

Tornalama Sonrası Çıkan Talaşlardan Elde Edilen Alüminyum 5000 Alaşımının Yüzey Pürüzlülüğünün Taguchi Yöntemi ile Analizi

Harun YAKA^{1*}

ÖZET: Artan üretim talepleri doğal kaynakların aşırı tüketilmesine neden olmaktadır. Bu aşırı tüketimin önüne geçebilmek için malzemelerde geri dönüşümün önemi artmaktadır. Bu çalışmada, kullanım alanı her geçen gün artan alüminyum 5000 alaşımı tormalanmıştır. Tornalama sonrası çıkan talaşlar döküm yöntemi ile geri dönüştürülmüştür. Elde edilen yeni üründe de tornalama işlemi yapılmıştır. İlk tornalama ve son tornalama işleminde ortaya çıkan yüzey pürüzlülük değerleri incelenmiştir. Deneyler Taguchi yöntemi ile tasarlanmış ve yine sonuçlar da Taguchi yöntemi ile analiz edilmiştir. Kesme parametreleri olarak kesme hızı, ilerleme oranı ve kesme derinliği seçilmiştir. Deneyler bu üç parametrenin üç seviyesi ile Taguchi L₉ deney düzeneği kullanılarak yapılmıştır. Döküm malzeme normal malzemeden daha sert çıkmıştır. Hem normal hem de döküm malzemede en düşük yüzey pürüzlülüğü 1. deneyde çıkmıştır. (Kesme hızı 200 m/dk, ilerleme oranı 0.1 mm/dev ve kesme derinliği 0.2 mm). Her iki malzemenin tormalanmasında en etkin parametre ilerleme oranı olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum 5000, döküm, geri dönüşüm, Taguchi, talaş, yüzey pürüzlülüğü.

Analysis of Surface Roughness of Aluminum 5000 Alloys Obtained from Chips After Turning by Taguchi Method

ABSTRACT: Increasing production demands cause excessive consumption of natural resources. In order to prevent this excessive consumption, the importance of recycling in materials is increasing. In this study, aluminum 5000 alloys whose usage area is increasing day by day have been turned. The chips after turning have been recycled by the casting method. Turning process was also performed in the new product obtained. The surface roughness values that appeared during the first turning and the final turning were examined. The experiments were designed by Taguchi method and again the results were analyzed by Taguchi method. Cutting speed, feed rate and cutting depth were chosen as cutting parameters. Experiments were carried out using the Taguchi L₉ experiment setup with three levels of these three parameters. The cast material was harder than nominal material. The lowest surface roughness was found in the 1st experiment for both normal and cast materials. (Cutting speed 200 m/min, feed rate 0.1 mm/rev and cutting depth 0.2 mm). The most effective parameter in turning of both materials was the feed rate.

Keywords: Aluminum 5000, casting, recycle, Taguchi, chips, surface roughness.

¹Harun YAKA (Orcid ID: 0000-0003-4859-9609), Amasya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Amasya, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Harun YAKA, e-mail: harun.yaka@amasya.edu.tr

GİRİŞ

Günümüzde artan nüfus nedeniyle mevcut kaynakların tüketimi hızla artmaktadır. Kullanılan kaynakların hızla tükenmesiyle, dünyadaki kaynakların verimli bir şekilde nasıl kullanılacağı ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Mevcut ihtiyaçlarımızı karşılarken, gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılama potansiyelini tehlikeye atmamalıyız (Ma ve ark., 2019). Çalışmamızın amacı tornalama sonrası çıkan talaşların geri dönüşümünü sağlamaktır.

Atık talaşı veya talaşlı imalattan kaynaklanan malzemeler hurda işi ile toplanabilir ve geri dönüştürülebilir. Metal malzemelerin doğada kaybolması uzun zaman alır. Alüminyum yaklaşık yüz yılda doğada kaybolur. Enerji ve malzeme tasarrufu geri dönüşüm ile sağlanır. Ayrıca petrol ve bor gibi soğutucularla karıştırılan metaller tehlikeli atık olarak sınıflandırılırlar.

Endüstriyel üretimde önemli olan farklı malzemelerin döküm işlemleri birçok çalışmanın temelini oluşturmaktadır. İnsanlık tarihinde metallerin keşfi ile metal işleme ve şekillendirme neredeyse aynı anda uygulanmıştır. Bu anlamda döküm ve döküm tekniği, çağlar boyunca gelişimini sürdürmüş ve günümüzün bilgi çağında popüler olmaya devam etmektedir (Baffari ve ark., 2019).

Alüminyum, avantajları (hafiflik, işlenebilirlik, oksidasyon direnci ve elektrik iletkenliği gibi) nedeniyle birçok sektörde (otomotiv, inşaat, havacılık, elektrik-elektronik vb.) en yaygın kullanılan metallerden biridir. Alüminyum üretimi için hurda veya atık malzemelerin geri dönüşümü, cevherden alüminyum üretimine yaklaşık %90 enerji tasarrufu sağlar. Bu, alüminyumun geri dönüşümünün ne kadar önemli olduğunu gösterir. Alüminyum birincil alüminyumdan ve hurdadan ikincil alüminyum olarak üretilir (Jirang ve Roven, 2010).

Günümüzde kısa sürede düşük işgücüne sahip yüksek kaliteli ürünler elde edilmesi hedeflenmektedir (Twardowski ve Wiciak-Pikula, 2019). Bu amaçla, esnek ve seri üretim için CNC torna tezgahının kullanımı yaygınlaşmıştır. İmalat sanayinde çok çeşitli talaşlı imalat yöntemleri mevcuttur. Tornalama, diğer işlemlerden daha hızlı olduğu ve yüzey kalitesinde daha iyi sonuçlar verdiği için önemli bir talaş kaldırma yöntemidir (Kuntoğlu ve Sağlam, 2019). Tornalamada yüzey pürüzlülüğünü etkileyen çeşitli faktörler vardır. Bunlardan en önemlisi, kesme parametreleri olarak bilinen kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğidir (Kopac ve ark., 2002). Genel olarak, istenen kesme parametreleri kesici takım üreticileri tarafından deneyimler neticesinde belirlenen kataloglara göre seçilir (Ravuri ve ark., 2020). Bununla birlikte, yüzey pürüzlülüğünde daha iyi bir sonuç elde etmek için, kesme parametrelerinin optimizasyonu ve yüzey pürüzlülüğü modellenmelidir (Özlu ve ark., 2019). Gelişen teknoloji ve artan ürün çeşitliliği üreticileri daha kaliteli ve daha hızlı üretmeye zorlamaktadır. Bu nedenle kesici takım teknolojisi sürekli olarak gelişmektedir. Son zamanlarda, kesici takımların iyileştirilmesi sadece kaldırılan talaş miktarını arttırmakla kalmayıp, aynı zamanda işlem maliyetlerini ve işlem süresini de düşürerek istenen yüzeyin kalitesini arttırmıştır (Akkuş, 2018). Daha iyi bir yüzey elde etmek için, kesme parametrelerinin optimizasyonu üzerine birçok deneysel ve istatistiksel çalışma yapılmıştır. Deney sayısını azaltarak optimum değeri bulmak için çalışmalarda genellikle Taguchi yöntemi kullanılmış ve gereksiz deneylerden kaçınılmıştır (Akkuş ve Yaka, 2018). Palaniappan ve arkadaşları Taguchi yöntemi ile alüminyum 6082 alaşımını tornalamışlar ve kesme parametrelerinin optimizasyonunu yapmışlardır. Deneylerinde malzeme kaldırma oranlarını ve yüzey pürüzlülüğünü ölçmüşlerdir. Yüzey pürüzlülüğü için en etkin parametre ilerleme olurken malzeme kaldırma oranında en etkin parametre kesme hızı çıkmıştır (Palaniappan ve ark., 2020). Soenoko ve arkadaşları çalışmalarında alüminyum 6061-T6 malzemesini farklı uç yarıçaplarında karbür kesici uç ile tornalamışlar ve yüzey pürüzlülüğünü Taguchi yöntemi ile optimize etmişlerdir. Çalışmalarının sonunda

yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli parametrenin uç yarıçapı olduğunu bulmuşlardır (Soenoko ve ark., 2017).

Bu çalışmanın temel amacı, işletmelerde veya atölyelerde talaşlı imalat sonucu çıkan talaşların döküm yöntemine tabi tutularak elde edilen yeni malzemenin işlenebilirliğini araştırmaktır. İşlem sonucunda elde edilen malzemenin yüzey pürüzlülüğü incelenmiştir.

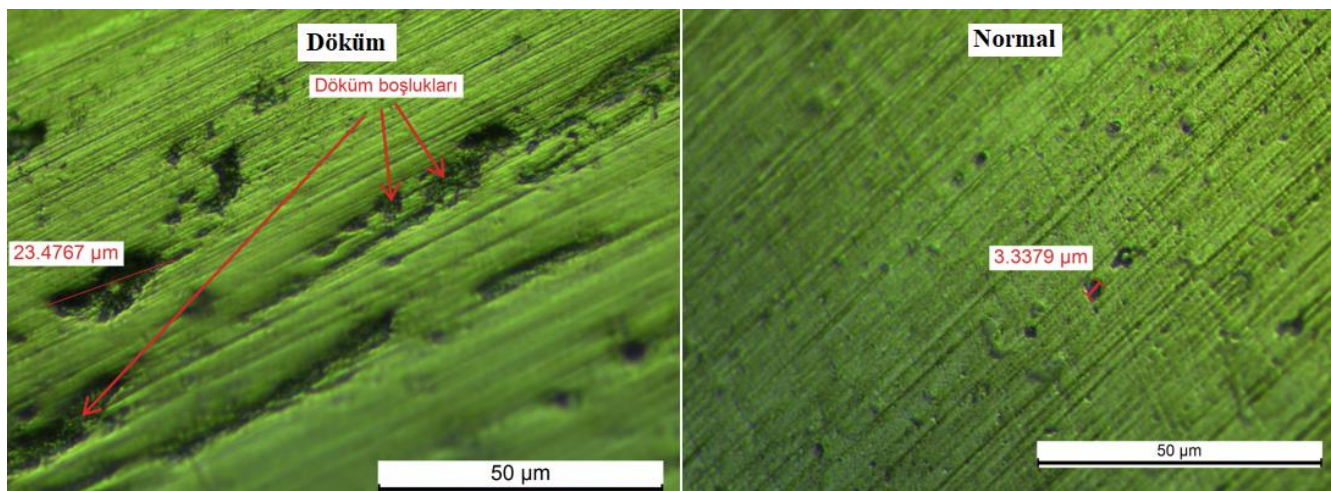
MATERYAL VE YÖNTEM

İş Parçası Malzemesi

Bu çalışmada kullanım alanı gittikçe yaygınlaşan alüminyum 5000 alaşımı kullanılmıştır. Bu malzeme, hafif olması, yüksek korozyon direncine sahip olması ve şekillendirilebilme özelliği fazla olduğu için otomotiv, havacılık ve uzay sanayisi başta olmak üzere birçok alanda kullanılmaktadır.

Çalışmada öncelikle ticari olarak temin edilen alüminyum 5000 alaşımı CNC torna tezgahında tornalanmış ve ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri ölçülmüştür. Tornalanan malzemenin sertliği 90 HB olarak ölçülmüştür. Tornalama sonrası çıkan talaşlar döküm yöntemi ile geri dönüşüm yapılarak yeniden silindirik kütük haline getirilmiştir. Deneyler soğutma sıvısı veya kesme yağı kullanılmadan yapılmıştır. Tornalama esnasında çıkan talaşlar yağ ile temas etmeden doğrudan toplanmıştır. Toplanan talaşlar ergitme potasında 750° sıcaklıkta eritilmiştir. Eriyik alüminyum üzerinde oluşan kalıntılar alındıktan sonra 50 mm çapındaki silindir kalıba dökülmüş ve oda sıcaklığında 48 saat bekletilerek soğutulmuştur. Elde edilen yeni ürüne herhangi bir ısıl işlem uygulanmamıştır. Döküm sonrası elde edilen yeni ürünün sertliği 95 HB olarak ölçülmüştür. Elde edilen yeni ürün yine torna tezgahında işlenerek yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür. Deneyler öncesinde iş parçasının üzerinde bulunan kabuklanmalar ve artık malzemeler tornalanarak temizlenmiştir. Daha sonra hazırlanmış olan deney listesine göre tornalama işlemleri yapılmıştır. Deney şartları iki malzeme için de aynı uygulanmıştır. Yapılan ilk ölçümler (Normal) ile döküm sonrası (Döküm) yapılan yüzey pürüzlülük ölçümleri karşılaştırılmıştır. Tornalama işlemi Ø50x175 mm ölçülerdeki kütük üzerinde yapılmıştır. Bütün deneylerde işleme boyu 65 mm olarak uygulanmıştır.

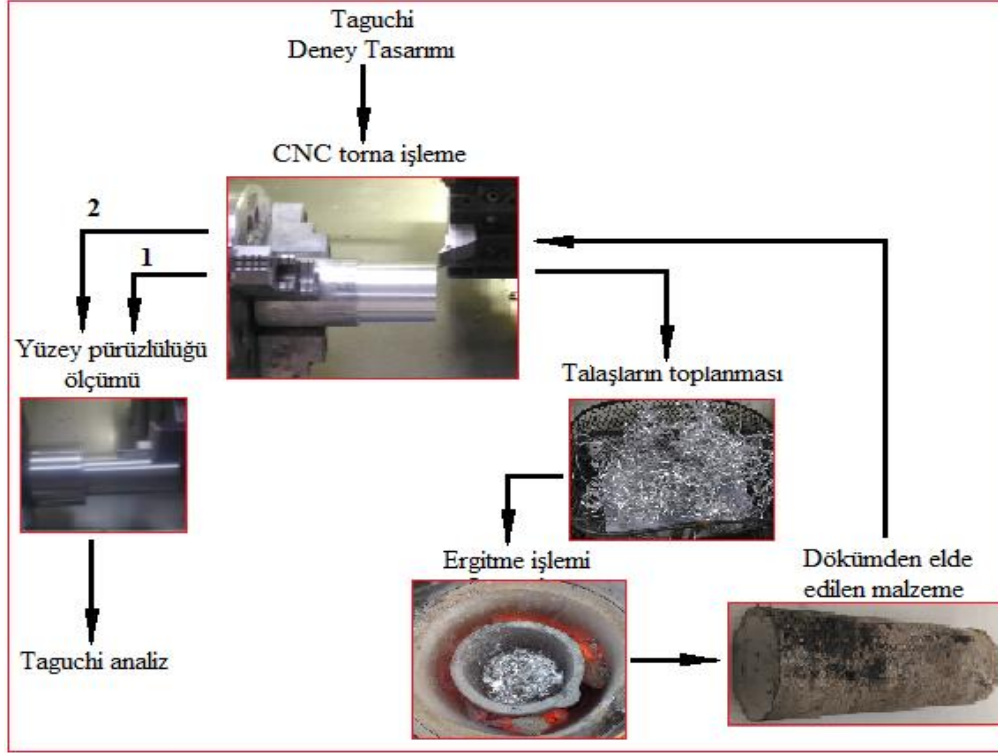
Normal malzeme ve döküm sonrası üretilen malzeme metal mikroskobu ile incelenmiştir. Malzemelerin incelenmesinde Leica DMC 2900 marka metal mikroskobu kullanılmıştır. Mikroskop görüntüleri alınmadan önce malzeme yüzeyleri zımparalanmış, elmas tozu karışımlı sıvı ile keçede parlatılmış ve yüzeyler temizlenmiştir. Şekil 1’de her iki malzemenin mikroskop görüntüleri verilmiştir. Döküm malzemede döküm boşluklarının ve kalıntıların daha fazla ve daha büyük olduğu görülmektedir.



Şekil 1. Normal ve döküm malzemenin mikroskop görüntüleri

Deneysel Tasarım ve Ekipmanlar

Şekil 2’de, Taguchi yöntemi kullanılarak yapılan deneysel çalışmanın şeması verilmiştir. Taguchi deney tasarımında L_9 ortogonal dizin kullanılmıştır.



Şekil 2. Çalışma şeması

Kesme parametreleri olarak; kesme hızı (m/dak), ilerleme oranı (mm/dev) ve kesme derinliği (mm) seçilmiştir. Her bir parametre için kesici firmanın önerdiği değerler arasında üç kesme seviyeleri belirlenmiştir. Kesme derinliğinin seviyeleri belirlenirken literatür taraması da göz önünde bulundurularak aralarında 1.9 mm olacak şekilde 0.2, 2.1, 4 mm seviyeleri belirlenmiştir. Yapılan çalışmalarda seviyeler arasında aynı oranda artış yapılmaktadır (Yang ve Tarng, 1998; Saraswat ve ark., 2014). Deneyler sırasında, kesici uçta aşınmalar ve yığıntı talaşlar oluşabileceği göz önünde bulundurularak her bir deney için ayrı kesici uç kullanılmıştır. Çizelge 1’de, belirlenen kesme parametreleri ve kesme seviyeleri, kullanılan kesici uç, deney şartları ve deneylerde kullanılan ölçüm cihazları verilmiştir.

Taguchi Metodu

Gelişen teknoloji ile birlikte birçok endüstri ürünü de değişime ve gelişime uğradı. İmalat sektöründe ürünlerin gelişmesi için talaşlı üretim aşamasında kesme parametrelerinin uygun seçilmesi gerekmektedir. Talaşlı imalatı etkileyen çok sayıda parametre mevcuttur. Her bir parametrenin farklı seviyelerinde deneme yapmak gerekir. Bu da hem işlem süresini hem de maliyeti ciddi derecede artırır. Bu nedenle, kesme parametrelerinin optimizasyonu yapılmaktadır. Bu yöntem sayesinde daha az deney ile en doğru sonucu elde etmek mümkündür. Taguchi yöntemi de önemli bir optimizasyon metodudur.

Deney listesi, belirlenen parametre ve seviyeler ile Taguchi yönteminde oluşturulmuştur. L_9 dizin kullanılan bu yöntemde, en uygun deney belirlenmiştir. Taguchi, elde edilen ölçümlerin sinyal/gürültü

(S/N) oranlarını hesaplar ve bu değerlere göre analiz yapmamızı sağlar. Aşağıda yaygın olarak kullanılan üç S/N hesaplama yöntemi verilmiştir (Akkuş, 2019; Erkan ve ark., 2020).

Çizelge 1. Deneyler için seçilen kesme parametreleri/seviyeleri, yüzey pürüzlülük ve makro sertlik ölçüm kriterleri

İşleme Şartları		Tanımlamalar
CNC torna tezgâhı		LT-20C CNC Torna (15 kW, 4000 rpm)
Kesme hızı (m/dk) [v]		200 – 300 – 400
İlerleme (mm/dev) [f]		0.1 – 0.2 – 0.3
Kesme derinliği (mm) [ap]		0.2 – 2.1 – 4
Soğutma sistemi		Soğutma yapılmadı
Kesici uç		Sangeo DNMG 150608R-ST PS7220S
Takım tutucu		SMOXH TDJNR 2525 M15
Deneysel tasarım yöntemi		Taguchi L ₉
Ölçüm değerleri	Off-line ölçüm	Ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra)
Pürüzlülük ölçüm cihazı		Mitutoyo SJ-210
Sertlik ölçüm cihazı		Proceq equotip 3 portable hardness tester
Metal mikroskobu		Leica DMC 2900
Kullanılan programlar		Minitab, Excell
Sonuçların değerlendirilmesi		Taguchi

$$\text{En büyük en iyi: } \frac{S}{N} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i} \right) \quad (1)$$

$$\text{Nominal en iyi: } \frac{S}{N} = 10 \log \left(\frac{y}{s_y^2} \right) \quad (2)$$

$$\text{En küçük en iyi: } \frac{S}{N} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (3)$$

Bu çalışmada en iyi yüzey kalitesini bulmak için yüzey pürüzlülüğünün en küçük olması gerekmektedir. Bu nedenle 3 numaralı denklem olan en küçük en iyi S/N hesaplamaları kullanılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

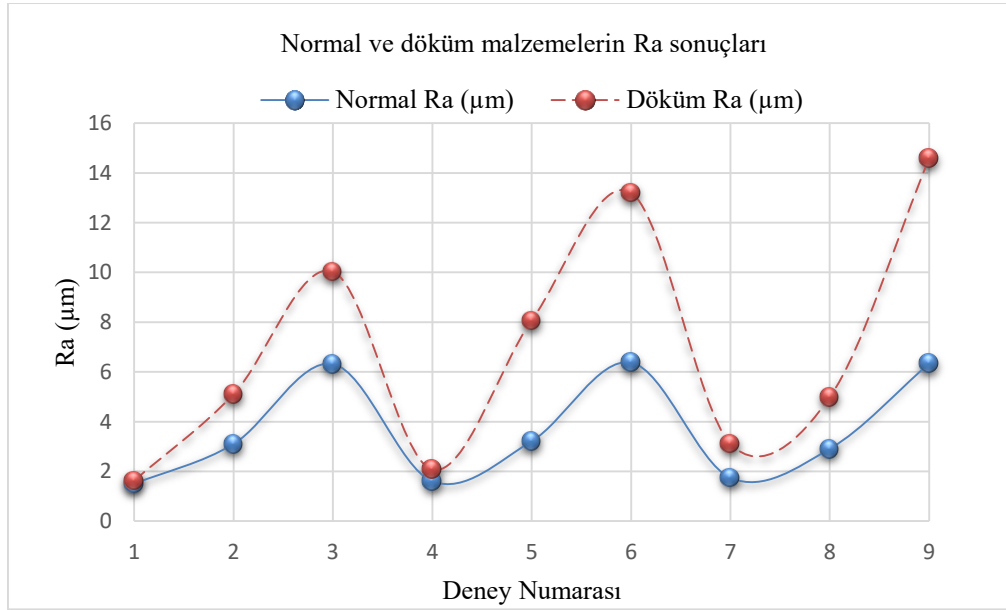
Deneysel Bulgular

Taguchi L₉ deney listesi ile yapılan deneyler (parametreler ve seviyeler) ve normal malzemenin işlenmesi sonrası elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri (Ra) ile döküm sonrası elde edilen malzemenin işlenmesi neticesinde bulunan yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri Çizelge 2’de verilmiştir. Çizelge 2 incelendiğinde her iki malzemenin tornalanmasında en küçük yüzey pürüzlülüğü 1. deneyde (Kesme hızı 200m/dk, ilerleme 0.1 mm/dev, kesme derinliği 0.2 mm) oluşmuştur.

Çizelge 2. Deney sonuçlarında elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri

Deney No	v	f	ap	Normal Ra	Döküm Ra
1	200	0.1	0.2	1.493	1.625
2	200	0.2	2.1	3.098	5.099
3	200	0.3	4	6.314	10.030
4	300	0.1	2.1	1.598	2.070
5	300	0.2	4	3.211	8.067
6	300	0.3	0.2	6.373	13.205
7	400	0.1	4	1.737	3.109
8	400	0.2	0.2	2.905	4.988
9	400	0.3	2.1	6.338	14.590

Şekil 3’de normal malzemenin ve döküm sonrası elde edilen malzemenin tornalanarak elde edilen yüzey pürüzlülüğü grafiği verilmiştir. Yapılan deneylerde elde edilen veriler incelendiğinde, her iki malzeme için de yüzey pürüzlülüğü paralellik göstermiştir. Deneylerdeki kesme parametre seviyeleri ortak özellik sergilemişlerdir. Grafik incelendiğinde döküm malzemenin normal malzemeye göre yüzey pürüzlülüğü daha fazla olmuştur. Normal malzemeye göre daha fazla olmasının nedeni, döküm esnasında oluşan kalıntı malzemelerden ve döküm boşluklarından kaynaklanmıştır. Her iki malzemede de en düşük değer 1. deneyde çıkmıştır.



Şekil 3. Normal ve döküm malzemenin yüzey pürüzlülük (Ra) değerlerinin kıyaslanması

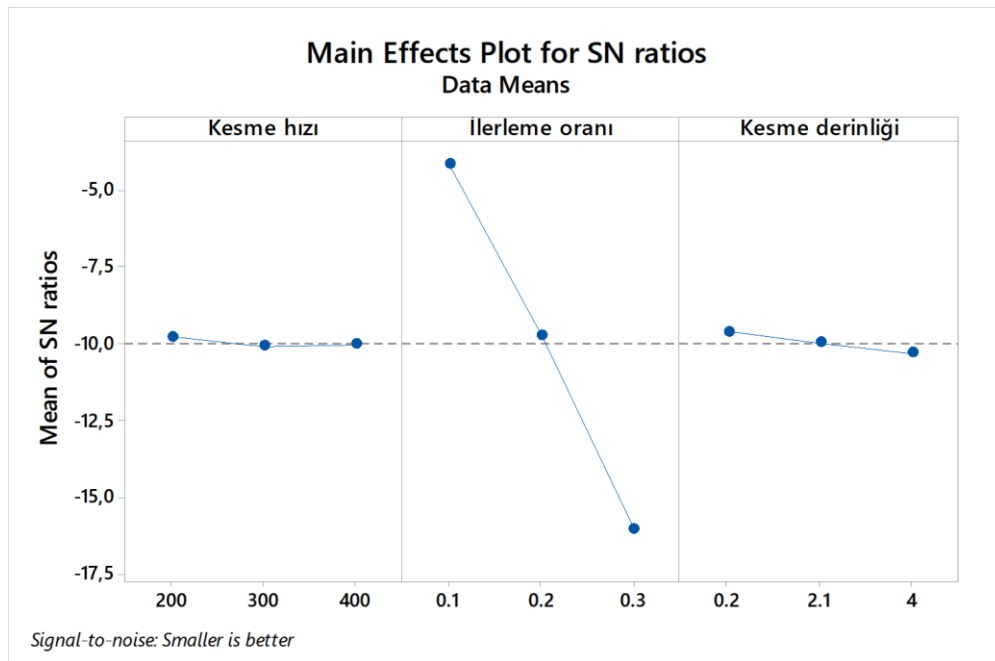
Yüzey Pürüzlülüğü S/N Oranları Analizi

Çizelge 3’te normal ve döküm malzemelerin Taguchi analizi sonrası hesaplanan S/N oranları verilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü küçük olması istendiği için S/N hesaplaması en küçük en iyi denklemi (3 numaralı denklem) kullanılarak yapılmıştır. Çizelge 3’te de görüldüğü gibi 1 numaralı deneyde S/N oranları en büyük çıkmıştır. Sinyal gürültü oranları negatif değerler çıkmış ise sıfıra en yakın S/N oranları optimum değerlerdir. Deneyler neticesinde optimum S/N oranları normal malzemede -3.483, döküm malzemede -4.217 ile 1. deneyde oluşmuştur. Yine 1. deneye baktığımızda her iki malzemede de yüzey pürüzlülüğünün en küçük çıktığı deney olduğunu görürüz.

Çizelge 3. Normal ve döküm malzemelerin S/N oranları

Deney No	v	f	ap	Normal Ra	Döküm Ra	Normal S/N	Döküm S/N
1	200	0.1	0.2	1.493	1.625	-3.483	-4.217
2	200	0.2	2.1	3.098	5.099	-9.820	-14.149
3	200	0.3	4	6.314	10.030	-16.006	-20.026
4	300	0.1	2.1	1.598	2.070	-4.071	-6.318
5	300	0.2	4	3.211	8.067	-10.134	-18.134
6	300	0.3	0.2	6.373	13.205	-16.086	-22.415
7	400	0.1	4	1.737	3.109	-4.794	-9.853
8	400	0.2	0.2	2.905	4.988	-9.263	-13.959
9	400	0.3	2.1	6.338	14.590	-16.040	-23.281

Şekil 4’te normal malzeme için kesme parametreleri ve seviyelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri S/N oranı ile hesaplanmıştır. En küçük en iyi oran kullanılarak kesme parametrelerinin optimum seviyeleri belirlenmiştir. Şekil 4’te, S/N oranının sıfıra yakın olan, yani en büyük değerleri dikkate alınır; optimum seviyeler olarak kesme hızının 1. seviyesi olan 200 m/dk, ilerleme oranının 1. seviyesi olan 0.1 mm/dev ve kesme derinliğinin 1. seviyesi olan 0.2 mm olduğu tespit edilmiştir. Optimum çıkan bu seviyeler 1. deneyde olduğu için Şekil 4, Çizelge 3’te verilen yüzey pürüzlülüğü değerlerini de doğrulamaktadır. Ayrıca Şekil 4’e göre, ilerleme oranı ve kesme derinliği arttıkça S/N oranı azalmaktadır. Buradan da ilerleme oranı ve kesme derinliği arttıkça yüzey pürüzlülüğünün arttığı sonucuna varılır [14]. Kesme hızında ise 200 m/dk’da yüzey pürüzlülüğü en düşük, 300 m/dk’da en büyük çıkmıştır.



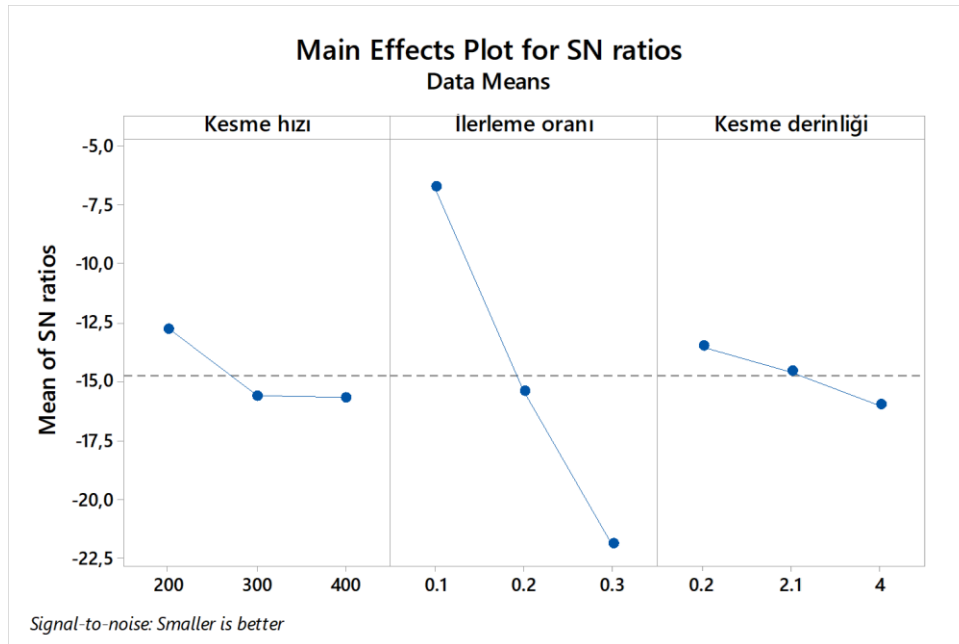
Şekil 4. Kesme parametrelerinin ve seviyelerinin normal malzemede en küçük en iyi S/N oranına göre etkileri

Çizelge 4’te normal malzeme için S/N oranlarına göre kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkinlik (anlamlılık) sırası verilmiştir. Çizelgeye göre ilerleme oranı en etkin parametre olmuştur. İkinci etkin parametre de kesme derinliği çıkmıştır. Kesme hızı yüzey pürüzlülüğüne etki sırasında üçüncü sırada çıkmıştır. Ayrıca seviyelerin karşısında verilen değerler incelendiğinde 1. seviyelerin değerleri diğerlerine göre daha büyük olduğu görülmektedir. Buradan da kesme parametrelerinin optimum seviyeleri anlaşılabilir. Çizelgede her üç parametrenin (kesme hızı, ilerleme oranı, kesme derinliği) optimum seviyesi birinci seviyeler olmuştur. Taguchi analizi ile elde edilen bu veriler Şekil 4’ü ve Çizelge 3’ü doğrulamaktadır.

Çizelge 4. Normal malzemede S/N oranına göre cevap çizelgesi

Seviye	Kesme hızı	İlerleme oranı	Kesme derinliği
1	-9.770	-4.116	-9.611
2	-10.097	-9.739	-9.977
3	-10.032	-16.044	-10.312
Delta	0.327	11.928	0.701
Sıra	3	1	2

Şekil 5'te döküm malzeme için kesme parametreleri ve seviyelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri S/N oranı ile belirlenmiştir. En küçük en iyi oran kullanılarak kesme parametrelerinin optimum seviyeleri belirlenmiştir. Şekil 5'te, S/N oranının sıfıra yakın olan, yani en büyük değerleri dikkate alınır; optimum seviyeler olarak kesme hızının 1. seviyesi olan 200 m/dk, ilerleme oranının 1. seviyesi olan 0.1 mm/dev ve kesme derinliğinin 1. seviyesi olan 0.2 mm olduğu görülmektedir. Optimum çıkan bu seviyeler 1. deneyde olduğu için Şekil 5, Çizelge 3'te verilen yüzey pürüzlülüğü değerlerini de doğrulamaktadır. Ayrıca Şekil 5'e göre, kesme hızı, ilerleme oranı ve kesme derinliği arttıkça S/N oranı azalmaktadır. Buradan da kesme hızı, ilerleme oranı ve kesme derinliği arttıkça yüzey pürüzlülüğünün arttığı sonucuna varılır [10].



Şekil 5. Kesme parametrelerinin ve seviyelerinin döküm malzemedeki en küçük en iyi S/N oranına göre etkileri

Çizelge 5'te döküm malzeme için sinyal/gürültü oranlarına göre kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkinlik sırası verilmiştir. Çizelgeye göre ilerleme oranı en etkin parametre olmuştur. İkinci etkin parametre de kesme hızı çıkmıştır. Kesme derinliği yüzey pürüzlülüğüne etki sırasında üçüncü parametredir. Ayrıca seviyelerin karşısında verilen değerler incelendiğinde 1. seviyelerin değerleri diğerlerine göre daha büyük çıkmıştır. Buradan da kesme parametrelerinin optimum seviyeleri anlaşılabilir. Çizelgede her üç parametrenin (kesme hızı, ilerleme oranı, kesme derinliği) optimum seviyesi birinci seviyeler olmuştur. Taguchi analizi ile elde edilen bu veriler Şekil 5'i ve Çizelge 3'ü doğrulamaktadır.

Çizelge 5. Döküm malzemedeki S/N oranına göre cevap çizelgesi

Seviye	Kesme hızı	İlerleme oranı	Kesme derinliği
1	-12.797	-6.796	-13.530
2	-15.622	-15.414	-14.583
3	-15.698	-21.907	-16.005
Delta	2.901	15.111	2.474
Sıra	2	1	3

SONUÇ

Bu çalışmada, döküm yöntemi ile geri dönüşüm sağlanan alüminyum malzemesinin ve normal malzemenin işlenebilirliği incelenmiştir. Her iki malzemenin yüzey pürüzlülükleri incelenmiş ve karşılaştırma yapılmıştır. Yüzey pürüzlülüğüne etki yönünden optimum parametre seviyeleri ile en etkin parametreler belirlenmiştir. Tornalama işlemleri Taguchi deney tasarımı ile tasarlanmış ve optimizasyonu yapılmıştır. Döküm yöntemi ile elde edilen ürünün kullanılabilirliği araştırılmıştır.

- Deneyler sonucunda elde edilen verilerde hem normal hem de döküm malzemede yüzey pürüzlülüğüne en etkin parametre ilerleme oranı olmuştur.
- Normal malzemede en etkin ikinci parametre kesme derinliği olurken döküm malzemede kesme hızı olmuştur.
- Her iki malzemede de en düşük yüzey pürüzlülüğü 1. deneyde olmuştur. Yani kesme hızı 200 m/dk, ilerleme oranı 0.1 mm/dev ve kesme derinliği 0.2 mm' de gerçekleşmiştir.
- Bütün deneylerde kesme hızı, ilerleme oranı ve kesme derinliği arttıkça yüzey pürüzlülüğüde artmıştır.

Döküm malzemenin yüzey pürüzlülüğü normal malzemenin yüzey pürüzlülüğünden fazla çıkmıştır. Bunun sebebi ise döküm esnasında oluşan hatalardır. Malzemelerin mikroskop görüntüleri incelendiğinde döküm malzemede daha fazla döküm boşluğu ve kalıntılar olduğu görülmektedir. Bunlar da yüzey pürüzlülüğünün normal malzemeye göre az miktarda yüksek olmasına neden olmuştur. Pürüzlülük değerleri farkı çok az olduğu için yeni üretilen döküm malzemenin işlenebilirliği iyi çıkmıştır.

KAYNAKLAR

- Akkus H, 2018. Optimising the effect of cutting parameters on the average surface roughness in a turning process with the Taguchi method. *Materiali in Tehnologije*, 52(6): 781-785.
- Akkuş H, 2019. Experimental and Statistical Investigation of Surface Roughness in Turning of AISI 4140 Steel. *Sakarya University Journal of Science*, 23(5): 775-781.
- Akkuş H, Yaka H, 2018. Optimization of Turning Process By Using Taguchi Method. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(5): 1444-1448.
- Baffari D, Reynolds AP, Masnata A, Fratini L, Ingarao G, 2019. Friction stir extrusion to recycle aluminum alloys scraps: Energy efficiency characterization. *Journal of Manufacturing Processes*, 43, 63-69.
- Erkan Ö, Sur G, Nas E, 2020. Investigation of Surface Morphology of drilled CFRP Plates and Optimization of Cutting Parameters. *Surface Review and Letters*, 1950209.
- Jirang CUI., Roven HJ, 2010. Recycling of automotive aluminum. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 20(11): 2057-2063.
- Kopac J, Bahor M, Soković M, 2002. Optimal machining parameters for achieving the desired surface roughness in fine turning of cold pre-formed steel workpieces. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 42, 707-716.
- Kuntoğlu M, Sağlam H, 2019. Investigation of progressive tool wear for determining of optimized machining parameters in turning. *Measurement*, 140, 427-436.
- Ma B, Li X, Jiang Z, Jiang J, 2019. Recycle more, waste more? When recycling efforts increase resource consumption. *Journal of Cleaner Production*, 206, 870-877.
- Özlu B, Akgün M, Demir H, 2019. AA 6061 Alaşımının tornalanmasında kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisinin analizi ve optimizasyonu. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 5(2): 151-158.

- Palaniappan SP, Muthukumar K, Sabariraj RV, Kumar SD, Sathish T, 2020. CNC turning process parameters optimization on Aluminium 6082 alloy by using Taguchi and ANOVA. *Materials Today: Proceedings*, 21, 1013-1021.
- Ravuri M, Reddy YSK, Vardhan DH, 2020. Parametric optimization of face turning parameters for surface roughness on EN 31 material using RSM and Taguchi method. *Materials Today: Proceedings*.
- Saraswat N, Yadav A, Kumar A, Srivastava BP, 2014. Optimization of cutting parameters in turning operation of mild steel. *International review of applied engineering research*, 4(3): 251-256.
- Soenoko R, Suprpto A, Choiron MA, 2017. Surface roughness and roundness optimization on turning process of aluminium alloy with Taguchi method. *Journal of Mechanical Engineering*, 14(1): 87-96.
- Twardowski P, Wiciak-Pikula, M, 2019. Prediction of Tool Wear Using Artificial Neural Networks during Turning of Hardened Steel. *Materials*, 12(19): 3091.
- Yang WP, Tarng YS, 1998. Design optimization of cutting parameters for turning operations based on the Taguchi method. *Journal of materials processing technology*, 84(1-3): 122-129.