



**POLİTEKNİK DERGİSİ**  
**JOURNAL of POLYTECHNIC**

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)  
URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>

**R260 çeliklerinin işlenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, güç tüketimi ve makine gürültüsü üzerine etkileri**  
*Effect of the cutting parameters on surface roughness, power consumption and machine noise in machining of R260 steel*

*Yazar(lar) (Author(s)): Şener KARABULUT<sup>1</sup>, Abidin ŞAHİNOĞLU<sup>2</sup>*

*ORCID<sup>1</sup>: 0000-0001-6384-8162*

*ORCID<sup>2</sup>: 0000-0003-0040-442X*

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Karabulut Ş. ve Şahinoğlu A., "R260 çeliklerinin işlenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, güç tüketimi ve makine gürültüsü üzerine etkileri", *Politeknik Dergisi*, 21(1) : 237-244, (2018).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.371299

# R260 Çeliklerinin İşlenmesinde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü, Güç Tüketimi ve Makine Gürültüsü Üzerine Etkileri

*Araştırma Makalesi /Research Article*

**Şener KARABULUT<sup>1\*</sup>, Abidin ŞAHİNOĞLU<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Hacettepe ASO 1.OSB Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, ANKARA

<sup>2</sup>Çankırı Karatekin Üniversitesi Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, ÇANKIRI

(Geliş/Received : 09.11.2017 ; Kabul/Accepted : 08.12.2017)

## ÖZ

Hadfield çelikleri yüksek aşınma direncine, tokluğa, yüksek akma ve çekme mukavemetine sahip malzemelerdir. Ray çelikleri olarak da bilinen Hadfield çelikleri aşınma, darbe ve yorulma dayanımından dolayı çoğunlukla demiryolu ulaşımında kullanılmaktadır. Bu çalışmada, Hadfield çeliklerinin işleme davranışı ve işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, makine gürültüsü ve güç tüketimi üzerindeki etkisi kuru işleme koşullarında yatay freze tezgâhı kullanılarak araştırılmıştır. Deneysel çalışmalar, ağır işleme koşullarında sabit kesme hızı, dört farklı ilerleme hızı ve altı farklı talaş derinliğinde ve gerçek bir üretim ortamında yapıldı. Frezeleme değişkenlerinin yüzey pürüzlülüğü, makine gürültüsü ve güç tüketimi üzerindeki etkisi varyans analizi (ANOVA) kullanılarak değerlendirildi. Deneysel sonuçlar, kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki en önemli kesme parametresi olduğunu göstermiştir. Kesme derinliğinin artmasıyla yüzey pürüzlülüğü değeri belirgin şekilde iyileşmiştir. Güç tüketimi ve makine gürültüsü, deneylerde kullanılan artan ilerleme hızı ve kesme derinliği değerlerinin artmasından etkilenmiştir.

**Anahtar Kelimeler :** Hadfield çeliği, Sert frezeleme, yüzey pürüzlülüğü, makine gürültüsü, güç tüketimi.

# Effect of the Cutting Parameters on Surface Roughness, Power Consumption and Machine Noise in Machining of R260 Steel

## ABSTRACT

Hadfield steels are the materials having with high wear resistance, toughness, high yield and tensile strength. Hadfield steels, also known as rail steels, are commonly used for rail transport due to their wear, impact and fatigue strength. In this study, machining behavior of the Hadfield steels and the effect of the machining parameters on surface roughness, machine noise and power consumption were investigated under dry cutting conditions using horizontal milling machine. Experimental studies were carried out a real production environment using constant cutting speed, four different feed rate and six different depth of cut under heavy machining conditions. The influence of the milling variables on surface roughness, machine noise and power consumption were evaluated by using Analysis of variance (ANOVA). The experimental results showed that the depth of cut was the most significant cutting parameter on the surface roughness. Surface roughness value was remarkably improved with increasing depth of cut. Power consumption and machine noise were affected from increasing feed rate and depth of cut values used in the experiments.

**Keywords :** Hadfield steel, hard milling, surface roughness, machine noise, power consumption

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Ray çeliği olarak bilinen östenitik mangan çeliği (Hadfield çeliği), yüksek akma ve çekme dayanımı ile birlikte mükemmel aşınma direncine sahip tok ve manyetik olmayan bir alaşımdır. Uygulanan ısıl işlemlere bağlı olarak mekanik özelliklerinde iyileşmeler meydana gelmektedir. Yüksek aşınma dirençleri ve tok yapılarından dolayı demiryollarında, madencilik sektöründe, tank paletlerinde, pompa ekipmanlarında ve aşınma direnci gerektiren çeşitli mühendislik

uygulamalarında tercih edilmektedir [1,2]. Bununla birlikte, aşırı sertlik, düşük termal iletkenlik ve deformasyon sertleşmesi davranışından ötürü bu çeliğin işlenmesi oldukça zordur. Kesme sırasında oluşan yüksek kesme kuvvetleri, yüksek kesme sıcaklıkları ve kesici takım aşınması, hedeflenen iş parçası yüzey kalitesi ve boyut hassasiyetinin elde edilmesini zorlaştıran unsurlardır [3-4]. İmalat süreçlerinde, iş parçasının yüzey kalitesi ve boyutsal tamlığı, kesme parametrelerinden, kesici takım malzemesinden, takım geometrisinden, talaş oluşumundan ve kesme sırasında ortaya çıkan titreşimden büyük ölçüde etkilenir [5,6]. Daha uzun takım ömrüne sahip yüksek kaliteli bir iş

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : senerkarabulut@hacettepe.edu.tr

parçası ve daha sağlıklı ve güvenli bir çalışma ortamı işleme parametrelerinin doğru bir şekilde seçilmesi ve kesme işleminin doğrudan izlenmesiyle sağlanabilir. Bundan dolayı, araştırmacılar metal kesme işlemlerinde iş parçası yüzey kalitesi, takım aşınması, kesme kuvvetleri, titreşim ve kesme sıcaklıkları üzerinde kesme parametrelerinin ve kesme şartlarının etkilerini belirlemek için çok fazla sayıda çalışma yapmışlardır. Neşeli ve Yıldız [7] tornalama işleminde kesici takım yavaşlama açısı ve talaş açısına bağlı olarak meydana gelen kesici takım turlama titreşimlerinin iş parçası yüzey kalitesi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Yazarlar, kesici takım giriş açısının artması ve negatif talaş açısının azalmasıyla birlikte turlama titreşiminin arttığını, titreşim artışına bağlı olarak iş parçası yüzey kalitesinin bozulduğunu rapor etmişlerdir. Kıvak [1], Hadfield çeliğinin frezeleme işlemi sırasında, kesme parametrelerinin takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini araştırmış ve en uygun frezeleme parametreleri için tahmin modeli geliştirmiştir. İş parçası yüzey kalitesi üzerinde en etkili parametrenin ilerleme hızı, takım aşınması üzerinde en etkili parametrenin kesme hızı olduğu rapor edilmiştir. Reck ve ark. [8] alüminyum malzemenin frezelenmesi sırasında tezgâhın ürettiği ses düzeyini mikrofon kullanarak ölçmüşlerdir. Yazarlar gürültü üzerinde en etkili parametrenin, iş parçasının mekanik özellikleri olduğunu, kesme hızı, ilerleme ve eksenel kesme derinliğinin, darbe enerjisini artırarak ses basıncını artırmaya eğilim gösterdiğini rapor etmişlerdir. Radyal talaş derinliğinin gürültü üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını gözlemlemişlerdir. Son yıllarda, takım tezgâhlarının işleme performansları artarken çevre ve operatörler üzerindeki İş Sağlığı ve Güvenliği sorunları da (İSG) gündeme gelmektedir. Operatörler iş ortamında tezgâhlar tarafından üretilen gürültünün meydana getirdiği sağlık problemleri ile karşı karşıya kalmaktadırlar. İşlenmesi zor parçaların imalatı sürecinde, operatörler birbirine yakın yerleştirilmiş çok sayıda makinenin ürettiği gürültü, günlük maruziyet sınır değerinin üzerinde yüksek gürültüye maruz kalmaktadırlar [9-12]. Alüminyum ve mekanik özellikleri yüksek çelikler gibi malzemelerin freze tezgâhında işlenmesi sırasında 100 dBA'nın üzerinde bir gürültü oluşmaktadır. Bu nedenle imalat ortamlarında gürültü emisyonlarını azaltmak için frezeleme operasyonlarının üzerine odaklanmak gerekmektedir [13]. Bugüne kadar yapılan talaş kaldırma veya kesme işlemlerinde yapılan araştırmaların çoğu, gürültünün ana hedef olarak azaltılması olarak düşünülmüştür. Literatürde kesici takım aşınmasının izlenmesiyle ilgili çok sayıda çalışma bulunabilir, ancak çoğu çalışmada araştırmacılar işleme alanı dışındaki yüksek akustik frekansları (> 100 kHz) göz önüne almaktadır (maks. 1 ila 5 kHz arasındaki hassasiyet). Bazı araştırmacılar buna ek olarak, tezgâh titreşimlerini saptamak için ses emisyon analizini kullanmışlardır [14-16], ancak yine de ses basıncı seviyesi ile insanın işleme aralığı ilişkisine dikkat edilmemiş ya da gürültü maruziyet yasal eşiği

düşünülmüştür. Tekiner ve Yeşilyurt [16], AISI 304 çeliğin tornalanmasında kesme parametrelerinin tezgâh titreşimi, kesici takım aşınması, yüzey kalitesi ve tezgâh sesi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Araştırmacılar tezgâh güç tüketimi, tezgâh ses şiddeti, kesici takım aşınması ve yüzey kalitesi için en uygun kesme parametrelerini belirlemişlerdir. Şahinoğlu ve ark. [17] GGG50 dökme demir malzemenin torna tezgâhında işlenmesi sırasında ortaya çıkan titreşim ve ses şiddetinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Araştırmacılar, ilerleme hızı artışına bağlı olarak tezgâh titreşiminin, ses şiddetinin ve yüzey pürüzlülük değerinin arttığını ifade etmişlerdir. Bir başka çalışmada, Şahinoğlu ve ark. [18], Al 7075 malzemenin torna tezgâhında işlenmesi sırasında oluşan titreşim ve yüzey pürüzlülüğünü araştırmışlardır. Araştırmacılar, titreşim ve iş parçası yüzey kalitesi üzerinde en etkili kesme parametresinin ilerleme hızı olduğunu, titreşim ve yüzey kalitesi arasında bir korelasyon bulunduğunu rapor etmişlerdir. Üretim işlemlerinde enerji tüketimi, üretim maliyeti ve çevre üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Sealy ve ark. [19] sert parçaların hassas frezelenmesinde enerji tüketimini araştırmışlardır. Kesme hızı ve ilerleme hızı ile kıyaslandığında kesici takım aşınmasının özgül enerji tüketimi üzerinde en etkili faktör olduğunu belirlemişlerdir. Talaş kaldırma oranının enerji tüketimi üzerinde dikkate değer bir etkisinin olmadığını, ancak talaş kaldırma oranı arttıkça enerji tüketiminin de arttığını ifade etmişlerdir [20-24]. Metal kesme işlemlerinde kesme sıcaklığı, kesme parametrelerine bağlı olarak oluşur ve kontrol altında tutulmadığında kesici takım aşınmasına ve bunun bir sonucu olarak tezgâh güç tüketiminin artmasına sebep olur [25]. Toh'a [26] göre, metal kesme sırasında üretilen toplam ısının yaklaşık %80-90'ı talaş ile uzaklaştırılırken, yaklaşık %10-20'si iş parçasına dağılmaktadır. Toh, frezeleme sırasında, kesici takımın durumunu dolaylı olarak tanımlayacak olan talaş yüzey sıcaklığını kızıl ötesi teknik kullanarak ölçmüş, talaş sıcaklığının, kesici takım yan kenar aşınması ve eksenel talaş derinliğinin artmasıyla birlikte arttığını rapor etmiştir. Korkut ve ark. [27], takım talaş ara yüz sıcaklığının tahmini için regresyon analizi ve yapay sinir ağı modeli geliştirmiş ve deneysel olarak doğrulamışlardır. Önerilen tahmin modelinin yüksek doğrulukta olduğu ve takım talaş ara yüz sıcaklığının tahmin edilmesine uygun olduğu gözlenmiştir.

Literatür taramasından, yüzey pürüzlülüğü üzerinde, kesme parametrelerinin önemli bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Bunlarla birlikte kesme parametreleri ve işlenen malzemeye bağlı olarak enerji tüketimi ve tezgâhın ses seviyesi değişim göstermektedir. Bu çalışmada, ray çeliğinin işlenmesinde talaş derinliğinin ve dış başına ilerleme miktarının iş parçası yüzey pürüzlülüğü, tezgâh ses seviyesi ve güç tüketimi üzerindeki etkileri gerçek üretim ortamında deneysel olarak araştırılmıştır. Deneylerden elde edilen veriler varyans analizi (ANOVA) ile yorumlanmış, yüzey pürüzlülüğü, enerji tüketimi ve tezgâh ses şiddeti arasındaki ilişki incelenmiştir.

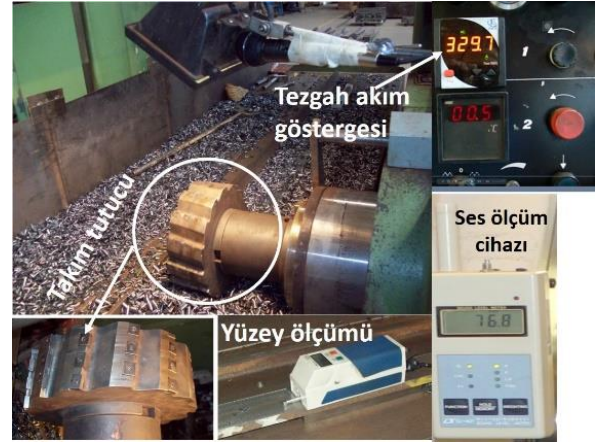
## 2. MALZEME VE METOD (MATERIAL AND METHOD)

Talaş kaldırma deneyleri; gerçek üretim ortamında Hadfield çeliği üzerinden yatay işleme merkezinde, kuru işleme şartlarında, 2400 mm uzunluğunda ray çeliği üzerinden yukarı yönlü (konvansiyonel) frezeleme yapılarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerde, ısıl direnci yüksek, tok ve sert malzemelerin işlenmesinde kullanılan LNE424-117T03 J IN2045 karbür kesici uçlar kullanılmıştır. Talaş kaldırma işlemlerinde, Şekil 1'de görüleceği gibi 250 mm çapında tarayıcı başlık üzerine 42 adet kesici uç yerleştirilmiştir. Her talaş kaldırma deneyinde takım tutucu üzerinde bulunan kesici uçların yeni kenarları kullanılmıştır. Mitutoyo Surftest SJ210 yüzey pürüzlülük cihazı (Cut off length 2.5 mm) kullanılarak, işlenmiş yüzey boyunca beş farklı bölgeden yüzey pürüzlülük ölçümü yapılmış, istatistiksel olarak anlamlı sonuç elde etmek için maksimum ve minimum değerler atılarak geri kalan ölçümlerin ortalaması alınmıştır. Çizelge 1'de sunulan ve deneylerde kullanılmış olan kesme parametreleri firmanın üretimde kullanmış olduğu değerlerdir. Bu nedenle deneysel çalışmalarda firmanın kullanmış olduğu değerlere bağlı kalınmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan R260 ray çeliğine ait kimyasal kompozisyon ve sertlik değeri Çizelge 2'de sunulmuştur.

**Çizelge 1.** Frezeleme deneylerinde kullanılan kesme parametreleri (Cutting parameters used in the milling tests)

Kesme parametreleri	
Radyal kesme derinliği, $a_p$ (mm)	5–8–10–12–16–20
Dış başına ilerleme oranı, $f_n$ (mm/diş)	0.11–0.14–0.16–0.19
Kesme hızı, $V_c$ (m/min)	130
İş parçası boyutları, mm	2400 x 60
Eksenel talaş derinliği, $a_e$ (mm)	60
Kesici çapı, $D_c$ (mm)	250
Kesici diş sayısı, $z$ (adet)	42

Deneylerde talaş kaldırma işlemi sırasında tezgâhın harcamış olduğu güç tüketimi tezgâhın dijital göstergesinden takip edilmiş, kesme işleminin başlamasından bitimine kadar geçen zaman aralığı içerisinde okunan değerler not edilerek ortalaması alınmıştır. Tezgâhın talaş kaldırma işlemi sırasında kesme şartlarına bağlı olarak çıkarmış olduğu ses düzeyi LT lutron SL-401 model ses şiddeti ölçme cihazı ile ölçülmüştür. Cihazın ses ölçüm aralığı 30 – 130 dB, frekansı da 31.5 – 8.000 Hz arasındadır. Deneyler sırasında cihazın ekranında görülen veriler düzenli olarak takip edilmiş ve Excel sayfasına kaydedilmiştir. Kesme işleminin başlamasından bitimine kadar oluşan ses düzeylerinin ortalaması alınmıştır.



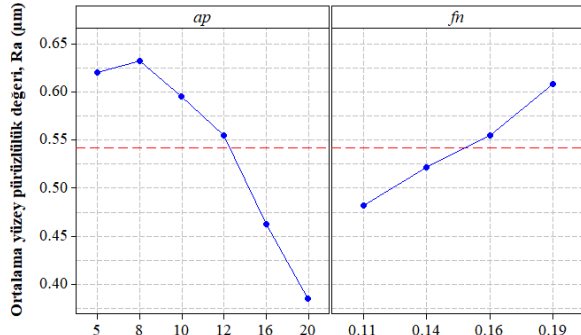
**Şekil 1.** Deney düzeneğinin genel görünümü (Overview of the experimental setup)

## 3. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA (EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION)

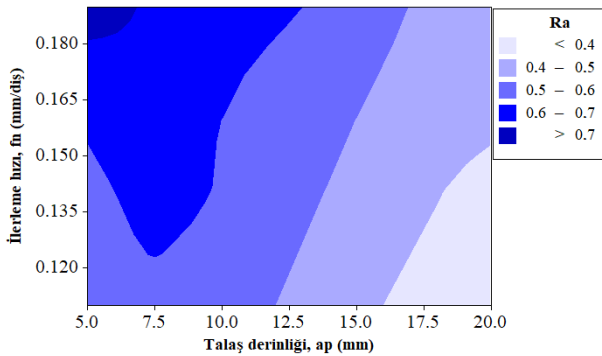
Bu çalışmada sabit kesme hızında, altı farklı talaş derinliğinde ve dört farklı ilerleme hızlarında kuru kesme şartlarında talaş kaldırma deneyleri yapılmıştır. Talaş kaldırma işlemleri gerçek üretim ortamında kullanılan kesme parametreleri kullanılarak yapılmıştır. Üretimde kullanılan kesme parametrelerinin iş parçası yüzey pürüzlülüğü, tezgâh gürültüsü ve tezgâhın enerji tüketimi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Şekil 2'de kesme parametrelerinin iş parçası yüzey pürüzlülüğü üzerindeki ortalama etkisi verilmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan ray çeliğinin talaşlı imalatında yüzey kalitesi oldukça önemlidir. Yüzey kalitesinin iyi olması iş parçasının sürtünme ömrünü, yorulma mukavemetini ve korozyon direncini önemli oranda iyileştirmektedir. Şekil 2'de sunulan ortalama etki grafiği incelendiğinde talaş derinliğinin artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülüğünde dikkate değer bir iyileşme meydana geldiği görülmektedir. Bu durumun malzemenin özelliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Önceki çalışmalarda, Hadfield çeliklerinin kimyasal yapısından dolayı talaş kaldırma işlemi sırasında deformasyonla birlikte yüzeyde sertleşme meydana geldiği iyi bir yüzey pürüzlülüğü elde edildiği ifade edilmiştir [27, 28]. Dolayısıyla deneysel çalışmada kullanılan talaş derinliklerinde yapılan artışlara bağlı olarak, malzemenin özelliğinden dolayı iş parçası yüzeyinde deformasyon sertleşmesinin meydana geldiği ve bu durumun yüzey pürüzlülüğünü olumlu olarak etkilediği düşünülmektedir. Ayrıca, Şekil 1'de görüleceği üzere deneylerde kullanılan tarayıcı başlık on dört ağızlı ve her bir ağız boyunca üç adet kesici uç açılı olarak yerleştirilmiştir. Toplam kesme derinliği, ilerleme hızına bağlı olarak kesici ağızlar arasında dağılmaktadır. Artan kesme derinliği ile birlikte uç yarıçapının malzemeye tamamen battığı ve daha stabil bir kesme işlemi yaptığı düşünülmektedir. Bu durum yüzey pürüzlülük değerinin iyileşmesini sağlamıştır.

**Çizelge 2.** Kimyasal kompozisyon ve malzemenin sertlik değeri (Chemical composition and hardness value of the material)

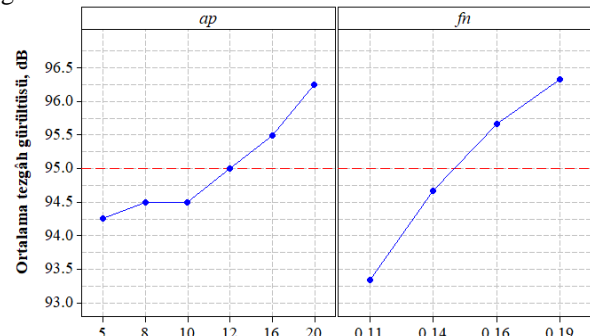
C	Si	Mn	P	S	Cr	Al	V	Ni	Yüzey Sertliği, HBW
0.82	0.60	1.25	0.030	0.030	0.15	0.004	0.030	0.010	300

**Şekil 2.** Yüzey pürüzlülüğü üzerinde kesme parametrelerinin etkisi (The mean effect of cutting parameters on the surface roughness)

Yüzey pürüzlülüğünün ilerleme hızı ile değişimi Şekil 2'de gösterilmiştir. Yüzey pürüzlülüğünün ilerleme hızındaki artış ile birlikte arttığı gözlemlenmiştir. Bu durumun, ilerleme hızındaki artışla birlikte kesme bölgesinde oluşan yüksek ısı sonucu ortaya çıkan takım aşınmasından kaynaklandığı söylenebilir [18, 31]. Şekil 3'te verilen kontur grafikte talaş derinliği ve ilerleme hızı arasındaki ilişki gösterilmiştir. Grafikteki koyu bölgeler kesme şartlarına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün kötüleştiğini, açık bölgelerde ise yüzey pürüzlülüğünün iyileştiğini anlaşılmaktadır. Grafik kullanılarak yüzey pürüzlülüğü için en uygun kesme parametreleri belirlenebilir. 17 mm ile 20 mm talaş derinliği arasında ve 0,11 mm/rev ile 0,15 mm/diş diş başı ilerlemelerde en iyi yüzey pürüzlülüğünün elde edildiği görülmüştür. Kesme derinliğinin 20 mm'ye çıkması ile birlikte artan deformasyon sertleşmesine ve tırlama oluşumu azalmasına bağlı olarak daha yüksek ilerleme hızlarında daha iyi yüzey pürüzlülüğü elde etmenin mümkün olduğu görülmüştür. Grafikten görüleceği üzere 15 mm talaş derinliğinde ve yüksek ilerleme hızlarında kesme işlemi yapıldığında 0,5 µm ile 0,6 µm aralığında kabul edilebilir bir Ra yüzey pürüzlülük değeri elde edildiği görülmektedir.

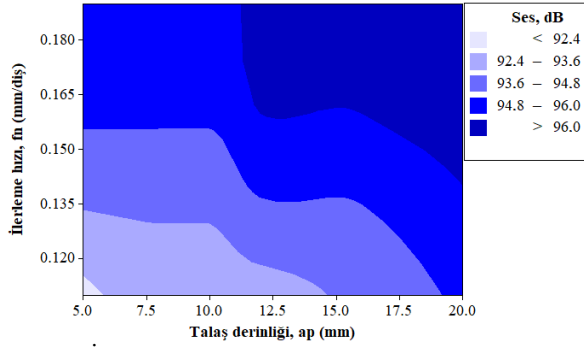
**Şekil 3.** İlerleme hızı ve talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi (The effect of feed rate and depth of cut on the surface roughness)

Ses haritalama; özellikle sosyal amaçlar için son yıllarda yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. Endüstriyel ortamlarda çalışan kişileri meslek hastalıklarına karşı korumak için öncelikle atölye ortamındaki tezgâhların ürettiği ses şiddetinin ve kesme parametrelerinin ses şiddeti üzerindeki etkilerinin belirlenmesi gerekmektedir. Ayrıca tezgâh ses şiddeti kesme parametrelerinin optimize edilmesinde de kullanılmaktadır. Bu çalışmada ray çeliğinin yüksek talaş derinliklerinde işlenmesi sırasında tezgâhın ürettiği ses şiddeti ölçülmüş ve kesme parametrelerinin gürültü üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Şekil 4 deneylerde kullanılan kesme parametrelerinin tezgâh gürültüsü üzerindeki etkileri verilmiştir. Şekil 5'te ise kesme parametreleri içerisinde farklı kesme bölgelerindeki tezgâh ses şiddeti görülmektedir. Grafikten görüleceği üzere talaş derinliği ve diş başı ilerleme oranındaki artışa bağlı olarak tezgâh ses şiddetinde bir artış meydana gelmektedir.

**Şekil 4.** Tezgâh gürültüsü üzerinde kesme parametrelerinin etkisi (The mean effect of cutting parameters on the machine noise)

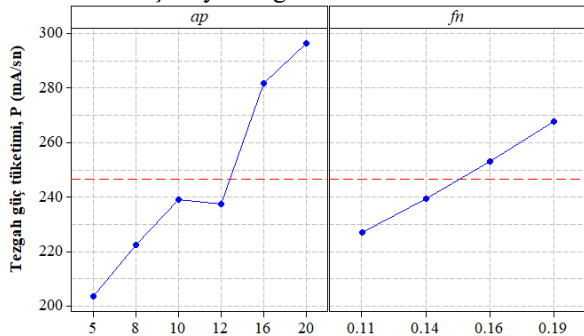
Minimum ses şiddeti, en düşük talaş derinliğinde ve en düşük ilerleme hızında ölçülmüştür. Grafikler incelendiğinde ses şiddeti üzerinde ilerleme hızının oldukça etkili olduğu görülmektedir. Önceki çalışmalarda, ilerleme hızının artmasına bağlı olarak kesici takım yan kenar aşınmasının ve titreşimlerin arttığı, artan aşınma ve titreşim ile birlikte de tezgâh ses şiddetinin arttığı rapor edilmiştir [16-18]. Bu çalışmada kesici takım aşınması ve tezgâh titreşimleri ölçülmemiştir. Ancak önceki yapılan çalışmalar dikkate alındığında, ilerleme hızının artmasına bağlı olarak tezgâh ses şiddetinin artması, artan titreşim ve kesici takım aşınmasından kaynaklandığı düşünülebilir. Şekil 5'te verilen grafik incelendiğinde 15 mm talaş derinliğinde ve 0,13 mm/diş ilerleme hızına kadar maruziyet sınır değerlerine yakın bir gürültü oluştuğu görülmektedir. Aynı zamanda bu değerlerden kesici takım aşınması ve titreşim için de en uygun değerler olabileceği ifade edilebilir. Grafikteki koyu bölgeler ses şiddetinin en yüksek olduğu kesme aralıklarını, açık renkli bölgeler ise minimum ses düzeyi için en uygun kesme aralıklarını göstermektedir.





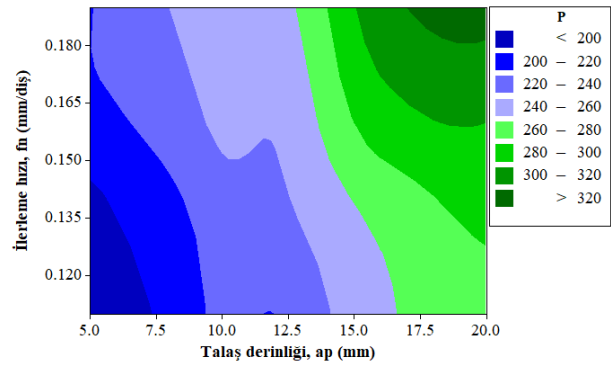
Şekil 5. İlerleme hızı ve talaş derinliğinin tezgâh sesi üzerindeki etkisi (The effect of feed rate and depth of cut on the machine sound)

Takım tezgâhları, iş parçasının mekanik özelliklerine ve iş mili devir sayısına bağlı olarak kesici takıma kesme hareketi sağlamak için enerji tüketirler. Kesme işleminde kullanılan kesme hızı, ilerleme hızı ve talaş derinliği iş parçasından talaş kaldırma oranını belirleyen üç temel işleme parametresidir. İlerleme hızı ve talaş derinliği arttıkça iş parçasından uzaklaştırılan talaş oranı da artar. İş parçasından kaldırılan talaş miktarına bağlı olarak kesme kuvvetleri de artar ve bu durum takım tezgâhının daha fazla enerji tüketmesine neden olur [32]. Şekil 6'da verilen grafik incelendiğinde ilerleme hızı ve talaş derinliğine bağlı olarak tezgâhın çekmiş olduğu akım miktarında artış meydana gelmektedir.



Şekil 6. Tezgâh enerji tüketimi üzerinde kesme parametrelerinin ortalama etkisi (The mean effect of cutting parameters on the machine power consumption)

Şekil 7'de verilen kontur grafik ise kesme parametrelerine bağlı olarak en uygun enerji tüketim bölgelerini belirlemek mümkündür. Grafiğe göre tezgâhın çekmiş olduğu akım oranı üzerinde talaş derinliğinin oldukça etkili olduğu görülmektedir. Yüksek talaş derinliğinde çalışılması gerektiğinde, tezgâhın daha az akım çekmesi için düşük ilerleme hızının tercih edilmesi gerekmektedir. Yüksek ilerleme hızlarında çalışması gerektiğinde ise talaş oranını azaltılması daha az enerji tüketimi ile sonuçlanacaktır. Deney sonuçlarına göre tezgâhın güç tüketimin oranını düşürmek için yüzey pürüzlülüğü ve tezgâh gürültü seviyelerini de dikkate alarak daha düşük ilerleme hızlarının ve talaş derinliğinin seçilmesi gerekebilir.



Şekil 7. İlerleme hızı ve talaş derinliğinin güç tüketimi (P) üzerindeki etkisi (The effect of feed rate and depth of cut on the power consumption)

### 3.1. Deneysel Sonuçların İstatistiksel Analizi (Statistical Analysis of the Test Results)

Yüzey pürüzlülüğü, tezgâh gürültü oranı ve enerji tüketimi üzerinde kesme parametrelerinin etki oranını değerlendirmek için varyans analizi (ANOVA) kullanılmış ve sonuçlar Çizelge 3'te verilmiştir. ANOVA sonuçlarına göre, yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametrenin %72 etki oranı talaş derinliği olmuştur. Talaş derinliğinin artmasına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün iyileştiği görülmüştür. Talaş derinliğinden sonra yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametrenin %20 etki oranı ile ilerleme hızı olmuştur. Diş başı ilerleme oranı artışı ile yüzey pürüzlülüğünde bozulma meydana gelmiştir. Çalışma ortamı gürültüsü bakımından kesme parametrelerinden ilerleme hızının tezgâh gürültüsü üzerinde %68 etki oranı ile en etkili kesme parametresi olduğu görülmüştür. Tezgâhın ürettiği ses şiddeti üzerinde talaş derinliğinin etki oranı %25 olarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde tezgâh güç tüketimi üzerinde talaş derinliğinin etki oranı %78 olarak gerçekleşirken ilerleme hızı %18 oranında bir etki göstermiştir.

$$R_a = 0.509223 - 0.0173908 \times ap + 1.58824 \times f_n \quad (1)$$

$$R - S_q = \% 92.41$$

$$\text{Ses} = 87.6547 + 0.136058 \times ap + 38.2353 \times f_n \quad (2)$$

$$R - S_q = \% 92.83$$

$$P = 92.7184 + 6.41153 \times ap + 521.078 \times f_n \quad (3)$$

$$R - S_q = \% 95.30$$

Yüzey pürüzlülüğü, tezgâh gürültüsü ve enerji tüketiminin tahmini için doğrusal regresyon modeli ile elde edilen elde edilen denklemler sırasıyla 1, 2 ve 3 nolu eşitliklerde verilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü için elde edilen regresyon modelinin  $R^2$  değeri %92.41; tezgâh gürültü oranı için  $R^2$  değeri %92.83 ve enerji tüketimi için  $R^2$  değeri %95.30 olarak hesaplanmıştır.

**Çizelge 3.** Deney sonuçlarının istatistiksel analizi (Statistical analysis of the test results)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	F	P	Etki oranı
Yüzey pürüzlülüğü						
ap	1	0.18	0.18	196.656	0	72%
fn	1	0.051	0.051	55.979	0	20%
Hata	21	0.019	0.019			8%
Toplam	23	0.251				
Tezgâh gürültüsü						
ap	1	11.021	11.021	73.337	0	25%
Vf	1	29.824	30	198.461	0	68%
Hata	21	3.156	2.979			7%
Toplam	23	44				
Tezgâh güç tüketimi						
ap	1	24472.8	24472.8	347.106	0	78%
Vf	1	5539.1	5539.1	78.562	0	18%
Hata	21	1480.6	1480.6			5%
Toplam	23	31492.5				

### 3.2 Doğrulama Deneyleri (Validation Experiments)

Frezeleme deneylerinden elde edilen ölçüm sonuçları, kesme derinliğinin artmasına bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerinin iyileştiğini göstermiştir. Deneylerden elde edilen verilerin güvenilirliğini doğrulamak için farklı kesme derinliklerinde ve ilerleme hızlarında on adet kontrol deneyi yapılmıştır. Ayrıca kontrol deneylerinden elde edilen veriler ile doğrusal regresyon modelinin tahmin oranının kıyaslaması da yapılmıştır. Deneyler sonucu ölçülen yüzey pürüzlülüğü, tezgâh ses şiddeti ve güç tüketimi ile 1, 2 ve 3 nolu eşitliklerde verilen regresyon modellerinin üretmiş olduğu tahmin değerleri Çizelge 4’de verilmiştir. Doğrulama deneylerinden elde edilen ölçüm sonuçlarının, araştırmaya konu olan deneylerden elde

edilen veriler ile uyumlu olduğu görülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü tahmininde regresyon modelinin istenilen düzeyde başarılı bir tahmin verisi üretmediği görülmüştür. Regresyon modeli ile yüzey pürüzlülük değeri %1 ile %42 arasında değişen (ortalama %21) hata oranlarında tahmin edilirken, tezgâh gürültüsü ve güç tüketimi sırasıyla %2 ve %5 ortalama hata oranı ile tahmin edilmiştir.

### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND SUGGESTIONS)

Bu çalışmada, R260 ray çeliğinin yatay freze tezgâhında kuru işleme şartları altında işlenmesinde ilerleme hızının ve talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğü, tezgâh güç tüketimi ve tezgâh gürültüsü üzerindeki etkileri

**Çizelge 4.** Kontrol deneyleri (Verification experiments)

D.No	Kesme parametreleri		Deney değerleri			Tahmin değerleri			Hata oranı, (%)		
	ap (mm)	fn, (mm/diş)	Ra (µm)	Ses, (dB)	P (mA/sn)	Ra (µm)	Ses (dB)	P (mA/sn)	Ra	Ses	P
1	8	0.11	0.62	96	223	0.54	92.9	201.3	12%	3%	11%
2	8	0.14	0.92	97	225	0.59	94.1	217.0	36%	3%	4%
3	8	0.16	1.03	98	241	0.62	94.9	227.4	39%	3%	6%
4	8	0.19	0.78	97	249	0.67	96.0	243.0	14%	1%	2%
5	10	0.16	0.62	98	246	0.59	95.1	240.2	5%	3%	2%
6	16	0.11	0.4	94	268	0.41	94.0	252.6	1%	0%	6%
7	16	0.14	0.43	96	271	0.45	95.2	268.3	5%	1%	1%
8	28	0.11	0.34	98	340	0.20	95.7	329.6	42%	2%	3%
9	28	0.14	0.42	99	345	0.24	96.8	345.2	42%	2%	0%
10	28	0.14	0.36	99	403	0.24	96.8	345.2	32%	2%	17%

incelenmiştir. Deneysel sonuçları ortalama etki grafiği ve ANOVA kullanılarak yorumlanmıştır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- R260 ray çeliğinin işlenmesi sırasında radyal talaş derinliği artarken malzemede meydana gelen deformasyon sertleşmesine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünde dikkate değer bir iyileşme meydana gelmiştir. İlerleme hızının artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmüştür. Yüzey pürüzlülüğünün oldukça önemli olduğu ray çeliklerinde hassas bir yüzey kalitesi elde edebilmek için yüksek talaş derinliklerinde ve düşük ilerleme hızlarında frezeleme yapılması önerilmektedir.
- İlerleme hızında ve talaş derinliğinde meydana gelen artışla birlikte tezgâh gürültüsünde artış meydana gelmiştir. Ray çeliğinin talaşlı imalatı sırasında tezgâh gürültü seviyesini azaltmak için ilerleme hızının azaltılması önerilmektedir. Önceki çalışma sonuçlarına göre, ilerleme hızının azaltılması tezgâh titreşimlerinin ve kesici takım aşınmalarının da azalmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.
- İlerleme hızının ve talaş derinliğinin artışına bağlı olarak tezgâhin enerji tüketimi de artmıştır. Yüksek talaş derinliklerinde çalışılması durumunda ilerleme hızının düşürülmesi, yüksek ilerleme hızlarında çalışılması durumunda ise talaş derinliğinin azaltılması tezgâhin enerji tüketimini azaltacaktır.
- ANOVA sonuçları; yüzey pürüzlülüğü üzerinde ilerleme hızının etki oranının %72, talaş derinliğinin %20, tezgâh gürültüsü üzerinde ilerleme hızının %68, talaş derinliğinin %25, enerji tüketimi üzerinde talaş derinliğinin %78, ilerleme hızının ise %18 olduğunu göstermiştir.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Araştırmacılar, bu deneysel çalışmanın yapılmasına vermiş olduğu destekten dolayı TCDD Çankırı Makas Fabrikası Müdürlüğü'ne teşekkür ederler.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Kıvık T., "Optimization of surface roughness and flank wear using the Taguchi method in milling of Hadfield steel with PVD and CVD coated inserts." *Measurement* 50: 19-28, (2014).
2. Kocabekir I., Tunca N., Özer O., Tümer C., Eker C.B., Özçelik S., Çuğ H., Ahlatcı H., "Demir Yolu Ray Sistemlerinde Kullanılan Hadfield Çeliğinin Aşınma Davranışı". 2. *Uluslararası Raylı Sistemler Mühendisliği Sempozyumu (ISERSE'13)*, Karabük, Türkiye, 9-11 Ekim 2013.
3. Canadinc D., Sehitoglu H., Maier H. J., Chumlyakov Y. I., "Strain hardening behavior of aluminum alloyed Hadfield steel single crystals.", *Acta Materialia*, 53 (6): 1831-1842, (2005).
4. Horng, Jenn-Tsong, Nun-Ming Liu, and Ko-Ta Chiang. "Investigating the machinability evaluation of Hadfield steel in the hard turning with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiC mixed ceramic tool based on the response surface methodology", *Journal of Materials Processing Technology*, 208(1): 532-541, (2008).
5. Ghani A. K., and Choudhury I. A., "Study of tool life, surface roughness and vibration in machining nodular cast iron with ceramic tool", *Journal of Materials Processing Technology*, 127(1): 17-22, (2002).
6. Şeker U., and Hasirci H., "Evaluation of machinability of austempered ductile irons in terms of cutting forces and surface quality", *Journal of Materials Processing Technology*, 173(3): 260-268, (2006).
7. Neşeli S. and Yıldız S., "Tornalamada Yaklaşma Açısı ve Talaş Açısına Bağlı Tırlama Titreşimlerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri" *Politeknik Dergisi*, 10 (4): 383 – 389, (2007).
8. Rech J., Dumont F., Le Bot A., Arrazola P. J., "Reduction of noise during milling operations", *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 18: 39-44, (2017).
9. Weck M., and W Melder., "Problems in assessing the noise behavior of machine tools", *CIRP Annals* , 26 (2): 397, (1977).
10. Bley H., Günter K. G., Haeusler J., Noe E. L., Rosenkranz W., "Machine Concentration and Noise Annoyance in the Workshop", *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 29(1): 269-273, (1980).
11. Bollinger J. G., "Noise - An industrial pollutant of international concern", *CIRP Annals*, 22(2): 197-202, (1973).
12. Hesselbach J., Hoffmeister H.-W., Schuller B.-C. and Loeis K., "Development of an active clamping system for noise and vibration reduction", *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 59 (1): 395-398, (2010).
13. Quintana G., Ciurana J., Ferrer I. and Rodriguez C. A., "Sound mapping for identification of stability lobe diagrams in milling processes", *International journal of machine tools and manufacture*, 49 (3): 203-211, (2009).
14. Lu B. H., Lin Z. H., Hwang X. T., Ku C. H. And Tobisa S. A., "On-line identification of dynamic behaviour of machine tool structures during stable cutting", *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 32(1): 315-318, (1983).
15. Ji C., Liu Z., and Ai X., "Effect of cutter geometric configuration on aerodynamic noise generation in face milling cutters", *Applied Acoustics*, 75: 43-5, (2014).
16. Tekiner Z., and Yeşilyurt S., "Investigation of the cutting parameters depending on process sound during turning of AISI 304 austenitic stainless steel", *Materials & Design*, 25(6): 507-513, (2004).
17. Şahinoğlu A., Güllü A., Dönertaş M. A., "GGG50 Malzemenin torna tezgâhında işlenmesinde kesme parametrelerinin titreşim , ses şiddeti ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkisinin araştırılması", *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2: 67-79, (2017).
18. Şahinoğlu A., Karabulut Ş., Güllü A., "Study on spindle vibration and surface finish in turning of Al 7075", *Solid State Phenomena. Trans Tech Publications*, 261: 321-327, (2017).
19. Sealy M. P., Liu Z. Y., Zhang D., Guo Y. B., and Liu Z. Q. "Energy consumption and modeling in precision hard milling", *Journal of Cleaner Production*, 135: 1591-1601, (2016).
20. Avram O. L. and Xirouchakis P., "Evaluating the use phase energy requirements of a machine tool system",



- Journal of Cleaner Production*, 19(6): 699-711, (2011).
21. Balogun V. A. and Mativenga P. T., "Modelling of direct energy requirements in mechanical machining processes", *Journal of Cleaner Production*, 41:179-186, (2013).
  22. Diaz N., Redelsheimer E. and Dornfeld D., "Energy consumption characterization and reduction strategies for milling machine tool use", *Glocalized solutions for sustainability in manufacturing*, 263-267, (2011).
  23. Diaz, Nancy, Elena Redelsheimer, and David Dornfeld. "Energy consumption characterization and reduction strategies for milling machine tool use." *Glocalized solutions for sustainability in manufacturing*, 263-267, (2011).
  24. Draganescu F., Gheorghe M. and Doicin C. V., "Models of machine tool efficiency and specific consumed energy", *Journal of Materials Processing Technology*, 141(1): 9-15, (2003).
  25. Bhuiyan M. S. H., Choudhury I. A., "Review of Sensor Applications in Tool Condition Monitoring in Machining", *Comprehensive Materials Processing* 13: 539-569, (2014).
  26. Toh C. K., "Comparison of chip surface temperature between up and down milling orientations in high speed rough milling of hardened steel", *Journal of Materials Processing Technology*, 167(1):110-118, (2005).
  27. Korkut, I., Acir A. and Boy M., "Application of regression and artificial neural network analysis in modelling of tool–chip interface temperature in machining", *Expert Systems with Applications*, 38(9): 11651-11656, (2011).
  28. Canadinc D. Sehitoglu, H., "Alüminyum Alaşımli Hadfield Çeliklerinde Aykırı Yerleşim Aktiviteleri". *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi* 5(2): 1-6, (2008).
  29. Özler L., Tosun N., İnan A., "Ostenitik Manganlı Çeliğin Sıcak Talaşlı İşlenmesinde Yüzey Pürüzlülüğünün incelenmesi", *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 24: 287-296, (2000).
  30. Özel T. Karpat Y., "Predictive modeling of surface roughness and tool wear in hard turning using regression and neural networks" *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 45 (4): 467-479 (2005).
  31. Sarıkaya M., Abdulkadir G., "Taguchi design and response surface methodology based analysis of machining parameters in CNC turning under MQL", *Journal of Cleaner Production*, 65: 604-616 (2014).
  32. Kant G., Kuldip S. S., "Prediction and optimization of machining parameters for minimizing power consumption and surface roughness in machining", *Journal of cleaner production*, 83: 151-164, (2014).