğ. AISI 1005 çeliğini TiN kaplı kesici takım kullanılarak yüzey frezeleme işleminde optimal kesme parametrelerini bulmak için Taguchi tekniği kullanılmıştır.  $L_9$  ortogonal dizisine dayalı olarak deneyler yapılmıştır. Parametrelerin etkisini belirlemek için ANOVA analizini kullanmışlardır. Sonuç olarak, talaş derinliği ve ilerleme hızı parametreleri Ra ve MRR üzerinde etkili olduğunu ifade etmişlerdir [16].

Ra değerini etkileyen kesme parametrelerini optimize etmek için geleneksel olmayan yaklaşımlar olarak sınıflandırılacak birkaç optimizasyon tekniği etkin bir şekilde uygulanabilir. Genetik algoritma (GA), çoğu araştırmacı tarafından üretim maliyetini en aza indirmeyi ve malzeme kaldırma oranını en üst düzeye çıkarmayı ve ürün kalitesini iyileştirmeyi içeren optimizasyon hedefleri için yaygın olarak kullanılmaktadır [17]. Özay (2020), tornalama-frezeleme yönteminde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinde, Zain (2010), takımın radyal eğim açısının, kesme hızı ve ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisinde, Palanisamy (2007), frezeleme operasyonları için kesme kuvvetini belirlemek için, Imani (2019), deneysel sonuçlara dayalı olarak frezeleme kuvvetlerini ve Ra' yı tahmin etmek için GA ve yanıt yüzey yöntemi ile optimize etmişlerdir [18–21].

Tablo 2. Deneylerde kullanılan parametreler ve seviyeleri

Sembol	Parametreler	Seviyeler			
		I	II	III	IV
A	Kesici takım devri (dev/dak)	3500	4000	4500	5000
B	İlerleme miktarı (mm/dak)	250	500	750	1000
C	Takım yolu şekli	Zig Zag	Paralel Spiral	Gerçek Spiral	Morf Spiral

Deneylerde çalışmalarda  $\varnothing 10$  mm 4 ağızlı  $50^\circ$  helis açısına sahip uç yarıçapı olmayan Walter marka MC388-10.0W4B-WB10TG kesici takım kullanılmıştır. Kesici takım 48 ile 63



Açıklama	Sembol	Değer
Takım çapı (h10)	$D_c$	10 mm
Kesme uzunluğu	$L_c$	22 mm
Toplam uzunluk	$I_1$	72 mm
Fonksiyonel uzunluk	$I_4$	32 mm

Şekil 1. Deneysel çalışmalarda kullanılan kesici takım geometrisi.

Sleipner soğuk iş takım çeliğinin deneysel çalışmaları için  $80 \times 80$  mm ölçülerine sahip iş parçası kullanılarak finiş

Bu çalışmada endüstrinin birçok alanında oldukça yaygın kullanılan Sleipner soğuk iş takım çeliği, CNC freze tezgâhında finiş talaş kaldırma işlemi yapılmıştır. Deneylerde hem kesme parametreleri hemde takım yolu stratejisinin yüzey pürüzlülüğüne ve malzeme kaldırma oranına etkisi incelenmiştir. Taguchi  $L_{16}$  ortogonal deney tasarımı kullanılarak elde edilen sonuçlar S/N oranına dönüştürülmüş ve ANOVA analizi uygulanmıştır. Ayrıca yanıt yüzey yöntemi ile matematiksel model oluşturularak genetik algoritma yöntemi ile optimum işleme parametreleri belirlenmiştir.

## Materyal ve Metot

Bu çalışmada kalıp endüstrinin birçok alanında yaygın olarak kullanılan Sleipner soğuk iş takım çeliği kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan malzemenin kimyasal özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Sleipner çeliğinin kimyasal birleşimi (%).

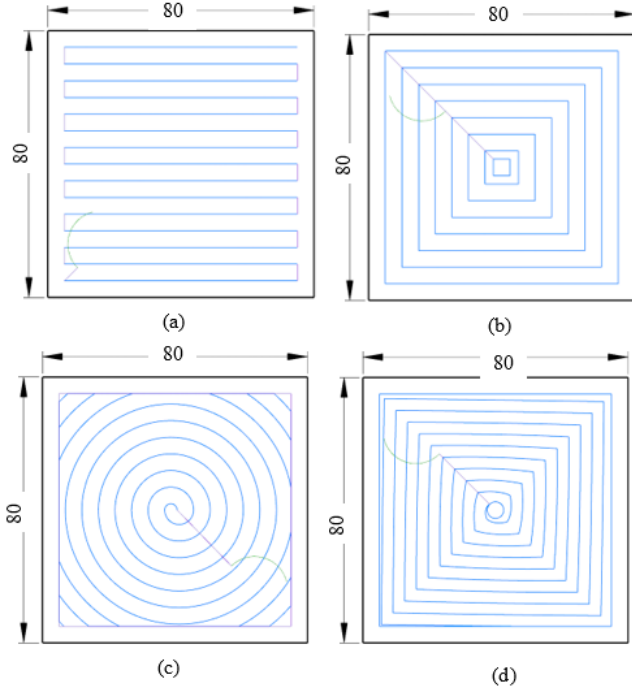
Malzeme	Elementler					
	C	Cr	Si	Mo	Mn	V
Sleipner	0.90	7.80	0.90	2.5	0.50	0.50

Finiş frezelemede hangi kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve malzeme kaldırma oranını etkilediğini değerlendirmek için kesici yol stratejilerinin her biri için bir dizi deney yapılmıştır. Deneysel çalışmalar için Taguchi deney planı hazırlanmıştır. Deneysel çalışmalar  $L_{16}$  ortogonal dizine göre belirlenmiştir. Talaş kaldırma işlemi EMCO CONCEPT MILL 450 CNC dik işleme merkezinde gerçekleştirilmiştir. Deney parametreleri ve parametre seviyeleri Tablo 2’de verilmiştir. Deneysel çalışmalarda finiş frezeleme yapıldığı için talaş derinliği 0.1 mm olarak sabit tutulmuştur.

HRC arasındaki sertliğe sahip iş parçalarında kullanılan özel kaplamaya sahip bir takımdır. Şekil 1’de kesici takıma ait şekil ölçüleri gösterilmiştir.

frezeleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Takım yolu stratejilerinin belirlenmesi için MASTER CAM 2021 paket

programı kullanılmıştır. Takım yolu kesme şekilleri Şekil 2’de gösterilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü, Mitutoyo SJ-210 profilometresi ile iş parçasının orta noktası referans alınacak şekilde, x eksenı yönde üst ve alt, y eksenı yönde sağ ve sol olmak üzere dört farklı noktada, 2.5x4 mm, ölçüm uzunluğu 10 mm ISO 1997 standardında olacak şekilde ölçülmüştür.



Şekil 2. Takım yolu stratejisi a) Zig zag, b) Paralel spiral c) Gerçek spiral d) Morf spiral

Deneyisel çalışmalarda talaş derinliği sabit alındığı için kaldırılan talaş hacimleri de eşit olduğu kabul edilmiştir. Malzemenin yoğunluğunu belirlemek için 10x10x10 mm ölçülerinde iş parçası hazırlanıp hassasiyeti  $10^{-4}$  olan SHIMADZU ATX224R marka hassas terazi ile ağırlığı ölçülmüştür. Malzemelerin yoğunluğu denklem 1’de verilen yoğunluk formülü ile belirlenmiştir. Çalışmalarda MRR belirlenmesi için denklem 2’den yararlanılmıştır [7].

$$d = \frac{m}{v} \quad (1)$$

$$MRR = \frac{W_i - W_s}{\rho \cdot t} = mm^3 / dak \quad (2)$$

Denklem 1’de verilen d malzemenin yoğunluğu, m kütlesi, v ise hacmi belirtir. Denklem 2’de verilen  $W_i$  iş parçasının ilk ağırlığı (gr),  $W_s$  iş parçasının son ağırlığı (gr), t işleme süresini (dak),  $\rho$  ise yoğunluğu ( $7.70 \times 10^{-3}$  gr/mm<sup>3</sup>) ifade etmektedir.

### Bulgular ve Tartışma

Kesme parametrelerinin Ra ve MRR üzerindeki etkilerini belirlemek elde edilen sonuçlar MİNİTAB 17 paket programı kullanılarak S/N oranına dönüştürülmüştür. Deneyisel çalışmaların gerçekleştirildiği deney tasarımı ile elde edilen Ra ve MRR sonuçları ile bunlara ait S/N oranları Tablo 3’de verilmiştir.

Takım yolu stratejisi Ra ve MRR üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Farklı takım yolu stratejilerinde kaldırılan talaş miktarı aynı hacimde olmasına rağmen işleme süreleri ve elde edilen Ra değerleri farklılık göstermektedir.

Tablo 3.  $L_{16}$  deney tasarımı, sonuçları ve S/N oranları.

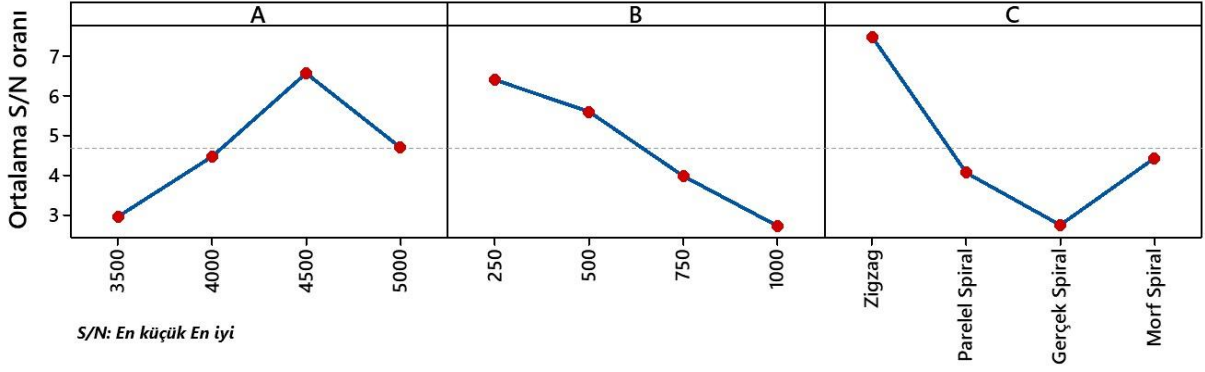
Deney no	Kesici takım devri (dev/dak)	İlerleme miktarı (mm/dak)	Takım yolu şekli	Ra ( $\mu$ m)	S/N	MRR (mm <sup>3</sup> /dak)	S/N
1	3500	250	Zig Zag	0.409	7.766	147.015	43.374
2	3500	500	Paralel Spiral	0.714	2.926	321.938	50.155
3	3500	750	Gerçek Spiral	0.998	0.017	345.444	50.768
4	3500	1000	Morf Spiral	0.877	1.140	418.356	52.431
5	4000	250	Paralel Spiral	0.505	5.934	141.28	43.002
6	4000	500	Zig Zag	0.401	7.937	292.237	49.315
7	4000	750	Morf Spiral	0.686	3.274	390.909	51.842
8	4000	1000	Gerçek Spiral	0.917	0.753	421.052	52.487
9	4500	250	Gerçek Spiral	0.494	6.125	88.765	38.965
10	4500	500	Morf Spiral	0.423	7.473	195.121	45.806
11	4500	750	Zig Zag	0.356	8.971	474.074	53.517
12	4500	1000	Paralel Spiral	0.651	3.728	497.99	53.944
13	5000	250	Morf Spiral	0.512	5.185	78.159	37.860
14	5000	500	Gerçek Spiral	0.625	4.082	187.134	45.443
15	5000	750	Paralel Spiral	0.656	3.662	439.95	52.868
16	5000	1000	Zig Zag	0.545	5.272	503.015	54.032

Şekil 3’de deneysel çalışmalarda elde edilen Ra değerlerinin S/N oranı ile işleme parametreleri arasındaki ilişki verilmiştir. Şekil 1 incelendiğinde S/N oranının en büyük değeri o parametrenin en iyi değeri olduğunu belirtir. Devir sayısının üçüncü seviyeye (4500 dev/dak) kadar artmasıyla yüzey pürüzlülük değerinde iyileşmenin olduğu görülmektedir.

Ancak son seviyesinde Ra değerinde tekrar artma eğilimi olduğu görülmektedir. Kesici takım devrinde ki artışın belirli bir değerden sonraki durumda çevresel hızın arttığı ve buna bağlı olarak titreşimin oluşması ve Ra’yı olumsuz yönde etkilediği görülmektedir. Bu nedenle benzer sonuçlara literatürde de rastlanır [22]. İlerleme miktarının artması ile

talaş kesit miktarının artmasına ve dolayısı ile kesme kuvvetlerinde artışa sebep olmaktadır [1]. İlerleme miktarının artışına bağlı olarak yüzey pürüzlük değerinde de artış meydana gelmiştir. Takım yolu stratejileri arasında en iyi yüzey pürüzlülük değeri zigzag işleme yönünde elde edilmiştir ve literatür ile benzerlik sağlamıştır [10].

Parametrenin diğer seviyelerinde işleme yapıldığı anda tezgâh hem x hemde y yönünde hareket etmektedir. Zigzag işleme yönteminde ise tezgâh sadece yana kayma miktarını gerçekleştirdikten sonra düzgün doğrusal bir hareket sağlamaktadır. Şekil 1’de verilen grafiğe göre parametrelerin optimum seviyeleri A3B1C1 olarak belirlenmiştir.



Şekil 3. Parametre seviyelerinin Ra üzerindeki S/N oranı etkisi.

Parametrelerin Ra üzerindeki etkisini belirlemek için ANOVA analizi yapılmıştır. Bütün parametrelerin her birinin bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Tablo 4 incelendiğinde Ra üzerindeki en etkin parametre

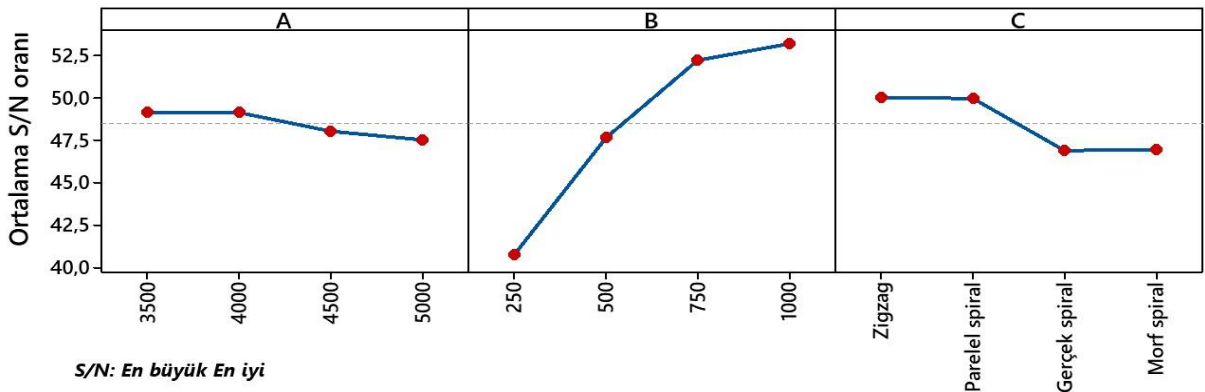
%43.755 ile takım yolu parametresi etki etmektedir [5]. Ayrıca kesici takım devri %23.569, ilerleme miktarı ise %29.392’lik bir etkiye sahiptir. İşlemin hata oranı ise %3.284 dir.

Tablo 4. Ra değeri için ANOVA sonuçları.

Parametreler	Serbestlik dereceleri	Toplam kareler	Varyans	F değeri	(%) Dağılım
Kesici takım devri (dev/dak)	3	26.33166	8.7772	36.8828	23.569
İlerleme miktarı (mm/dak)	3	32.66081	10.8869	45.748058	29.392
Takım yolu şekli	3	48.27337	16.0911	67.616595	43.755
Hata	6	1.428	0.238		3.284
Toplam		108.964			100

Şekil 4’de işleme parametrelerinin MRR üzerindeki S/N oranı etkileri gösterilmiştir. Kesici takım devrenin artması ile birlikte MRR miktarının azaldığı görülmektedir. İlerleme miktarının artmasına bağlı olarak MRR’ın arttığı literatür ile bir paralellik sağlamıştır [9, 16]. Çeşitli takım yolu şekilleri farklı kesme uzunlukları olmasına rağmen, aynı hacimde

talaş kaldırırlar [10]. Takım yolu şeklinde zigzag işleme yöntemi aynı talaş hacmine bağlı olarak en kısa sürede bir işlem gerçekleştirdiğinden dolayı optimum seviye olarak belirlenmiştir. Ayrıca zigzag işleme modeli daha kısa kesme süresi, daha fazla işleme verimliliği anlamına gelir. MRR için optimum kesme şartları A1B4C1 olarak belirlenmiştir.



Şekil 4. Parametre seviyelerinin MRR üzerindeki S/N oranı etkisi.

MRR üzerindeki etkin parametrelerin % değerlerini belirlemek için ANOVA analizi kullanılmıştır. Analiz sonuçları Tablo 5’de gösterilmiştir. İlerleme miktarı parametresi, MRR üzerinde %88.473 değeri ile en etkili parametre olmuştur. Takım yolu şekli parametresi ise %9.220

değeri ile ikinci etkin parametre olduğu belirtilmiştir. Kesici takım devri parametresinin MRR üzerinde fazla bir etkiye sahip olmadığı görülmüştür. Deneysel çalışmanın istatistiksel hata oranı ise %1.309 olması çalışmanın oldukça uygun olduğu gösterilmiştir.

Tablo 5. MRR değeri için ANOVA sonuçları.

Parametreler	Serbestlik dereceleri	Toplam kareler	Varyans	F değeri	(%) Dağılım
Kesici takım devri (dev/dak)	3	5.65611	1.8854	4.8091	0.997
İlerleme miktarı (mm/dak)	3	398.64065	132.8802	338.941958	88.473
Takım yolu şekli	3	42.59894	14.1996	36.219508	9.220
Hata	6	2.352	0.392		1.309
Toplam		449.248			100

İşleme parametrelerine bağlı Ra ve MRR’ın matematiksel modelin oluşturulması için MİNİTAB 17 paket programında yüzey yanıt yöntemi kullanılarak denklem 3-4 oluşturulmuştur. İkinci dereceden bir denklem oluşturulmuştur. Denklemin uygunluk değeri  $R^2 = 0.99$  tir. İşleme parametrelerinin en küçük ve en büyük değerleri sınırlayıcı olarak belirlenmiştir. Çalışmada iterasyon sayısı 2000, popülasyon sayısı 16, çaprazlama tipi iki noktadan çaprazlama, çaprazlama olasılığı 0.99, mutasyon oranı ise 0.005 olarak literatüre uygun bir şekilde seçilmiştir [18].

Tablo 6-7’de genetik algoritma yönteminin kullanıldığı optimum Ra ve MRR değerlerini veren işleme parametreleri verilmiştir. Optimum parametre değerleri ve bu değerleri veren seviyelerin birbiri ile uyum içerisinde oldukları görülmektedir. Tablo 6-7 incelendiğinde S/N oranı, yanıt yüzey yöntemi ve genetik algoritma yöntemi ile elde edilen değerlerin birbiri ile uyumlu olduğu görülmektedir. Genetik algoritma optimizasyon yönteminin en ideal Ra ve MRR sonuçlarını veren optimum işleme parametreleri verilmiştir.

Denklem;

$$Ra = 4.58 - 0.00209 * A + 0.000089 * B + 0.4911 * C + 0.000000227 * A^2 + 0.00000021 * B^2 + 0.08514 * C^2 \quad (3)$$

$$MRR = -104.4 + 0.0002 * A + 1.382 * B + 0.21 * C - 0.000342 * B^2 - 0.000067 * A * B - 0.0694 * B * C \quad (4)$$

Sınırlayıcılar;

$$3500 \leq A \leq 5000$$

$$250 \leq B \leq 1000$$

$$1 \leq C \leq 4$$

$$Zigzag = 1, \quad Parelal Spiral = 2, \quad Gerçek Spiral = 3, \quad Morf spiral = 4$$

Tablo 6. Slepner çeliğinin işlenmesinde Ra optimizasyon değerleri.

Optimizasyon Yöntemi	Parametreler			Sonuç
	A	B	C	Ra
S/N oranı	4500	250	Zigzag	0.278
Genetik Algoritma	4603	256	Zigzag	0,211
Yanıt Yüzey Yöntemi	4500	250	Zigzag	0.213
Kontrol deneyi	4500	250	Zigzag	0,265

Tablo 7. Slepner çeliğinin işlenmesinde MRR optimizasyon değerleri.

Optimizasyon Yöntemi	Parametreler			Sonuç
	A	B	C	MRR
S/N oranı	3500	1000	Zigzag	594.209
Genetik Algoritma	3500	998.53	Zigzag	631.20
Yanıt Yüzey Yöntemi	3500	1000	Zigzag	630.79
Kontrol deneyi	3500	1000	Zigzag	589.365

## Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada Sleipner soğuk iş takım çeliğinin finiş frezeleme yöntemi ile işlenmesinde kesme parametreleri ve takım yolu şekillerinin Ra ve MRR üzerindeki etkisi incelenmiştir. Taguchi L<sub>16</sub> deney tasarım yöntemi ile deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışma parametreleri kesici takım devri, ilerleme miktarı ve takım yolu şekli olarak belirlenmiştir. Deneysel çalışmalardan elde edilen veriler MİNİTAB 17 paket programında S/N oranına dönüştürülerek optimum işlem parametreleri belirlenip ANOVA analizi ile istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Yanıt yüzey yöntemine göre Ra ve MRR değerlerinin parametrelere bağlı olarak matematiksel formülü oluşturulmuştur. Genetik algoritma yöntemi ile minimum Ra ve maksimum MRR değeri için en uygun parametre değerleri belirlenmiştir. Deneysel çalışmalar neticesinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Kesici takım devri, Ra'yı %23.569 oranında etkilemiştir. Bu parametrenin en uygun seviyesi 4500 dev/dak ile dördüncü seviye olmuştur.
- İlerleme miktarının artması ile Ra artmıştır.
- Takım yolu şekli %43.755 etki değeri ile Ra üzerinde en etkin parametre olmuştur. Zigzag takım yolu şekli ise en uygun seviye olmuştur.
- MRR üzerinde kesici takım devri parametresinin etkisi %0.997 gibi bir değerde yok denecek kadar az olmuştur.
- İlerleme miktarı, MRR etkileyen ana kesme parametresidir. MRR ilerlemenin artması ile artmıştır.
- Takım yolu şekli parametresinde en kısa zamanda aynı talaş miktarını kaldıran zigzag parametresi olmuştur.
- S/N oranları incelendiğinde Ra için optimum parametre seviyeleri A3B1C1, MRR için ise optimum parametre seviyeleri A1B4C1 olarak belirlenmiştir.
- Optimum değerlerin belirlenmesinde, deney sonuçlarından elde edilen S/N oranları, Genetik algoritma ve matematiksel modelin sonuçları arasında çok yakın bir uyum sağlanmıştır.

## Teşekkür

Kesici takımın temini için WALTER kesici takımlar firmasında görev yapan Hayati ATLI beye teşekkürlerimi sunarım.

## Kaynaklar

- [1] B. Özlü, "Investigation of the effect of cutting parameters on cutting force, surface roughness and chip shape in turning of Sleipner cold work tool steel," *J. Fac. Eng. Archit. Gazi Univ.*, vol. 36, no. 3, pp. 1241–1251, 2021, <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.668169>
- [2] K. Aldaş, İ. Özkul, A. Akkurt, "An ANFIS-Based

Approach for Predicting the Surface Roughness of Cold Work Tool Steel in," *TEM J.*, vol. 2, no. 3, pp. 234–240, 2013,

- [3] P. G. Benardos and G. C. Vosniakos, "Predicting surface roughness in machining: A review," *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, vol. 43, no. 8, pp. 833–844, 2003, [https://doi.org/10.1016/S0890-6955\(03\)00059-2](https://doi.org/10.1016/S0890-6955(03)00059-2)
- [4] G. Quintana, J. De Ciurana, and J. Ribatallada, "Surface roughness generation and material removal rate in ball end milling operations," *Mater. Manuf. Process.*, vol. 25, no. 6, pp. 386–398, 2010, <https://doi.org/10.1080/15394450902996601>
- [5] Z. Yao and S. K. Gupta, "Cutter path generation for 2.5D milling by combining multiple different cutter path patterns," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 42, no. 11, pp. 2141–2161, 2004, <https://doi.org/10.1080/00207540310001652879>
- [6] I. F. Edem, V. A. Balogun, B. D. Nkanang, and P. T. Mativenga, "Software analyses of optimum toolpath strategies from computer numerical control (CNC) codes," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 103, no. 1–4, pp. 997–1007, 2019, <https://doi.org/10.1007/s00170-019-03604-6>
- [7] S. Moshat, S. Datta, A. Bandyopadhyay, and P. Pal, "Optimization of CNC end milling process parameters using PCA-based Taguchi method," *Int. J. Eng. Sci. Technol.*, vol. 2, no. 1, pp. 92–102, 2010, <https://doi.org/10.4314/ijest.v2i1.59096>
- [8] L. T. Tunc and D. Stoddart, "Tool path pattern and feed direction selection in robotic milling for increased chatter-free material removal rate," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 89, no. 9–12, pp. 2907–2918, 2017, <https://doi.org/10.1007/s00170-016-9896-2>
- [9] X. Lu, F. R. Wang, L. Xue, Y. Feng, and S. Y. Liang, "Investigation of material removal rate and surface roughness using multi-objective optimization for micro-milling of inconel 718," *Ind. Lubr. Tribol.*, vol. 71, no. 6, pp. 787–794, 2019, <https://doi.org/10.1108/ILT-07-2018-0259>
- [10] E. Bagci and E. U. Yüncüoğlu, "The effects of milling strategies on forces, material removal rate, tool deflection, and surface errors for the rough machining of complex surfaces," *Stroj. Vestnik/Journal Mech. Eng.*, vol. 63, no. 11, pp. 643–656, 2017, <https://doi.org/10.5545/sv-jme.2017.4450>
- [11] M. Tolouei-Rad, "Efficient CNC Milling by Adjusting Material Removal Rate," *Int. J. Mech. Mechatronics Eng.*, vol. 5, no. 10, pp. 342–346, 2011, <https://doi.org/10.5281/zenodo.1079140>
- [12] Ç. Özay, "Investigating the surface roughness after tangential cylindrical grinding by the Taguchi method," *Mater. Test.*, vol. 56, no. 4, pp. 306–311,

- 2014, <https://doi.org/10.3139/120.110561>
- [13] A. K. Gür, T. Yıldız, and B. İçen, "Theoretical evaluation of abrasive wear behavior of B<sub>4</sub>C/FeCrC coating layer evaluated by a Taguchi approach," *Mater. Test.*, vol. 62, no. 7, pp. 733–738, 2020, <https://doi.org/10.3139/120.111540>
- [14] A. K. Gür, Ç. Özay, and B. İçen, "Evaluation Of B<sub>4</sub>C/Ti Coating Layer, Investigation Of Abrasive Wear Behaviors Using Taguchi Technique And Response Surface Methodology. *Surf. Rev. Lett.*, vol. 1950225, pp. 1–17, 2020, <https://doi.org/10.1142/S0218625X19502251>
- [15] C. Gologlu and N. Sakarya, "The effects of cutter path strategies on surface roughness of pocket milling of 1.2738 steel based on Taguchi method," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 206, no. 1–3, pp. 7–15, 2008, <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.11.300>
- [16] S. Kumar, I. Saravanan, and L. Patnaik, "Optimization of surface roughness and material removal rate in milling of AISI 1005 carbon steel using Taguchi approach," *Mater. Today Proc.*, vol. 22, pp. 654–658, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.09.039>
- [17] A. M. Zain, H. Haron, and S. Sharif, "An overview of GA technique for surface roughness optimization in milling process," *Proc. - Int. Symp. Inf. Technol. 2008, ITSIM*, vol. 3, 2008, <https://doi.org/10.1109/ITSIM.2008.4631925>
- [18] Ç. Özay and Z. Küçük, "AISI 1040' in tornalama-frezeleme ile işlenmesinde yüzey pürüzlülüğünün genetik algoritma yöntemi ile optimizasyonu," *DÜMF Mühendislik Derg.*, vol. 11, no. 3, pp. 1081–1091, 2020, <https://doi.org/10.24012/dumf.685119>
- [19] A. M. Zain, H. Haron, and S. Sharif, "Application of GA to optimize cutting conditions for minimizing surface roughness in end milling machining process," *Expert Syst. Appl.*, vol. 37, no. 6, pp. 4650–4659, 2010, <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.12.043>
- [20] P. Palanisamy, I. Rajendran, and S. Shanmugasundaram, "Optimization of machining parameters using genetic algorithm and experimental validation for end-milling operations," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 32, no. 7–8, pp. 644–655, 2007, <https://doi.org/10.1007/s00170-005-0384-3>
- [21] L. Imani, A. Rahmani Henzaki, R. Hamzeloo, and B. Davoodi, "Modeling and optimizing of cutting force and surface roughness in milling process of Inconel 738 using hybrid ANN and GA," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part B J. Eng. Manuf.*, vol. 234, no. 5, pp. 920–932, 2020, <https://doi.org/10.1177/0954405419889204>
- [22] V. Savas, C. Ozay, and H. Ballikaya, "Experimental investigation of cutting parameters in machining of 100Cr6 with tangential turn-milling method," *Adv. Manuf.*, vol. 4, no. 1, pp. 97–104, 2016, <https://doi.org/10.1007/s40436-016-0134-9>