

INVESTIGATION OF THE LOUDNESS AND VIBRATIONS OCCURRED DURING THE DRILLING OF CUSTOM 450 STAINLESS STEEL IN TERMS OF CUTTING PARAMETERS

Hüseyin GÖKÇE*¹, Çağatay ERSİN²

¹* Çankırı Karatekin Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, huseyingokce@karatekin.edu.tr

² Çankırı Karatekin Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, cagatayersin@karatekin.edu.tr

Abstract: In this study, Custom 450 stainless steel material was subjected to drilling tests in dry conditions, and the loudness level (SS) and vibration values (TD) generated during the drilling process were measured. Four different drill bits, cutting speed (15 - 30 - 45 - 60 m/min), and feed rate (0.005 - 0.020 - 0.035 - 0.050 mm/rev) were used in the experiments conducted using the Taguchi L16 orthogonal array experimental design. Carbide drills with similar geometry and Ø4.5 mm diameter were used in the experiments. SD and TD measurements were carried out with the piezo vibration sensor and sound sensor integrated on the Arduino Uno microcontroller development board. In the light of the data obtained as a result of the experiment, regression analysis was performed and mathematical models were developed. The effects of drilling variables on SS and TD were determined by analysis of variance (ANOVA). Determination coefficients (R²) obtained as a result of regression analysis were calculated as 81.5% for SS and 91.0% for TD. As a result of the regression analysis, it was seen that the cutting speed (V_c) on SS, V_c, and feed rate (f) on TD were statistically significant on the results (P < 0.05). According to the optimization results made with the Taguchi method, optimum drilling conditions were obtained at the same values for SS and TD (V_c: 0.005 mm / rev., f: 15 m/min and 1. drill bit). According to the results, it was seen that the optimization at the 0.05 significance level was appropriate.

Keywords: Stainless steel, drilling, loudness, vibration.

CUSTOM 450 PASLANMAZ ÇELİĞİNİN DELİNMESİ SÜRECİNDE OLUŞAN SES VE TİTREŞİMLERİN KESME PARAMETRELERİ AÇISINDAN İNCELENMESİ

Özet: Bu çalışmada Custom 450 paslanmaz çelik malzeme kuru şartlarda delme deneylerine tabi tutulmuş ve delik delme sürecinde oluşan ses şiddeti (SŞ) ve titreşim değerleri (TD) ölçülmüştür. Taguchi L16 dikey dizisi deney tasarımı kullanılarak yapılan deneylerde 4 farklı matkap ucu, kesme hızı (15 – 30 – 45 – 60 m/dak) ve ilerleme miktarı (0,005 – 0,020 – 0,035 – 0,050 mm/dev) kullanılmıştır. Deneylerde benzer geometrideki Ø4,5mm çapında karbür matkaplar kullanılmıştır. SŞ ve TD ölçümleri arduino uno mikrodenetleyici geliştirme kartı üzerine entegre edilen piezo titreşim sensörü ve ses sensör ile gerçekleştirilmiştir. Deney sonucunda elde edilen veriler ışığında regresyon analizi yapılmış ve matematiksel modeller geliştirilmiştir. Varyans analizi (ANOVA) ile delme değişkenlerinin SŞ ve TD üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Regresyon analizi sonucu elde edilen determinasyon katsayıları (R²) SŞ için % 81,5 ve TD için % 91,0 olarak hesaplanmıştır. Regresyon analizi sonucunda SŞ üzerinde kesme hızının (V_c), TD üzerinde ise V_c ve ilerleme miktarının (f) sonuçlar üzerinde istatistiksel açıdan önemli olduğu görülmüştür (P<0,05). Taguchi metodu ile yapılan optimizasyon sonuçlarına göre optimum delme şartları SŞ ve TD için aynı değerlerde elde edilmiştir (15 m/dak V_c, 0,005 mm/dev kesme parametrelerinde 1 numaralı matkap ucu). Elde edilen sonuçlara göre 0,05 anlamlılık düzeyinde yapılan optimizasyonun uygun olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Paslanmaz çelik, delme, ses şiddeti, titreşim.

Reference to this paper should be made as follows (bu makaleye aşağıdaki şekilde atıfta bulunulmalı):

Gökçe, H., Ersin, Ç., 'Investigation Of The Loudness And Vibrations Occurred During The Drilling Of Custom 450 Stainless Steel In Terms Of Cutting Parameters', *Elec Lett Sci Eng*, vol. 16(2), (2020), 171-183

* *Corresponding author;* Tel.:5062921703, cagatayersin@karatekin.edu.tr

1. GİRİŞ

Eşsiz korozyon direnci, ısı iletim katsayısının düşük olması ve yüksek mekanik özellikleri nedenleri ile paslanmaz çelikler sağlık, gıda, kimya, denizcilik, savunma ve nükleer santraller gibi birçok alanda sıklıkla karşılaşılan malzemelerden olmakla beraber kullanımları da her geçen gün artmaya devam etmektedir [1-3]. Custom 450 çok iyi korozyon direnci sergileyen (yaklaşık 650°C kadar) ve ısıl işlem yöntemleri ile mekanik özellikleri önemli ölçüde artırılabilen martensitik yapıda paslanmaz çelik kalitesidir. Yaklaşık %20 oranlarında tuzlu su ortamında paslanma ve oyuklaşmaya karşı mükemmel direnç gösterir [4]. Paslanmaz çeliklerin işlenebilirliği üzerine literatürde birçok çalışma mevcut olmakla beraber Custom 450 kalitesi için yapılan yayınlar nispeten sınırlı kalmaktadır.

Gökçe yaptığı çalışmada Custom 450 martensitik paslanmaz çeliğin frezelemede yüzey pürüzlülüğü ve kesici takım aşınması dikkate alınarak, uygun kesici takım ve kesme parametreleri Taguchi metoduyla belirlenmeye çalışmıştır. Deneyler için dört farklı karbür kesici takım, 40, 80, 120, 160 m/dak kesme hızları ve 0.05, 0.1, 0.15, 0.2 mm/diş ilerleme miktarları kesme parametreleri olarak belirlemiştir. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde en fazla öneme sahip kontrol faktörü ilerleme miktarı olurken kesici takım aşınması üzerinde ise kesme hızının olduğunu ifade etmiştir [5]. Çiftçi, AISI 304 ve AISI 316 malzemelerinin kuru şartlarda tornalamasında, kesici takım kaplamasının, kesme hızının ve iş parçası malzemesinin, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini incelemiştir. Kaplama türünün kesme kuvvetleri üstünde etkili olduğunu belirtmiştir. Kesme hızının kesme kuvvetlerinde önemli derecede bir değişikliğe neden olmadığı ancak işlenmiş yüzey pürüzlülüğünü önemli derecede etkilediğini ifade etmiştir [6]. Basmacı vd., 17-4 PH paslanmaz çeliğin silici ve geleneksel uç yarıçapına sahip kesici takımlar ile kuru şartlarda tornalamasının kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerini incelemişlerdir. İlerleme oranının, kesme derinliğinin ve kesici takım uç yarıçapının kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini araştırmışlardır. En iyi sonuçların kaplamalı karbür takımlarla elde edildiğini belirtmişlerdir [7]. Selaimia vd., X2CrNi18-9 östenitik paslanmaz çeliklerin kuru şartlarda kaplamalı karbür takımlarla farklı kesme parametrelerinde frezelemede yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvveti, kesme gücü, özgül kesme kuvveti ve talaş kaldırma oranı açısından incelemişlerdir. İlerleme miktarının yüzey pürüzlülüğü ve özgül kesme kuvveti üzerinde etkili olduğunu belirtmişler kesme kuvveti ve kesme gücünün ise talaş derinliğinden etkilendiğini ifade etmişlerdir [8]. Kuram vd., Taguchi metodu kullanılarak AISI 304 paslanmaz çelik malzemeyi küresel uçlu parmak frezelerle mikro frezeleme deneylerine tabi tutmuşlardır. İş mili hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliğinin takım aşınması, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini incelenmişlerdir. Çalışmalarında bağımsız değişkenler ile bağımlı değişkenler arasındaki ilişkiyi regresyon ve bulanık mantık kullanılarak tanımlamışlardır. Elde edilen sonuçlardan, hem regresyon hem de bulanık mantık modellemesinin, takım aşınması, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğünün öngörülmesinde etkili bir şekilde kullanılabileceğini ifade etmişlerdir [9]. Shao vd., %3 Co - %12 Cr içeren paslanmaz çelik malzemenin frezelenmesi işlemi sırasında TiCN/TiN kaplamalı karbür takımının aşınma mekanizmalarını ve malzemenin işlenebilirliğini araştırmışlardır. Ayrıca kesme koşulları, yüzey bütünlüğü ve takım aşınması arasındaki ilişkiyi de incelemişlerdir [10].

Delik delme işlemiyle diğer talaşlı imalat işlemleri arasında bir karşılaştırma yapıldığında, delik delme işleminin yaklaşık % 33'lük uygulanma oranı ile en önemli talaş kaldırma işlemlerinden biri olduğu söylenebilir [11]. Talaşlı imalat işlemleri arasında delik delme işlemlerinin bu kadar önemli paya sahip olması, delik delme sürecinde karşılaşılan problemlerin çözümüyle ilgili yapılacak çalışmaların önemini de arttırmaktadır [12]. İmalat sürecinde titreşim ve titreşimin bir

fonksiyonu olan ses, büyük bir öneme sahiptir. Ses ve titreşim analizleri dinamik ve karmaşık bir süreç olan talaşlı üretimin anlaşılmasını kolaylaştırabilir [9].

Şahinoğlu yaptığı çalışmada, AA7075 alüminyum alaşımını bir dizi tornalama deneylerine tabi tutmuş ve tornalama sürecinde oluşan ses şiddetlerini ve titreşim değerlerini analiz etmiştir. Yapılan çalışma sonucunda kesme hızı ve ilerleme miktarındaki artışla ses şiddetinin arttığı ifade edilmiştir. Titreşim frekansının ilerleme miktarına bağlı olarak azalırken, kesme hızındaki artışa bağlı olarak yükseldiğini belirtmiştir [13]. Kazuhiro, titreşim değerine bağlı olarak devir sayısını otomatik belirleyen bir CNC tezgâhı tasarlamıştır. Tasarladığı CNC tezgâh ile üretilen parçalardaki yüzey kalitesinin geleneksel tezgahlara nispeten daha yüksek olduğunu ifade etmiştir [14]. Yamashita, ses şiddeti ile devir sayısının kontrol edilebildiği bir torna tezgahı ile yaptığı deneylerde zor işlenen malzemelerde yüksek yüzey kalitelerinin elde edilebildiğini ve kesme hızlarının önemli ölçüde artırıldığını açıklamıştır [15]. Nagasawa, frezeleme sürecinde meydana gelen ses şiddeti ve titreşimlerin takım ömrü ve işlenebilirlik üzerindeki etkilerini incelemiş ve süreç içerisinde devir sayısını otomatik olarak ayarlayan bir yazılım geliştirmiştir. Geliştirilen yazılımın frezeleme esnasında titreşimlerin azalmasına katkı sağladığını ayrıca takım ömründe önemli ölçüde yükselişlerin görüldüğünü belirtmiştir [16]. Hamada, kesme parametrelerinin ses analizine bağlı olarak belirlenmesinin kesici takım ömrünü uzatmakla kalmadığını ayrıca operasyon için gerekli olan kesici takım sayısını da azalttığını ifade etmiştir [17]. Altıntaş aşınma ve ses şiddeti arasında kuvvetli bir bağ olduğunu belirtmiştir. Ses şiddetini iki ayrı bölgeye ayırarak birinci bölgede daha keskin (aşınmamış) kesici takımlarla kararlı ve stabil olduğunu açıklarken ikinci bölgede aşınan takımların ses şiddetinin ve frekansının arttığını (kararsız bölge) açıklamıştır [18]. Carolan vd. alüminyum ve çelik malzemeleri frezeleme deneylerine tabi tutmuşlardır. Elde ettikleri ses şiddeti değerleri ile takım aşınması değerleri arasında ilişkiyi analiz etmişler, aşınmanın artışı ile ses şiddetinin ve frekans değerlerinin önemli ölçüde arttığını ifade etmişlerdir [19]. Rafezi vd. delme sürecinde matkapta meydana gelen aşınmayı tespit etmeye çalışmışlardır. Yaptıkları deneysel ve teorik çalışmalar sonucunda sürecin eş zamanlı olarak çalışabildiğini ve üretim maliyetlerini azaltıldığını açıklamışlardır [20]. Zdenek vd. polyester esaslı kompozit malzemelerin işlenmesi esnasında aşınmamış kesici takım ile aşınan kesici takım arasında oluşan ses şiddetinin belirgin ölçüde farklılık gösterdiğini belirtmişlerdir. Ayrıca düşük ilerleme değerlerinin de frekansı artırarak ses şiddetini artırdığını da vurgulamışlardır [21]. Wayal vd. kesme kuvvetleri ve kesme süresince oluşan titreşimleri içeren matematiksel bir model geliştirmişler ve deneysel çalışmalar ile modeli karşılaştırmışlardır. Matematiksel model ile deneysel çalışma sonuçlarının tutarlı olduğunu belirtmişlerdir [22]. Mousumi vd. çalışma ortamında olabilecek muhtemel ses düzeyinin çalışan sağlığı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Ses şiddetinin çalışan sağlığı üzerinde tehdit olabilecek bir faktör olduğunu ifade ederek önlenmesi ve/veya azaltılması gerekliliğini vurgulamışlardır [23].

Bu çalışmada, Custom 450 paslanmaz çelik malzemenin kuru şartlarda delinmesi sürecinde meydana gelen ses ve titreşim değerleri incelenmiştir. Deneylerde 4 farklı matkap ucu (M), kesme hızı (V_c : 15 – 30 – 45 – 60 m/dak) ve ilerleme miktarı (f : 0,005 – 0,020 – 0,035 – 0,050 mm/dev) kullanılmıştır. Regresyon analizi ile matematiksel modeller geliştirilmiştir. Varyans analizi (ANOVA) ile delme değişkenlerinin belirlenen kalite karakteristikleri (ses şiddeti – SŞ ve titreşim değeri – TD) üzerindeki etkileri belirlenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Malzeme

Custom 450 paslanmaz çelik deney parçası, Ø60 mm çapında silindirik malzemeden 15 mm kalınlığında kesilerek elde edilmiştir. Daha sonra toplam kalınlık delik delme deney standartları (plaka kalınlığı \geq matkap çapı (Ø4,5 \times 3) için 14 mm kalınlığa düşürülerek tesviye işlemi yapılmıştır. İş parçasının kimyasal bileşimi ve bazı mekanik özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Custom 450 paslanmaz çeliğinin bazı özellikleri [24]

Özellik	Birim	Al 5083 H116
Yoğunluk (20°C)	g/cm ³	7,75
Brinell sertlik değeri	HB	278
Akma gerilmesi	MPa	814
Çekme gerilmesi	Mpa	979
Elastikiyet modülü	GPa	200
Poisson oranı	-	0,29
Isı transfer katsayısı (20°C)	W/(mK)	15
Kimyasal bileşim	%	Fe: 75
		Cr: 14-16
		Cu: 1,25-1,75
		Ni: 5-7
		Mo:0,5-1

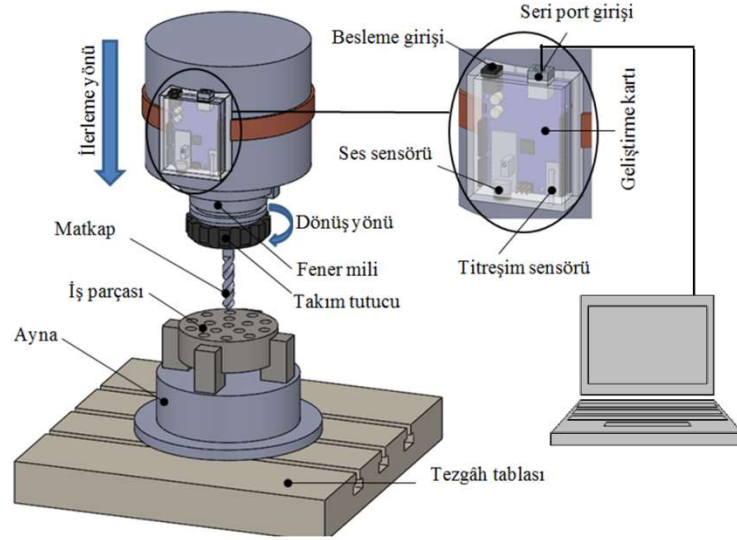
2.2. İşleme Deneyleri

Deneyler, L16 dikey dizisi yardımıyla tasarlanmış ve deneylerde kullanılan değişkenler (kontrol faktörleri) Tablo 2’de verilmiştir. İlgili malzeme için değişkenler ve seviyeleri kesici takım kataloglarında önerilen ve literatürde yer alan çalışmalar dikkate alınmıştır.

Tablo 2. Deneylerde kullanılan kontrol faktörleri ve seviyeleri

Kontrol faktörleri	Vc	f	M
Birim	m/dak	mm/dev	-
Kod	A	B	C
Seviyeler	15	0,005	1
	30	0,020	2
	45	0,035	3
	60	0,050	4

Delme deneyleri, Arion IMM-600 CNC dik işleme merkezi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Silindirik olarak hazırlanan iş parçası tezgâha 4 ayaklı bir ayna ile bağlanarak boydan boya (14 mm) delikler delinmiştir. Şekil 2’de, kurulan deney düzeneğinin tasarımı gösterilmeye çalışılmıştır.



Şekil 2. Deney düzeneği

Kesici takım (matkap) seçiminde üretici firma tavsiyeleri ve daha önce yapılan çalışmalar dikkate alınmıştır. Deneylerde kullanılan matkapların özellikleri Tablo 3’te verilmiştir. Karbür matkaplar takım tutucuya 50 mm taşma uzunluğunda ve pens yardımıyla bağlanmışlardır.

Tablo 3. Deneylerde kullanılan matkapların özellikleri

Deney Kodu	1	2	3	4
Üretici Firma Kodu	Kennametal B221A04500HP KCPK15	Kennametal B966A04500 KC7315	Kennametal B042A04500CPG KC7325	Toolex BE0450X2C24AS6N058 MG10
Teknik Özellikler	β : 135° β_0 : 30° K: TiAlN-PVD L: 80 mm L ₁ : 47 mm z: 2	β : 140° β_0 : 30° K: TiAlN-PVD L: 80 mm L ₁ : 47 mm z: 2	β : 140° β_0 : 30° K: TiAlN-PVD L: 80 mm L ₁ : 47 mm z: 2	β : 140° β_0 : 30° K: nACo L: 80 mm L ₁ : 47 mm z: 2
B: Uç açısı, β_0 : Helis açısı, K: Kaplama durumu, L: Tam boy, L ₁ : Delme boyu, z: Kesici ağız sayısı				

2.3. Ölçüm Cihazları

Delme deneyleri yapılırken SŞ ve TD’yi ölçmek için piezo titreşim sensörü ve ses sensörü kullanılmıştır. Sensörlerden alınan verilerin kontrol edilmesi ve seri port üzerinden okunması için son yıllarda kullanımı giderek artan ATmega168 tabanlı arduino uno mikrodnetleyici geliştirme kartı kullanılmıştır. Titreşim ve ses sensörleri arduino uno geliştirme kartının analog pinine bağlanmıştır. Oluşturulan ölçüm cihazının beslemesi 5 volt adaptör ile sağlanmıştır. Ölçüm cihazı CNC dik işleme merkezi fener mili üzerine yerleştirilmiştir. Deney malzemesi delinirken cihaz üzerinde yerleştirilen sensörler ve sensörlerin analog pinine bağlı bulunduğu arduino uno mikrodnetleyici geliştirme kartı anlık SŞ ve TD’yi ölçmüştür. Ölçülen değerler seri port üzerinden seri monitör aracılığı ile okunmuştur. Yapılan bu ölçüm cihazı ile CNC dik işleme cihazının malzemeyi delirken oluşan SŞ ve TD tespit edilmiştir.

2.4. İstatistiksel Metotlar

Regresyon analizi, bağımlı değişkenlerin (kalite karakteristikleri) bağımsız değişkenlerle (kontrol faktörleri) ifade edilebilmesi sağlayan matematiksel bir model kurulabilmesine olanak verir [25]. İstatistiksel hesaplamalar sonucunda elde edilen determinasyon katsayısı (R^2),

matematiksel modelin doğrulu hakkında bilgi verir. Regresyon analizi oldukça yaygın kullanılan ve bilinen istatistiksel hesaplama yöntemlerindedir.

Taguchi metodu ile kontrol faktörlerinin kalite karakteristiği üzerindeki etkilerini belirleyebilmek için deneylerden elde edilen veriler istenilen sonuca uygun amaç fonksiyonu ile Sinyal/Gürültü (S/N) oranına dönüştürülür. S/N oranı, istenilmeyen rastgele gürültü değeri için istenilen sinyal oranı olarak tanımlanmakta olup, deneysel verilerin kalite karakteristiklerini gösterir [26]. S/N oranının hesaplanması için üç temel fonksiyon vardır. Bunlar “en küçük en iyi, en büyük en iyi ve hedef değer en iyi” amaç fonksiyonlarıdır. Her üç fonksiyon içinde amaç, S/N oranını maksimize etmektir [27, 28].

Bu çalışmada kontrol faktörlerinin uygun seviyelerini belirlemek için kalite karakteristiği değerlerinin en küçük olduğu durum belirlenmelidir (ses ve titreşim değerlerinin minimize edilmesi istenir). Bu amaçla S/N oranının hesaplanmasında Eşitlik 1’de verilen “en küçük en iyi” amaç fonksiyonu kullanılmıştır. Burada; Y_i : kalite karakteristiğinin ölçülen değeri (kalite değişkeni) ve n: toplam deney (gözlem) sayısıdır.

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i^2 \right) \quad (1)$$

Kalite karakteristiği değerleri üzerinde kontrol faktörlerinin etkisini belirlemek için deney sonuçlarına %95 güven aralığında ANOVA analizi uygulanmıştır. Taguchi metodu, regresyon ve varyans analizlerinin yapılabilmesi için Minitab17 programından faydalanılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Custom 450 malzemesinin 4 farklı karbür matkap, 4 farklı Vc ve 4 farklı f ile delinmesi sonucu elde edilen SŞ, TD sonuçları ile bunlara bağlı Eşitlik 1 ile hesaplanmış S/N oranları Tablo 4’te verilmiştir. Deneyler sonucunda en düşük SŞ 74 dB ve TD 2636 Hz, en yüksek SŞ 92 dB ve TD 3242 Hz olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlara bakıldığında kalite karakteristikleri üzerinde belirlenen kontrol faktörlerinin etkili olduğu söylenebilir.

Tablo 4. Deneyler sonucunda ölçülen ses şiddeti, titreşim değerleri ve S/N oranları

Deney no	Vc	f	M	SŞ (dB)	TD (Hz)	SŞ S/N (dB)	TD S/N (dB)
1	15	0,005	1	74*	2636*	-37,3846	-68,4197
2	15	0,020	2	77	2831	-37,7298	-69,0373
3	15	0,035	3	79	2825	-37,9525	-69,0188
4	15	0,050	4	80	2959	-38,0618	-69,4222
5	30	0,005	2	82	2909	-38,2763	-69,2756
6	30	0,020	1	84	3009	-38,4856	-69,5684
7	30	0,035	4	83	2982	-38,3816	-69,4902
8	30	0,050	3	85	3074	-38,5884	-69,7548
9	45	0,005	3	86	2962	-38,6900	-69,4310
10	45	0,020	4	88	3072	-38,8897	-69,7484
11	45	0,035	1	82	3098	-38,2763	-69,8202
12	45	0,050	2	84	3179	-38,4856	-70,0465
13	60	0,005	4	86	3067	-38,6900	-69,7336
14	60	0,020	3	87	3188	-38,7904	-70,0690
15	60	0,035	2	90	3150	-39,0849	-69,9662
16	60	0,050	1	92**	3242**	-39,2758	-70,2169
Ortalama				84	3011		

* En küçük değer, ** En büyük değer

3.1. Regresyon Analizi

Eşitlik 2’de SŞ için Eşitlik 3’te ise TD için regresyon denklemleri verilmiştir. Tablo 5’te regresyon denklemlerine ait katsayılar tablosu ve determinasyon katsayıları verilmiştir. Bu tabloya göre P değerlerinin 0,05’ten küçük olması kontrol faktörünün istatistiksel olarak anlamlı olduğunun bir göstergesidir.

Eşitlik 2 ve Eşitlik 3’teki regresyon denklemlerine göre en yüksek katsayı ilerleme miktarına aittir. İlerleme miktarının artması talaş kesit alanını arttıracak ve kesme olayının gerçekleşebilmesi için daha yüksek kuvvetlere ihtiyaç duyulacaktır. Artan kuvvetler ses ve titreşim seviyelerinin artmasına neden olacaktır. [29-31].

$$S\text{Ş} = 72,0 + 0,235 Vc + 61,7 f + 0,475 M \quad (2)$$

$$TD = 2593 + 7,54 Vc + 4327 f + 6,6 M \quad (3)$$

Tablo 5 incelendiğinde kontrol faktörlerinin (SŞ için M dışında) istatistiksel olarak anlamlı olduğu söylenebilir ($P < 0,05$). R^2 ve düzeltilmiş R^2 (R^2 adj) değerleri incelendiğinde denklemlerinin; SŞ için %81,5 ve TD için %91,0 oranlarında deneyleri açıklayabildiğini ve kalite karakteristikleri ile kontrol faktörleri arasında güçlü bir ilişkinin olduğunu söyleyebiliriz. R^2 ve R^2 (adj) oranlarının da birbirine oldukça yakın ve yüksek oranlarda olması da bu sonucu kanıtlar niteliktedir.

Tablo 5. Regresyon denklemlerinin katsayılar tablosu

Tahmin unsuru	SŞ				TD			
	Coef	SE Coef	T	P	Coef	SE Coef	T	P
Katsayı	71,992	2,091	34,44	0,000	2593,09	48,93	52,99	0,000
Vc	0,23500	0,03369	6,97	0,000	7,5425	0,7886	9,56	0,000
f	61,67	33,69	1,83	0,092	4327,5	788,6	5,49	0,000
M	0,4750	0,5054	0,94	0,366	6,56	11,83	0,55	0,589
R-Sq (R^2)	%81,5				%91,0			
R-Sq(adj) (R^2 adj)	%76,9				%88,8			
Coef: Değerlerin katsayıları, SE Coef: Katsayılardaki standart hata, T: Test istatistikleri, P: Regresyon analizinin anlamlı olup, olmadığı								

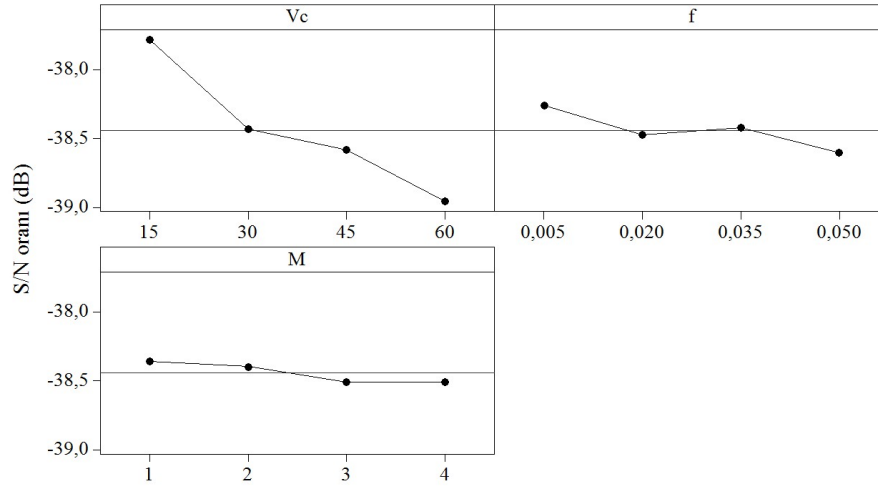
Ayrıca Tablo 6’da elde ettiğimiz çoklu doğrusal regresyon denklemlerine ait varyans analizi verilmiştir. Burada da P değerleri 0,05’ten küçüktür ($P=0,000$), dolayısıyla istatistiksel olarak anlamlı bir regresyon denklemlerimiz vardır denilebilir.

Tablo 6. Regresyon denklemlerine ait varyans analizi

SŞ					
Kaynak	DF	SS	MS	F	P
Regresyon	3	270,137	90,046	17,63	0,000
Ölçüm hatası	12	61,300	5,108		
Toplam	15	331,437			
TD					
Kaynak	DF	SS	MS	F	P
Regresyon	3	341136	113712	40,63	0,000
Ölçüm hatası	12	33586	2799		
Toplam	15	374722			

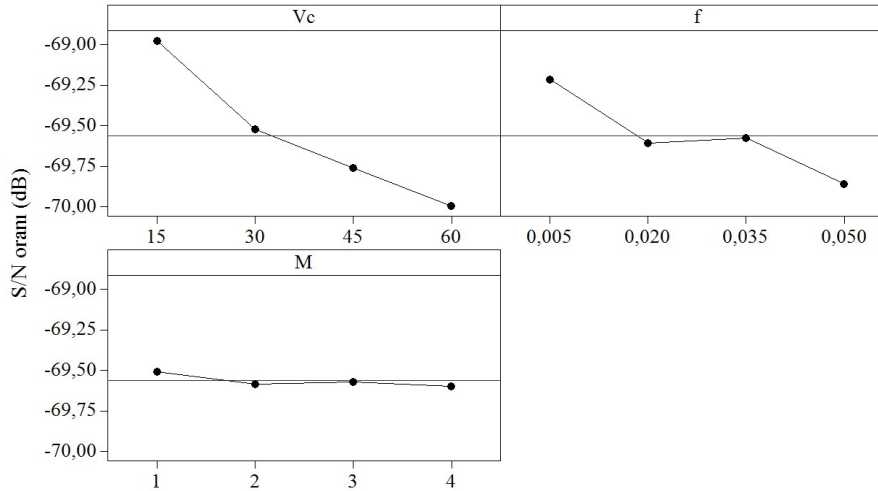
3.2. Taguchi Metodu ve Optimizasyon

Şekil 3'te SŞ S/N için ana etki grafikleri Şekil 4'te ise TD S/N için ana etki grafikleri verilmiştir. Bu grafikler kontrol faktörlerinin hangi seviyelerinin optimum sonucu vereceğini gösterir. Tablo 7 ise bu grafiklere ait sayısal veriler ve kontrol faktörlerinin önem sıralaması verilmiştir. İlgili tabloda kontrol faktörü içinde S/N oranlarının en yüksek ve en düşük değerleri arasındaki mutlak fark önem sıralamasını belirleyecektir. Buna göre; SŞ ve TD için kontrol faktörlerinin önem sırası sırasıyla Vc, f ve M'dir.



S/N: En küçük en iyi

Şekil 3. SŞ S/N oranları için ana etki grafikleri



S/N: En küçük en iyi

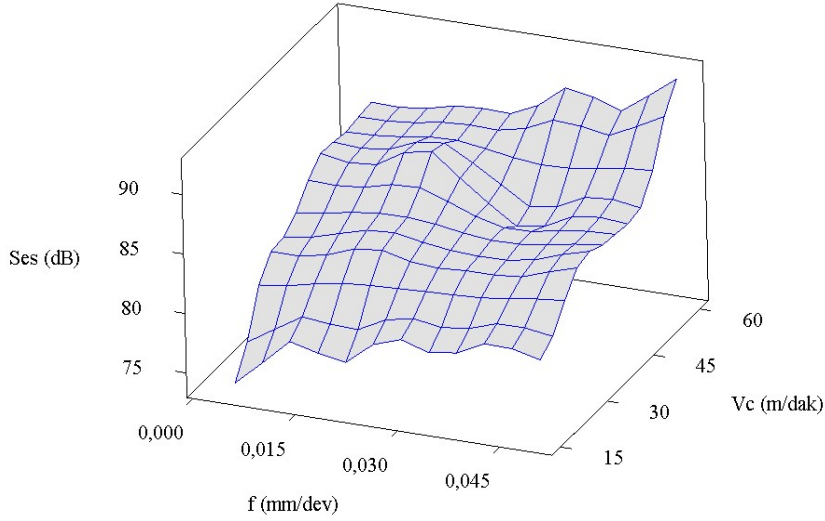
Şekil 4. TD S/N oranları için ana etki grafikleri

SŞ ve TD üzerinde en önemli iki kontrol faktörü Vc ve f'dir. Şekil 5'te Vc ve f değişiminin SŞ üzerindeki etkileşimi, Şekil 6'da ise Vc ve f değişiminin TD üzerindeki etkileşimi yüzey grafiği ile verilmiştir. Şekil 5 ve 6'da SŞ ve TD'nin Vc ve f değişimlerinden önemli ölçüde etkilendiğini, grafik üzerindeki dalgalanmaların ise diğer kontrol faktörü olan M'den de etkilendiğini göstermektedir. Grafiklerde Vc ve f'nin artan her değerinde SŞ ve TD'de de bir artış olduğunu görülmektedir. İlerleme miktarının artması ile talaş kesiti artacak ve delme için gereken güç ve dolayısıyla kesme kuvvetleri artacaktır. Artan kesme kuvveti ile de titreşim değerlerinde muhtemel bir artış kaçınılmazdır. İlerleme miktarının artması ile delme süresince

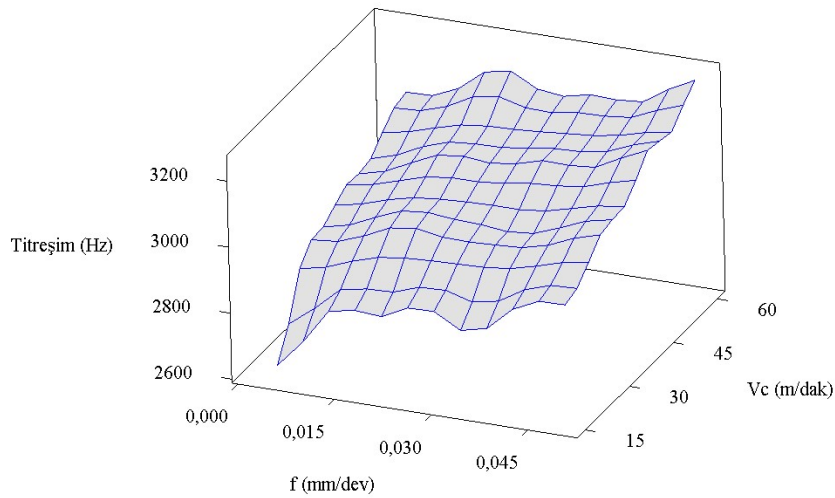
matkap daha fazla elastik davranış göstererek sehimlere neden olarak titreşim değerlerinin artmasına neden olacaktır. Ayrıca artan hız değerleri ile tezgâhın yatakları ve rulmanlarında sürtünme artacak ve dolayısıyla ses şiddetinde de yükselişler olacaktır.

Tablo 7. SŞ ve TD'nin S/N oranları için kontrol faktörlerinin önem sırası

	Seviye	Vc (dB)	f (dB)	M (dB)
SŞ	1	-37,78	-38,26	-38,36
	2	-38,43	-38,47	-38,39
	3	-38,59	-38,42	-38,51
	4	-38,96	-38,60	-38,51
	Fark	1,18	0,34	0,15
	Sıra	1	2	3
TD	1	-68,97	-69,21	-69,51
	2	-69,52	-69,61	-69,58
	3	-69,76	-69,57	-69,57
	4	-70,00	-69,86	-69,60
	Fark	1,02	0,65	0,09
	Sıra	1	2	3



Şekil 5. SŞ değerinin Vc – f etkileşimi



Şekil 6. TD'nin Vc – f etkileşimi

SŞ ve TD'nin kontrol faktörlerinden etkilenme oranları varyans analizi ile belirlenmiş ve sonuçlar Tablo 8'de verilmiştir. Tablo 8'de kontrol faktörlerinin P değerleri incelendiğinde SŞ üzerinde Vc'nin, TD üzerinde ise Vc ve f'nin istatistiksel açıdan etkili olduğu söylenebilir (P değeri<0,05). Aynı tabloda F oranlarına bakılacak olursa F oranlarının ilgili F ($\alpha:0,05$) dağılımı tablo değerinden büyük oldukları görülmektedir (F oranları > 5,99). Elde edilen bu sonuçlar ve R² oranlarının yüksek değerleri (SŞ için %87,37 ve TD için %97,89) kalite karakteristikleri ile kontrol faktörleri arasında güçlü bir bağın olduğunun göstergesidir. Ayrıca Tablo 8'de SŞ ve TD'nin belirlenen kontrol faktörlerinden etkilenme oranları da verilmiştir. Buna göre, SŞ için Vc: %79,26 – f: %6,54 – M: %1,56 oranında, TD için ise Vc: %71,34 – f: %26,19 – M: %0,36 oranında etkilidir.

Tablo 8. SŞ ve TD'nin S/N oranları için varyans analizi

	Kontrol faktörü	SD	KT	KO	F oranı	P değeri	% etki
SŞ	Vc	3	262,688	87,563	12,55	0,005	79,26*
	f	3	21,688	7,229	1,04	0,442	6,54
	M	3	5,187	1,729	0,25	0,860	1,56
	Artık hata	6	41,875	6,979			12,63
	Toplam	15	331,438				100,00
	R ²						% 87,37
TD	Vc	3	267322	89107	67,47	0,000	71,34*
	f	3	98132	32711	24,77	0,001	26,19
	M	3	1344	448	0,34	0,798	0,36
	Artık hata	6	7924	1321			2,11
	Toplam	15	374722				100,00
	R ²						% 97,89

* En yüksek katkı oranı, SD: Serbestlik derecesi, KT: Kareler toplamı, KO: Kareler ortalaması, F: Test istatistiği P: Anlamlılık düzeyi, % etki: Katkı oranı ve R²: Determinasyon katsayısı

Taguchi metodu sonuçlarına göre kalite karakteristikleri üzerinde kontrol faktörlerinin optimum seviyeleri belirlenmiştir. Buna göre SŞ ve TD açısından kontrol faktörlerinin optimum seviyeleri A1-B1-C1 (15 m/dak Vc, 0,005 mm/dev, 1 numaralı matkap) olarak bulunmuştur (Şekil 3 ve Şekil 4). Bundan sonraki aşamada yapılan optimizasyonun geçerliliğinin test edilmesi gerekmektedir. Bunun için kontrol faktörlerinin en uygun seviyelerinde doğrulama deneylerinin ve tahminsel hesaplamaların yapılması gerekmektedir. Yapılan doğrulama deneyi sonuçları, tahminsel hesaplamalar ve karşılaştırmaları Tablo 9'da verilmiştir.

SŞ'nin tahminsel değerinin (SŞ tah) hesaplanmasında Eşitlik 2 ve TD'nin tahminsel değerinin hesaplanmasında (TD tah) Eşitlik 3 kullanılmıştır. İlgili eşitliklerde SŞ ve TD'nin en düşük değerlerinin elde edilebileceği kontrol faktörlerinin optimum seviyeleri kullanılmaktadır. Eşitlik 2'de $\overline{S\check{S}}_{tah}$ deneyler sonucunda elde edilen SŞ değerlerinin aritmetik ortalaması, Eşitlik 3'te ise \overline{TD}_{tah} deneyler sonucunda elde edilen TD değerlerinin aritmetik ortalamasıdır.

$$S\check{S}_{tah} = \overline{S\check{S}}_{tah} + (\overline{A}_1 - \overline{S\check{S}}_{tah}) + (\overline{B}_1 - \overline{S\check{S}}_{tah}) + (\overline{C}_1 - \overline{S\check{S}}_{tah}) \quad (2)$$

$$TD_{tah} = \overline{TD}_{tah} + (\overline{A}_1 - \overline{TD}_{tah}) + (\overline{B}_1 - \overline{TD}_{tah}) + (\overline{C}_1 - \overline{TD}_{tah}) \quad (3)$$

Optimum kontrol faktörlerinin seviyeleri ile yapılan doğrulama deneyi sonuçları Eşitlik 4 yardımıyla hesaplanan güven aralığı (CI) değeri dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

$$CI = \sqrt{F_{0,05,(1,f_e)} Ve (1/\eta_{eff} + 1/r)} \quad (4)$$

$$\eta_{eff} = N / (1 + U_T) \quad (5)$$

Eşitlik 4 ve Eşitlik 5’te yer alan; $F_{0,05,(1,f_e)}$: $F_{0.05}$ test tablosundan hata serbestlik derecesini, V_e : Hata varyansını, η_{eff} : gerçek tekrar sayısını, r : doğrulama deneyi tekrar sayısını, N : toplam deney sayısını ve U_T : kontrol faktörlerinin serbestlik dereceleri toplamını ifade etmektedir. Buna göre; SŞ için: $F_{0,05,(1,f_e)} = 5,99$ (F test tablosundan) ve $V_e = 6,979$, TD için: $F_{0,05,(1,f_e)} = 5,99$ (F test tablosundan) ve $V_e = 1321$ (Çizelge 7) değerleri ilgili tablolardan elde edilmiştir.

Deney tekrar sayısının hesaplanması, toplam deney sayısı ve SŞ ve TD üzerinde anlamlı etkisi olan kontrol faktörlerinin serbestlik dereceleri toplamı Eşitlik 5’te yerine konulduğunda gerçek tekrar sayısı (η_{eff}) 1,60 olarak hesaplanmış ve doğrulama deneyi tekrar sayısı (r) 2 olarak uygulanmıştır (hesaplamalarda iki deney sonucunun ortalamaları alınmıştır). İlgili değerler Eşitlik 4’te yerine konulduğunda SŞ için Güven Aralığı (CI) = $\pm 7,23$, TD için CI = $\pm 99,45$ olarak bulunmuştur.

Doğrulama deneyi sonucunda elde edilen SŞ değeri (SŞ den = 75,6 dB) belirlenmiş ve bu değere ait S/N oranı (SŞ S/N den = -37,5704 dB) Eşitlik 1 ile hesaplanmıştır. Ayrıca Eşitlik 2 ile hesaplanan tahminsel SŞ tah değeri (SŞ tah = 75,125 dB) ve bu değere ait S/N oranı (SŞ S/N tah = -37,5176 dB) Eşitlik 1 yardımıyla bulunmuştur. Aynı işlemler TD için tekrarlanacak olursa; TD den = 2640,4 Hz, TD S/N den = -68,4334 dB, TD tah = 2679,56 Hz ve TD S/N tah = -68,5685 dB olarak bulunur (Tablo 9).

Tablo 9. Doğrulama deneyi sonuçları, tahminsel hesaplamalar ve karşılaştırmaları

Kalite karakteristiği	Doğrulama deneyleri		Tahminsel hesaplamalar		Farklar	
	SŞ den (dB)	SŞ S/N den (dB)	SŞ tah (dB)	SŞ S/N tah (dB)	SŞ den – SŞ tah (dB)	SŞ S/N den – SŞ S/N tah (dB)
SŞ	75,6	-37,5704	75,125	-37,5176	0,475	0,0528
TD	TD den (Hz)	TD S/N den (dB)	TD tah (Hz)	TD S/N tah (dB)	TD den – TD tah (Hz)	TD S/N den – TD S/N tah (dB)
	2640,4	-68,4334	2679,56	-68,5685	39,16	0,1351

Bu sonuçlara göre: SŞ için SŞ S/N den (-37,5704 dB) ile SŞ S/N tah oranı (-37,5176 dB) arasındaki mutlak fark 0,0528 dB, TD için ise TD S/N den oranı (-68,4334 dB) ile TD S/N tah oranı (-68,5685 dB) arasındaki mutlak fark 0,1351 dB olarak bulunmuştur. Her iki kalite karakteristiği için de bu farkların Eşitlik 4 ile hesaplanan güven aralığı (CI) değerlerinden oldukça küçük olduğu görülmektedir ($0,0528 < 7,23$) ve ($0,1351 < 99,45$).

Elde edilen bu sonuçlara göre, Taguchi metoduyla karbür matkaplarla Custom 450 paslanmaz çelik malzemenin delinmesinde ses şiddeti ve titreşim değeri açısından 0,05 anlamlılık düzeyinde yapılan optimizasyonun uygun olduğu görülmüştür.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada Custom 450 paslanmaz çelik malzemenin kuru şartlarda delinmesi sürecinde meydana gelen ses ve titreşim değerleri incelenmiştir. Deneyler için 4 farklı karbür matkap ucu, kesme hızı ve ilerleme miktarı kontrol faktörleri olarak belirlenmiştir. Taguchi L16 deney tasarımı kullanılarak yapılan deney sonuçlarına regresyon analizi yapılarak matematiksel modelleri türetilmiştir. Varyans analizi ile de delme değişkenlerinin belirlenen kalite karakteristikleri üzerindeki etkileri belirlenmiş ve ayrıca Taguchi metodu ile optimizasyon gerçekleştirilmiştir

- Ses ve titreşim değerleri üzerinde etkili olan kontrol faktörlerinin önem sıralaması sırasıyla kesme hızı, ilerleme miktarı ve matkap çeşidi olmuştur.
- Kesme hızının ses şiddeti üzerinde %79,26 ve titreşim değeri üzerinde ise %71,34 oranlarında etkili olduğu hesaplanmıştır.
- Delme süresince kesme hızı ve ilerleme miktarının ses ve titreşim üzerinde oldukça etkili olduğu görülmüştür. Yüksek kesme hızı ve ilerleme miktarı değerleri yüksek ses ve titreşimlere neden olmaktadır.
- Optimum delme durumları düşük kesme hızı (15 m/dak), düşük ilerleme miktarı (0,005 mm/dev) ve 1 numaralı matkap ile elde edilebileceği görülmüştür.
- Ses ve titreşim değerleri açısından 0,05 anlamlılık düzeyinde yapılan optimizasyonun uygun olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] Basmacı, G., "Optimization of Processing Parameters of AISI 316 Ti Stainless Steels", Academic Platform Journal of Engineering and Science 6-3, 01-07, 2018.
- [2] Darwin, J.D., Lal, D.M., Nagarajan, G., "Optimization of cryogenic treatment to maximize the wear resistance of 18%Cr martensitic stainless steel", Journal of Materials Processing Technology, vol.195, pp. 241-247, 2008.
- [3] Outeiro, J.C., Umbrello, D., M'Saoubi, R., "Experimental and numerical modelling of the residual stresses induced in orthogonal cutting of AISI 316L steel", International Journal of Machine Tools and Manufacture, vol.46, pp. 1786--1794, 2006.
- [4] İnternet: <https://www.spacematdb.com/spacemat/manudatasheets/custom%20450.pdf>
- [5] Gökçe, H. "Optimisation of Cutting Tool and Cutting Parameters in FaceMilling of Custom 450 through the Taguchi Method" Advances in Materials Science and Engineering, <https://doi.org/10.1155/2019/5868132>, 2019
- [6] Altınkaya, E. ve Güllü, A. "AISI 316 Östenitik Paslanmaz Çeliğin İşlenmesinde Talaş Kırıcı Formunun Takım Aşınmasına ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi" Journal of Polytechnic, Vol: 11 No: 1 pp.13-17, 2008
- [7] Basmacı, G., Ay, M. ve Kırbaş, İ. "Optimisation of Machining Parameters in Turning 17-4 Ph Stainless Steel Using the Grey-Based Taguchi Method" Erzincan University Journal of Science and Technology 2017, 10(2), 243-254
- [8] Selaimia, A., Yallese, M.,A., Bensouilah, H., Meddour, I., Khattabi, R. and Mabrouki, T. "Modeling and optimization in dry face milling of X2CrNi18-9 austenitic stainless steel using RMS and desirability approach" Measurement 107 (2017) 53—67
- [9] Kuram, E. and Özçelik, B. "Micro-milling performance of AISI 304 stainless steel using Taguchi method and fuzzy logic modelling" J Intell Manuf (2016) 27:817--830
- [10] Shao, H., Liu, L. and Qu, H.L. "Machinability study on 3%Co--12%Cr stainless steel in milling" Wear 263 (2007) 736--744
- [11] Tonshoff, H.L., Spintig, W., König, W., Neises, A., "Machining of Holes Developments in Drilling Technology", Annals of the CIRP, 43 (2): 551-560, (1994).
- [12] Çakır, A., Bahtiyar, O. ve Şeker, U. "Farklı Soğutma Şartları ile Farklı Kesme Parametrelerinin AA7075 ve AA2024 Alüminyum Alaşımalarında Delik Delme İşlemlerine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi" 16. Uluslararası Makina Tasarım ve İmalat Kongresi, 30 Haziran – 03 Temmuz 2014, İzmir, Türkiye.
- [13] Şahinoğlu, A. "KESME PARAMETRELERİNİN SES ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI" doktora tezi, gazi üniversitesi fen bilimler enstitüsü, 2017, Ankara
- [14] Kazuhiro, K. (2011). To suppress chatter, "harmonic spindle speed control" searches for the optimum cutting conditions. Users's Voice Machining Navi,8,1-2.

- [15] Yamashita, Y. (2011). Our best machinists produce prototypes from diverse materials eager to tackle the more complex and difficult jobs. *User's Voice*, 8, 3-4.
- [16] Nagasawa, T. (2011). Experience the difference with the "Machining Navi" even on a face mill and quickly find the optimum conditions and significant extend the tool life. *User's Voice*, 8, 6.
- [17] Hamada, H. (2011). Continuing to raise the bar by using the detection and control function for chattering, by reducing the number of tools used and machining processes and by cutting the tool costs. *User's Voice*, 8, 9-10.
- [18] Altıntaş, Y. (2012). *Manufacturing automation: metal cutting mechanics, machine tool vibrations, and CNC design*. New York: Cambridge University Press.
- [19] Carolan, T., Kidd, S., Hand, D., Wilcox, S., Wilkinson, P., Barton, J., Jones J., Reuben, R. (2005). Acoustic emission monitoring of tool wear during the face milling of steels and aluminium alloys using a fi. *Proceeding of the Institution of Mechanical Engineers*, 219, 803-810.
- [20] Rafezi, H., Behzad, M., Akbari, J. (2012). Time domain and frequency spectrum analysis of sound signal for drill wear detection. *International Journal of Computer and Electrical Engineering*, 4 (5), 722-725.
- [21] Zdenek, F., Miroslav, P., Ales, J. (2013). On The Analysis of The Sound Spectrum At Machining Of The Glass - Polyester Composite Material. *On The Analysis Of The Sound Spectrum*, 458-459.
- [22] Wayal, V., Ambhore, N., Chinchankar, S., Bhokse, V. (2015). Investigation on Cutting Force and Vibration Signals in Turning: Mathematical Modeling Using Response Surface Methodology. *Journal of Mechanical Engineering and Automation*, 5, 64-68.
- [23] Mousumi, G., Darrel, S., Binny, V., and Sugandha, M. (2017). Nois levels and sound pollution associated with various operative procedures and equipments in a pediatric dental environment - A Clinical Study. *Journal of Oral Biology and Craniofacial Research*, 293, 6-26.
- [24] <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=3da8f1cd94994fe8b34df5a23d6f6e03&ckck=1>
- [25] Başar, G., & Kahraman, F. (2017). Delik işleme prosesinde kesme parametrelerinin Taguchi metodu ve regresyon analizi kullanılarak modellenmesi ve optimizasyonu. 2nd International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2017), 688-695.
- [26] Aydemir, M.E. (2014). Bazı optimizasyon yöntemlerinin yama anten problemlerindeki performansı. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*. 29(3). 579-588.
- [27] Çiftçi, İ. ve Gökçe, H., (2019). Optimisation of cutting tool and cutting parameters in machining of molybdenum alloys through the Taguchi Method. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*. 34(1). 201-213.
- [28] Saat, M., (2000). Kalite denetiminde Taguchi yaklaşımı. *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*. 3. 97-108.
- [29] Gökçe, H., Çiftçi, İ. and Demir, H. "Cutting parameter optimization in shoulder milling of commercially pure molybdenum", *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 40:360, 2018.
- [30] Korkmaz, M.E., Çakıroğlu, R., Yaşar, N., Özmen, R., Günay, M. "Al2014 Alüminyum Alaşımının Delinmesinde itme Kuvvetinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi", *El-Cezerî Journal of Science and Engineering*, 6:1, 193-199, 2019.
- [31] Çaydaş, U., Çelik, M. "AA 7075-T6 alaşımının delinmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, takım sıcaklığı ve ilerleme kuvvetine etkilerinin araştırılması", *Journal of Polytechnic*, 20(2): 419-425, 2017