

## SAE 4140 Çeliğin Tornalanmasında Kesme Parametrelerinin Ses Seviyesi ve Yüzey Pürüzlüğüne Etkileri: Parametrelerin Optimizasyonu

Sirer ALBAYRAK<sup>1</sup>, Faruk YEŞİLDAL<sup>2\*</sup>, Cemalettin YILDIRIM<sup>1</sup>

**ÖZET:** Bu çalışmada, SAE 4140 çeliğin tornalanması esnasında ses seviyesini ve yüzey pürüzlülüğünü etkileyen parametrelerin optimizasyonu amaçlanmıştır. Kesme parametreleri (ilerleme miktarı, devir sayısı ve talaş derinliği) üçer seviyede incelenmiştir. Deneyler Yanıt Yüzey Yöntemine göre elde edilen deney planına uygun olarak yürütülmüştür. Minitab 18 programıyla yapılan analiz sonuçlarına göre ses seviyesi için en etkili parametreler sırasıyla devir sayısı, ilerleme miktarı ve talaş derinliği olarak elde edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü için en etkili parametreler ise ilerleme miktarı ve devir sayısı olarak elde edilmiştir. Hem ses seviyesi hem de yüzey pürüzlülüğü için optimum çalışma seviyeleri belirlenmiştir. Bu değerler ilerleme miktarı için  $0.1 \text{ m s}^{-1}$ , devir sayısı için  $750 \text{ dev dak}^{-1}$  ve talaş derinliği için  $0.5 \text{ mm}$  olarak önerilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Optimizasyon, Ses seviyesi, Yüzey pürüzlülüğü, Tornalama

### Effects of Cutting Parameters on Volume Level and Surface Roughness of SAE 4140 Steel in Turning: Optimization of Parameters

**ABSTRACT:** In this study, optimization of parameters affecting noise level and surface roughness during turning of SAE 4140 steel is aimed. Cutting parameters (feed rate, speed and depth of cut) were examined at 3 levels. The experiments were carried out in accordance with the test plan obtained according to the Response Surface Method. According to the results of the analysis made with the Minitab 18 program, the most effective parameters for noise were obtained as spindle speed, feed rate and depth of the cut, respectively. The most effective parameters for surface roughness were obtained as the feed rate and spindle speed. Optimum levels are determined for both volume level and surface roughness. These values are suggested as  $0.1 \text{ m s}^{-1}$  for spindle speed,  $750 \text{ rpm}$  for feed rate and  $0.5 \text{ mm}$  for depth of cut.

**Keywords:** Optimization, Volume level, Surface roughness, Turning

<sup>1</sup> Sirer ALBAYRAK (Orcid ID: 0000-0002-3201-1789), Cemalettin YILDIRIM (Orcid ID: 0000-0003-4349-9780), Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Makina ve Metal Teknolojileri Bölümü, Ağrı, Türkiye, <sup>2</sup>Faruk YEŞİLDAL (Orcid ID: 0000-0002-7307-3556), Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 25240, Erzurum.

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Faruk YEŞİLDAL, e-mail: fyesildal@atauni.edu.tr

## GİRİŞ

Makine imalatçısı için ürettiği parçanın yüzey kalitesi büyük bir öneme sahiptir. Yüzey işlemesi, işleme operasyonlarında çeşitli malzemelerin işlenmesi sırasında hayati önem taşıyan konulardan biridir. Bu nedenle, optimum yüzey parametreleri seçiminin yapılması ve gerekli yüzey kalitesinin kontrol edilmesi çok önemlidir. Bu bir başarı ölçüsüdür. Ama bunu yaparken çıkarttıkları gürültüyü hiç dikkate almazlar. Şimdiye kadar çalışmaların çoğu parçaların yüzey kalitesinin iyileştirilmesi ile ilgilidir. Ancak takım tezgâhlarının çıkarttığı gürültüyü azaltma ile ilgili fazla çalışma yoktur. Talaşlı imalatta malzemenin işlenmesi sırasında ses seviyesi iş sağlığı ve güvenliği açısından özellikle dikkat edilmesi gereken bir parametredir. Makine imalat sanayinde özellikle de aralarında sınırlı bir alana sahip çok sayıda takım tezgâhı bulunduran büyük işletmelerde tezgâh operatörleri yüksek gürültüye maruz kalmaktadır. Bu proseste ses seviyesinin azaltılması gereklidir. Bunun için bazı referans değerler mevcuttur. Avrupa Birliği Komisyonu'nun 2003/10 /EC sayılı yönergesi, 8 çalışma saati için iki günlük ses seviyesi maruziyet seviyesini göstermektedir: (i) 80 dBA'nın altında koruma tavsiye edilmez, (ii) 85 dB(A)'nın üzerinde, koruma gereklidir ve şirket ses seviyesi emisyonunu azaltmak için bir program başlatmalıdır. 80 ila 85 dBA arasında şirket, operatörlere bireysel koruma sunmalı ve yıllık olarak işitme kapasitelerini test etmelidir. (iii) Yeterli ölçümle tespit edilen haftalık ses seviyesi maruziyet düzeyi 87dB(A) maruziyet sınır değerini aşamaz (Resmi Gazete, 2013). İmalat endüstrisinde günlük maruziyet seviyesi genellikle aşılmaktadır. Ses seviyesi ile birlikte yüzey kalitesi de önemli bir performans karakteristiğidir. Yüzey pürüzlülüğü, tornalanmış yüzeylerin aşınma direnci, yorulma mukavemeti, yağlama, sürtünme ve optik özellikleri gibi kullanılabilirlik üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Hanief ve ark., 2017; Brinksmeier ve ark., 2017). Literatürde en uygun kesme parametrelerini belirlemeye yönelik birçok çalışma mevcuttur.

Araştırmacılar CNC torna tezgâhında, kuru kesme şartlarında, CuZn39Pb3 malzeme kullanarak 4 farklı ilerleme, 5 farklı talaş derinliği ve 4 farklı kesme hızında oluşan ses şiddeti, titreşim, tezgâhın çektiği akım değeri ve yüzey pürüzlülük değerleri arasındaki ilişkiyi incelediler. Optimum kesme parametrelerini belirlediler. İlerleme miktarının artmasıyla yüzey pürüzlülüğü, ses şiddeti, titreşim ve tezgâhın çektiği akım değerlerinin de arttığını belirttiler. Ayrıca titreşim değerinin artmasıyla, yüzey pürüzlülük değerinin ve ses şiddetinin de arttığını gördüler (Şahinoğlu and Güllü). Buna karşılık torna tezgâhında yapılan bir başka deneysel çalışmada (Davis ve ark., 2014) EN24 çeliğinin ıslak tornalamada kesme parametreleri (kesme derinliği, ilerleme hızı, iş mili hızı) optimize edilmiştir. EN24 çeliğinde karbür P-30 kesici takım ile ıslak koşullarda tornalama işlemlerini gerçekleştirmiş ve parametrelerin optimal seviyelerinin bir kombinasyonu elde etmişlerdir. Optimizasyon için kullandıkları Taguchi yöntemi, devir sayısının ardından kesme derinliği ve ilerleme hızının EN24 çeliğinin karbür kesici takım ile işlenirken optimum faktör seviyelerinin birleşimi olduğunu gösterdi. Bir başka çalışmada (Ranganath, Vipin, 2013), Alüminyum 6061 malzemesi için tornalama işlemi sırasında üretilen yüzeylerin pürüzlülüğünü etkileyen parametreleri araştırdılar. Bunun için Taguchi deneysel tasarım yöntemini kullanarak tornalama parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini analiz ettiler ve sonuçta devir sayısı ve ilerleme hızını yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili işlem parametreleri olarak tanımladılar. Yine Taguchi yöntemi ile yapılan bir optimizasyon çalışmasında araştırmacılar (Verma, Agrawal, Bajpai, 2012) ASTM A242 Tip-1 alaşım çeliğinin tornalanmasında en düşük yüzey pürüzlülüğünü elde etmek için optimum kesme koşullarının analizine odaklandılar. Yapılan ANOVA analizi sonuçlarına göre kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi yaklaşık %57 ve devir sayısının katkı yüzdesi ise %16 elde etmişlerdir. He, vd. bu çalışmada, tornalama işleminde yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörlerin ve teorik modelleme yöntemlerinin sistematik bir derlemesini sundular. Bir başka

çalışmada (Özdemir, 2019), AISI 409 (ferritik krom paslanmaz çelik) malzemenin CNC tornada işlenmesinde kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne etkisini deneysel olarak incelediler. Taguchi L27 deney planına göre kesme parametrelerinin optimum seviyelerini belirlediler. Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli parametreleri sırasıyla ilerleme hızı, kesme derinliği ve kesme hızı olarak belirlediler. Yine (Özdemir, 2019) yürüttüğü başka bir çalışmada C45 imalat çeliğinin tornalanması esnasında kesme hızı, ilerleme miktarı, kesme derinliği ve takım uç radyüsü gibi değişkenlerin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini inceleyerek, optimum kesme parametrelerini Yanıt Yüzey Yöntemi kullanarak belirledi. Sonuç olarak, hedef fonksiyonu olarak belirlediği yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametreleri ilerleme miktarı ve takım uç yarıçapı olduğu belirlendi. Co28Cr6Mo tıbbi alaşımının yüzey pürüzlülüğünün deneysel verilerinin modellenmesini içeren bu çalışmada araştırmacılar (Asiltürk ve ark., 2016), CNC tornada kesme parametrelerinin optimizasyonu için Yanıt Yüzey Yöntemi kullanmışlardır. Minimum yüzey pürüzlülüğünü elde etmek için devir sayısı, kesme derinliği ve takım ucu yarıçapı için elde edilen optimum değerleri belirlediler. Bu çalışmada (Tekaslan ve ark., 2008) AISI 304 östenitik paslanmaz çelik malzeme için CNC torna tezgahında yüzey pürüzlülükleri açısından optimum kesme parametrelerini belirlemeyi hedeflediler. Kesme hızının 50 m/dak'dan 75 m/dak'ya artırıldığında yüzey pürüzlülüğünün iyileştiğini, 75 m/dak' dan sonra ise ilerlemenin artırılması ile yüzey pürüzlülüğünün kötüleştiğini gördüler. Hanief ve ark. bu çalışmada, yüksek hız çeliği (HSS) kesme ucu kullanarak kırmızı pirincin (C23000) tornalanma işlemi sırasında kesme parametrelerinin (hız, kesme derinliği ve ilerleme hızı) kesme kuvvetleri üzerindeki etkilerini araştırmak için bir model geliştirmeyi amaçladılar. Kesme kuvvetlerini kesme parametreleri temelinde modellemek için yapay sinir ağı ve çoklu regresyon yaklaşımını kullandılar (Hanief ve ark., 2017). Bu makalede, kaplanmış karbür takım kullanılarak MQL destekli sert tornalamada pürüzlülük parametreleri (Ra, Rq, Rz), takım aşınma parametreleri (VB, VS) ve malzeme çıkarma oranını (MRR) Taguchi deney tasarımı ile optimize ettiler. Kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliğinin etkilerini belirlediler. Kantitatif analiz sonucunda, kesme hızının yüzey pürüzlülüğünü; kesme derinliğinin takım aşınmasını; besleme hızının ise ağırlıklı olarak malzeme uzaklaştırma oranını etkilediğini belirttiler (Mia ve ark., 2018). Bu çalışmada, farklı kesme parametre değerlerinde soğutma sıvısı ile yüksek hız çeliği kullanarak Al6061 iş malzemesi üzerinde tornalama deneyleri yaptılar. Her deney için kesme Sıcaklığı ve yüzey pürüzlülüğü değerlerini genetik algoritma kullanarak incelediler (Rajesh ve ark., 2017). Yüzey pürüzlülüğü, eşleşen yüzeylerin hassas bir şekilde oturması, yorulma ömrünün iyileştirilmesi, korozyon direnci ve estetik bakımından ürün kalitesinin yaygın olarak kullanılan bir ölçüttür. Araştırmacılar buna yönelik olarak Yapay Sinir Ağı (YSA) ve Genetik Algoritmayı (GA) entegre ederek minimum yüzey pürüzlülüğüne yol açan optimum işleme parametrelerini belirlemek için bir yaklaşım sundular. Bu çalışmada araştırmacılar yüzey pürüzlülüğünün tahmini ve optimizasyonu için ANN-GA yaklaşımının kapasitesini kontrol etmek için, Ti-6Al-4V titanyum alaşımının tornalanması sırasında elde edilen verileri kullanarak ileri beslemeli bir sinir ağı geliştirdiler (Sangwan ve ark., 2015).

Modern işleme endüstrileri genellikle iş parçası boyutsal doğruluğu, yüzey kalitesi, kesme sıcaklığı, yüksek üretim oranı, kesme takımlarında daha az aşınma, maliyet tasarrufu, iş sağlığı ve işleme performansı açısından yüksek kalitenin elde edilmesine odaklanmışlardır. Yüzey pürüzlülüğü ve gürültü birçok alanda önemli bir rol oynar ve işletme parametreleriyle birlikte değerlendirildiğinde çok önemli faktörlerdir. Yüzey pürüzlülüğü ve ses seviyesi işletme parametreleriyle birlikte değerlendirildiğinde çok etkin faktörler olup birçok alanda etkin rol oynarlar. Yüzey pürüzlülüğünün yanında ses seviyesinin de değerlendirilmesi gereklidir. Bu bilgiler ışığında bu çalışmada SAE 4140 çeliğin ses seviyesini ve

yüzey pürüzlülüğünü etkileyen parametrelerin optimizasyonu amaçlanmıştır. Dolayısıyla bu çalışmada incelenen ilerleme miktarı, devir sayısı ve talaş derinliği Yanıt Yüzey Yöntemi ile optimize edilmiştir.

## MATERYAL VE YÖNTEM

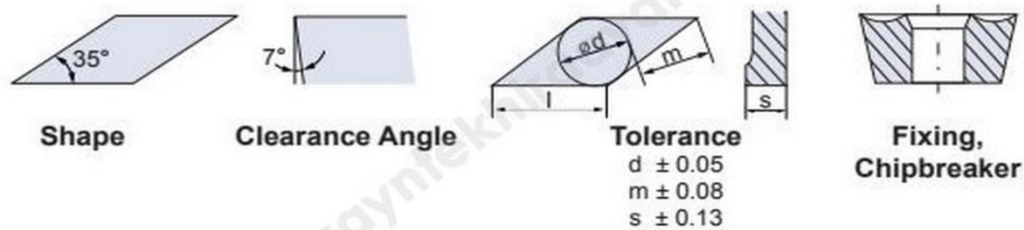
### Materyal

Araştırma SAE 4140 çeliğin Gildemeister NEF400 CNC torna tezgahında 50 mm çapında ve 150 mm boyunda tornalanması esnasında ses seviyesi ve yüzey pürüzlülüğü parametrelerinin optimizasyonunu amaçlamaktadır. Numuneler kuru kesme şartlarında gerçek üretim ortamında 50 mm çapında ve 150 mm boyunda SAE 4140 çelikten yapılmıştır. Çalışmada kullanılan SAE 4140 ıslah çeliği; krank mili gibi sünekliği yüksek olan otomotiv aksamalarında, dişli çarklarda, zirai makinalarda, civata ve somun gibi geniş ve önemli bir kullanım alanına sahiptir. Yüksek kullanım yelpazesi, yüksek tokluk özelliği ve sertleştirmeye uygun olması gibi özelliklerinden dolayı bu çalışmada SAE 4140 çeliği tercih edilmiştir. Deneyler mesai saatleri dışında atelyede hiçbir çalışma olmaksızın, yani ortam sessizliği sağlandıktan sonra sadece torna tezgahı çalıştırılarak ve mikrofon tezgah operatörünün bulunduğu yere 50 cm mesafe uzaklığa sabitlenerek yapılmıştır. Ses ölçümleri mikrofon bilgisayara bağlanarak kaydedildi. Her bir deneyde oluşan ses seviyelerinin ortalaması alındı. Gürültü ölçümü çalışanın kişisel maruziyetini gösterecek şekilde yapılmıştır. Çalışmada malzeme sertleştirilmemiş ve ses şiddetinin ölçümü için kaba tornalama işlemi tercih edilmiştir. Yani finiş tornalama işlemi yapılmamıştır. Yüksek kesme hızı ve yüksek ilerleme değerleri tercih edilerek yüksek ses şiddeti değerlerine ulaşılması amaçlanmıştır. Hem bu yüzden hem de yapılan tornalama işleminin bir kaba tornalama işlemi olmasından dolayı yüzey pürüzlülük değerlerinin nispeten yüksek çıkması sorun teşkil etmemektedir.

Deneyler Yanıt Yüzey Yöntemi'ne göre merkezi kompozit dizayn ve yüzey merkezli tasarım kullanılarak belirlenen deney planına uygun olarak yürütülmüştür. İlerleme hızı, devir sayısı ve talaş derinliği olmak üzere üç parametre için 3'er seviyede belirlenen iki hedef fonksiyon için incelenmiştir. Parametreler ve seviyeleri Çizelge 1'de verilmiştir. Devir sayısı yerine kesme hızı da kullanılabilir. Aslında devir sayısı sabit kalsa bile kesme hızı değişir. Yani çap düştükçe kesme hızı da artar. Bu da işlenebilirlik koşullarının değişmesine neden olur. Ancak bu çalışmada numune çapı sabit olduğu için (50 mm) devir sayısını kullandık.

**Çizelge 1.** Çalışmada incelenen parametreler ve seviyeleri

Tasarım değişkenleri	Seviyeler		
X <sub>1</sub> , ilerleme miktarı [mm s <sup>-1</sup> ]	0.1	0.2	0.4
X <sub>2</sub> , devir sayısı [devir dak <sup>-1</sup> ]	750	1250	1800
X <sub>3</sub> , talaş derinliği [µm]	0.5	1	2



**Şekil 1.** Akko-Vcmt kesici kalem geometrik özellikleri

Çalışmada ölçümler için kullanılan cihazlar Çizelge 2’ de verilmiştir. Ayrıca Akko-Vcmt 25x25 mm kesici kalemler her deney için ayrı ayrı olmak üzere kullanılmıştır. Kesici kalemin geometrik özellikleri Şekil 1’de detaylı bir şekilde görülmektedir.

**Çizelge 2.** Çalışmada kullanılan ölçüm cihazları

Ölçüm	Cihaz
Çap [mm]	Insize 3101-50A Mikrometre
Ses [dB]	Smartsensor AR344
Yüzey pürüzlülüğü [ $\mu\text{m}$ ]	Mitutoyo SJ-201

Yüzey pürüzlülüğü, ses seviyesi ölçümü ve numunenin işlenmesi Şekil 2’de görülmektedir. Yüzey pürüzlülüğü başlangıçta, ortada ve sonda ölçülmüş ve bu değerlerin ortalaması alınmıştır.



**Şekil 2.** a) Yüzey pürüzlülüğü ölçümü, b) Ses seviyesi ölçümü, c) Numunenin işlenmesi

### Yanıt Yüzey Yöntemi ve Deney Planı

Yanıt yüzey metodolojisi (YYY), yanıtın anlaşılmasına ve optimize edilmesine yardımcı olan gelişmiş bir tasarım tekniğidir. YYY genellikle, tarama tasarımları veya faktöriyel tasarımlar kullanarak önemli faktörleri tanımladıktan sonra modelleri netleştirmek için kullanılır (Minitab 18). Bir yanıt yüzeyi ile faktöriyel tasarım arasındaki fark, bir yanıtta eğriliğin modellenmesine izin veren ve onları yanıt yüzeyinin bir bölgesini anlamak veya eşleştirmek için kullanışlı kılan kare terimlerin eklenmesidir. Ayrıca, bir yanıtı optimize eden değişkenlerin seviyelerini bulmak ve spesifikasyonlara uygun çalışma koşullarını seçmek de diğer avantajlardır. İki ana yanıt yüzeyi tasarımı vardır: Bunlar Merkezi Kompozit Tasarım ve Box-Bohem Tasarımlarıdır. Merkezi Kompozit Tasarımlar tam bir kuadratik modele uyabilir. Sıralı deneyler gerektiğinde kullanılır, çünkü bu tasarımlar doğru planlanmış faktoring testlerinden bilgi içerebilir. Merkezi kompozit tasarımlar, sıralı testlerde özellikle yararlıdır. Benzer avantajları ve probleme uygunluğu nedeniyle, bu çalışmada Merkezi Kompozit Tasarım (Face Centered) seçilmiştir. Bu tasarım çeşitliliği, bu çalışmada olduğu gibi her faktörün 3 seviyesini gerektirir. Çizelge 3’de verilen test planına uygun olarak ses seviyesi ve yüzey pürüzlülüğünün yanıt parametrelerinin değerlerini elde etmek için yirmi deney yapıldı.

Çizelge 3. Deney planı ve sonuçlar

Deney No	Tasarım değişkenleri			Hedef fonksiyon	
	İlerleme miktarı (f)	Devir sayısı (N)	Talaş derinliği (d)	Ses seviyesi	Yüzey pürüzlülüğü (R <sub>a</sub> )
1	0.4	750	2	75	5.00
2	0.1	1800	0.5	74	1.18
3	0.2	1250	2	76	1.50
4	0.4	750	0.5	72	5.30
5	0.2	1250	1	75	0.90
6	0.4	1800	2	81	4.20
7	0.2	1250	0.5	74	0.78
8	0.1	750	0.5	70	1.10
9	0.4	1800	0.5	81	3.80
10	0.2	1250	1	76	0.97
11	0.2	1250	1	75	0.87
12	0.4	1250	1	83	3.47
13	0.2	1250	1	76	1.02
14	0.2	1250	1	76	0.98
15	0.4	750	2	81	4.50
16	0.2	750	1	75	1.56
17	0.1	1250	1	75	0.75
18	0.1	1800	2	80	0.48
19	0.2	1250	1	78	0.80
20	0.2	1800	1	81	0.57

## BULGULAR VE TARTIŞMA

### Yanıt Yüzey Yöntemi Analizi

YYY süreçleri iyileştirmek, geliştirmek ve optimize etmek için yararlı bir matematiksel ve istatistiksel teknikler yöntemidir (Sabreena ve ark., 2017). Geleneksel yöntemlerin aksine, proses değişkenleri arasındaki etkileşimler, istatistiksel tekniklerle belirlenebilir. Bu çalışmanın temel amacı, torna tezgahında ses ve yüzey pürüzlülüğünü etkileyen parametrelerin optimum değerlerini bulmaktır. İlerleme miktarı (f), devir sayısı (N), ve talaş derinliği (d), ses ve yüzey pürüzlülüğünü etkileyeceği göz önünde bulundurularak tasarım parametreleri olarak seçilmiştir. Bağımsız tasarım değişkenleri ve hedef fonksiyonları, aşağıdaki Eşitlik 1. de verilmiştir.

$$\text{Ses, } R_a = f\{f, N, d\} \quad (1)$$

Yanıt Yüzey Yöntemi, tasarım parametreleri ile objektif fonksiyon (verimlilik) arasındaki ilişkiyi polinom formunda açıklamak için kullanılır. Bu fonksiyonun geçerliliğini göstermek için varyans analizi yapılmıştır. Bu çalışmada ikinci dereceden polinom modeli seçilmiştir. Bu model daha sonra istatistiksel ve deneysel testler kullanarak bir modelin uyumunu belirledikten sonra optimizasyon probleminin tanımındaki objektif işlevi değiştirmek için kullanılır. Yanıt yüzeyinin cebirsel bir temsili olan regresyon denklemi, yanıt ve model terimleri arasındaki ilişkiyi tanımlar. Yanıt değişkenleri (ses seviyesi ve yüzey pürüzlülüğü) için ikinci dereceden model elde edildi ve aşağıdaki denklemlerle tanımlandı:

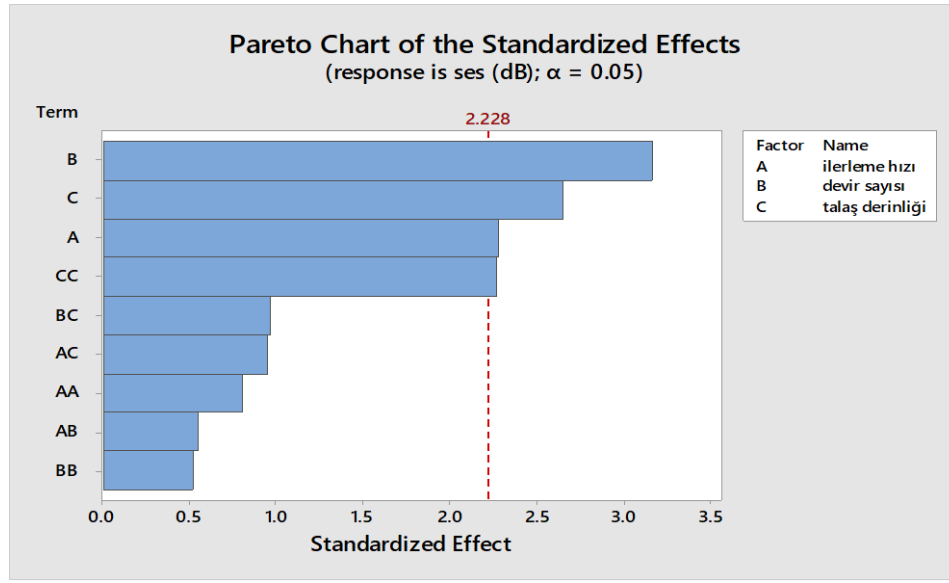
$$\text{Ses} = 59.81 - 12.9 * f - 0.0004N + 22.38d + 54.2f^2 + 0.000002N^2 - 5.96d^2 \quad (2)$$

$$R_a = 3.84 - 4.85f - 0.00266N - 1.92d + 36.1f^2 + 0.000001N^2 + 0.643d^2 \quad (3)$$

Minitab 18 programıyla yapılan YYY analiz sonuçları ve grafikler ses ve yüzey pürüzlülüğü için ayrı ayrı başlıklar halinde aşağıda verilmiştir.

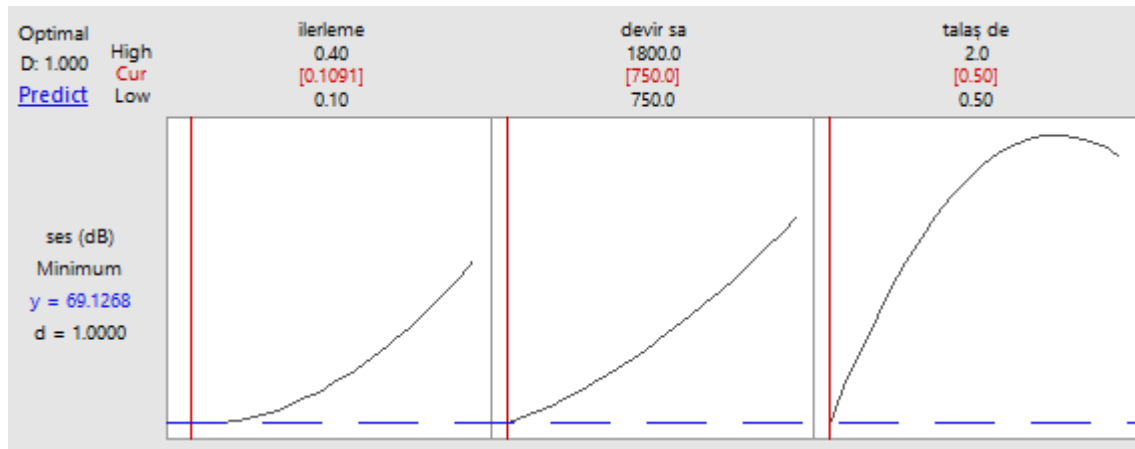
### Optimizasyon Analizi (Ses seviyesi):

Parametrelerin daha önce belirlenen performans karakteristikleri üzerindeki ana, kare ve etkileşim etkilerinin göreceli büyüklüğünü ve istatistiksel önemini karşılaştırmak için Pareto grafiği kullanılır (Minitab 18).



Şekil 3. Ses için Pareto etkileri grafiği

Ses için Pareto grafiği Şekil 3'te görülmektedir. Etkiler, mutlak değerlerin azalan düzeninde çizilmiştir. Grafikteki referans çizgisi hangi etkilerin anlamlı olduğunu göstermektedir. Bu referans çizgisinin kestiği herhangi bir etki istatistiksel olarak anlamlıdır. Şekil 2'deki Pareto grafiğinin sonuçlarına dayanarak, devir sayısı (B), talaş derinliği (C) ve ilerleme miktarının (E) istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir. Ayrıca talaş derinliğinin kare etkilerinin de (CC) etkili olduğu görülmektedir. Devir sayısının en büyük etkiye sahip olduğu açıktır.



Şekil 4. Ses için optimum sonuçlar

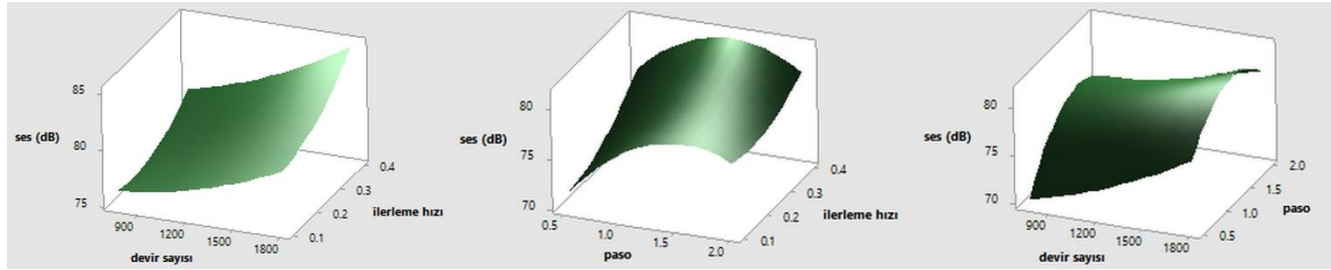
Optimizasyon grafiği, önceden belirttiğimiz parametreler göz önüne alındığında tahmin için en uygun ayarları belirlemek için kullanılır. Ses verileri için, bileşik arzu edilebilirlik 1'dir. Amaç ses seviyesini en aza indirmektir. Tahmin edilen değeri 69.1268 dB olarak elde edilmiştir. Şekil 3'den

görüldüğü gibi optimum seviyeler ilerleme için 0.1 m/s, devir sayısı için 750 d/dak ve talaş derinliği için 0.5 mm olarak elde edilmiştir. Verilen D değeri, maksimum nesnel fonksiyon değerini ifade etmektedir. Objektif fonksiyonun optimum değerinin modelden elde edilebilecek maksimum değere oranını temsil etmekte ve ayrıca geometrik parametrelerin ve optimal olarak hesaplanan değerlerin kesişimini göstermektedir (Şekil 4).

**Çizelge 4.** Tahmin çizelgesi (ses)

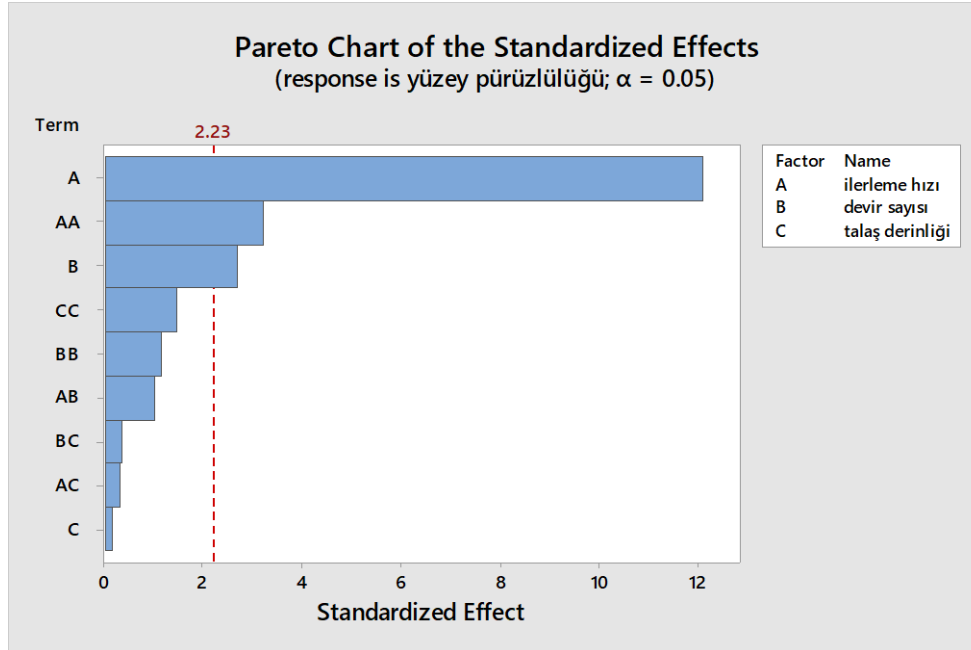
Fit	SE Fit	95% CI	95% PI
69.1327	1.86459	(64.9781; 73.2872)	(62.8051; 75.4602)

Çizelge 4'de görüldüğü gibi, giriş değişkeni ayarları aşağıdaki tahmin aralıkları ve öngörülen araçlarla ilişkilidir. Ortalama verimlilik 1.865'dir ve tek bir değer için olası değerler 62.8 ile 75.46 aralığındadır. Sonuç olarak, bu tablodan tahmin aralıklarının kabul edilebilir sınırlar içinde olduğu görülmektedir.



**Şekil 5.** Ses seviyesi için parametrelerin üç boyutlu etkileşim yüzey grafikleri

### Optimizasyon Analizi (Yüzey Pürüzlülüğü):

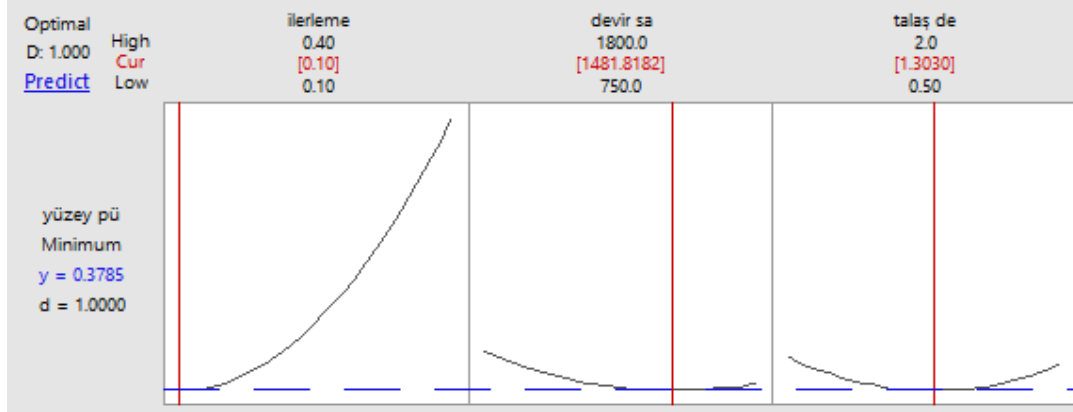


**Şekil 6.** Yüzey pürüzlülüğü için Pareto grafiği

Yüzey pürüzlülüğü için Pareto grafiği Şekil 6'da görülmektedir. Bu grafik; etkilerin göreceli büyüklüğünü ve ayrıca ana, kare ve etkileşim etkilerinin istatistiksel önemini karşılaştırmak için kullanılır. Şekil 1'deki ses sonuçlarına benzer şekilde yorumlanacak olursa burada Pareto grafiğinin



sonuçlarına dayanarak, ilerleme miktarı (A), ilerleme miktarının kare etkileri (AA) ve devir sayısının (B) istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir. Talaş derinliğinin (C) anlamlı bir etkiye sahip olmadığı da görülmektedir. İlerleme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerine en büyük etkiye sahip olduğu açıkça görülmektedir.



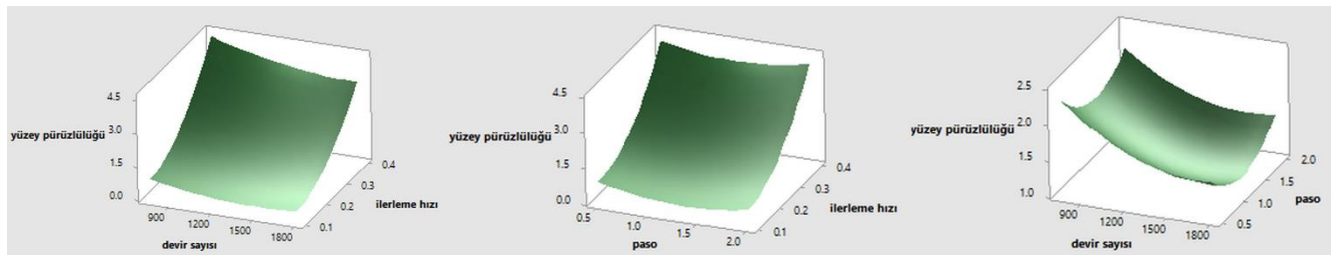
Şekil 7. Yüzey pürüzlülüğü için optimum sonuçlar

Ses verileri için, bileşik arzu edilebilirlik seste olduğu gibi burada da 1'dir. Amaç yüzey pürüzlülüğünü en aza indirmektir. Yüzey pürüzlülüğünün tahmin edilen değeri 0.3785 olarak elde edilmiştir. Şekil 6'dan görüldüğü gibi optimum seviyeler ilerleme için  $0.1 \text{ m s}^{-1}$ , devir sayısı için  $750 \text{ d}^{-1}$  ve talaş derinliği için  $0.5 \text{ mm}$  olarak elde edilmiştir.

Çizelge 5. Tahmin çizelgesi (yüzey pürüzlülüğü)

Fit	SE Fit	95% CI	95% PI
1.35275	0.310578	(0.660743; 2.04477)	(0.298795; 2.40671)

Çizelge 5'e göre ortalama verimlilik 0.31'dir ve tek bir değer için olası değerler 0.29 ile 2.4 aralığındadır. Sonuç olarak, bu tablodan tahmin aralıklarının kabul edilebilir sınırlar içinde olduğu görülmektedir.



Şekil 8. Yüzey pürüzlülüğü için üç boyutlu etkileşim yüzey grafikleri

## SONUÇ

Bu çalışmada hem yüzey pürüzlülüğü hem de ses seviyesi hedef fonksiyonları olarak belirlenmiş, her ikisini de etkileyeceği düşünülen parametreler ve seviyeleri birlikte değerlendirilerek optimizasyon yapılmıştır. Çalışma sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Sonuçta ses seviyesi için en etkili parametrelerin sırasıyla devir sayısı, ilerleme miktarı ve talaş derinliği olduğu belirlenmiştir. Buradaki devir sayısının önemli bir parametre olarak elde edilmesinin tezgâhın kendi sesinin bir sonucu olduğu düşünülmektedir. Yüzey pürüzlülüğü için

ise en etkili parametrelerin ilerleme miktarı ve devir sayısı olduğu görülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü açısından talaş derinliğinin anlamlı bir etkisi olmamıştır.

- Optimum sonuçlar hem ses, hem de yüzey pürüzlülüğü açısından aynı çıkmıştır. Bu da karar vermek açısından bize kolaylık sağlamaktadır. Bu sonuçlara göre hem ses hem de yüzey pürüzlülüğü seviyesini en aza indirmek için optimum değerler; ilerleme miktarı için  $0.1 \text{ m s}^{-1}$ , devir sayısı için  $750 \text{ dev dak}^{-1}$  ve talaş derinliği için  $0.5 \text{ mm}$  olarak elde edilmiştir.
- Artan devir sayısı iş parçasının birim zamanda daha fazla işlenmesine neden olmaktadır. Bundan dolayı ses şiddeti de artmaktadır.
- İlerleme hızı özellikle yüzey pürüzlülüğü üzerinde çok büyük bir etkiye sahiptir. Bu etki gürültü maruziyeti ile birlikte değerlendirildiğinde ilerleme miktarının kontrol edilmesi gereken bir parametre olduğu açıktır.
- İlerleme miktarı arttıkça yüzey pürüzlülüğü de artar. İlerleme miktarının artması ses seviyesini de olumsuz etkilemektedir. Talaş derinliğinin artması yüzey pürüzlülüğünü bir miktar arttırsa da ses seviyesinde ciddi bir artışa neden olmaktadır. Devir sayısı ve kesme hızının artması ise yüzey pürüzlülüğünü azaltırken ses seviyesinin artmasına neden olur.
- Optimum kesme şartlarının belirlenmesi ile malzeme israfının önüne geçmek, yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmek ve işçilerin gürültü maruziyetlerinin azaltılması hedeflenmiştir.

## KAYNAKLAR

- Asiltürk İ, Neşeli S, İnce MA, 2016. Optimisation of parameters affecting surface roughness of Co28Cr6Mo medical material during CNC lathe machining by using the Taguchi and RSM methods. *Measurement*, 78: 120-28.
- Brinksmeier E, Preuss W, Riemer O, Rentsch R, 2017. Cutting forces, tool wear and surface finish in high speed diamond machining. *Precision Engineering*, 49: 293-304.
- Davis R, Singh V, Priyanka S, 2014. Optimization of process parameters of turning operation of EN 24 steel using Taguchi Design of Experiment Method. In *Proceedings of the World Congress on Engineering*. 2-4 July 2014, London.
- Hanief M, Wani MF, Charoo MS, 2017. Modeling and prediction of cutting forces during the turning of red brass (C23000) using ANN and regression analysis. *Engineering science and technology, an international journal*, 20: 1220-26.
- Mia M, Prithbey R, Hossain MS, Arafat T, Asaduzzaman M, Shoriat Ullah M, Zobaer T, 2018. Taguchi S/N based optimization of machining parameters for surface roughness, tool wear and material removal rate in hard turning under MQL cutting condition. *Measurement*, 122: 380-91.
- Minitab 18 Statistical Software (2010). [Computer software]. State College, PA: Minitab, Inc. (www.minitab.com)
- Özdemir M, 2019. Yüzey Pürüzlülüğü üzerinde Kesme Parametrelerinin Etki Oranlarının Yüzey Yanıt Yöntemi Kullanarak Analizi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7(3): 639-648.
- Özdemir M. 2019. Optimization with Taguchi Method of Influences on Surface Roughness of Cutting Parameters in CNC Turning Processing, *Mechanika*, 25(5): 397-405.
- Resmi Gazete, 2013. Çalışanların Gürültü İle İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik. 28721, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2013/07/20130728-11.htm> (Erişim Tarihi: 10.04.2020).
- Rajesh, N, Yohan M, Venkataramaiah P, 2017. Optimization of cutting parameters for minimization of cutting temperature and surface roughness in turning of Al6061 alloy. *Materials Today: Proceedings*, 4: 8624-32.

- Ranganath MS, Vipin RS, 2013. Optimization of Process Parameters in Turning Operation of Aluminium (6061) with Cemented Carbide Inserts Using Taguchi Method and Anova. *International Journal*, 1: 13-21.
- Sabreena AH, Azma YN, Mohamad O, 2017 "Response Surface Methodology for Optimisation of Parameters for Extraction of Stevia Rebaudiana Using Water, H<sub>2</sub>O. *IIOAB Journal*, 7(1): 459-66.
- Sangwan, KS, Saxena S, Kant G, 2015. Optimization of machining parameters to minimize surface roughness using integrated ANN-GA approach. *Procedia Cirp*, 29: 305-10.
- Şahinoğlu A, Güllü A, 2015. CuZn39Pb3 malzemenin torna tezgâhında işlenmesinde oluşan akım, ses şiddeti, titreşim ve yüzey pürüzlülük değeri arasındaki ilişkinin incelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 29: 3015-10.
- Tekaslan Ö, Gerger N, Şeker U, 2008. AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerde kesme parametrelerine bağlı olarak yüzey pürüzlülüklerinin araştırılması. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10: 3-12.
- Verma J, Agrawal P, Bajpai L, 2012. Turning parameter optimization for surface roughness of ASTM A242 Type-1 alloys steel by Taguchi method. *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, 3: 255.