

Döküm Yöntemiyle Üretilmiş Al-12Si Alaşımlarının Tornalanmasında Yüzey Pürüzlülüğünün Optimizasyonu

Mahir AKGÜN¹, Barış Özlü¹, Halil DEMİR²

¹Makine ve Metal Teknolojileri, TBMYO, Aksaray Üniversitesi, TÜRKİYE

²İmalat Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Karabük Üniversitesi, TÜRKİYE

*mahirakgun@aksaray.edu.tr Email of the corresponding author

Özet – Bu çalışmada, Al-12Si ingot alaşımı geleneksel döküm yöntemine göre rezistanslı ergitme ocağında ergitilip metal kalıba dökülerek üretilmiştir. Optimum işleme şartlarının belirlenmesi amacıyla, kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla (250, 350 ve 450 m/dak) kesme hızı (0,1 0,15 ve 0,2 mm/dev) ilerleme hızı, ve (0,5 1 ve 1,5 mm) talaş derinliği üç farklı seviyede tanımlanarak Taguchi'nin L9 dikey dizini ile deney tasarımı yapılmıştır. İşleme deneyleri kuru kesme şartlarında CNC torna tezgâhında gerçekleştirilmiştir. Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisini belirlemek amacıyla varyans analizi (Anova) yapılmıştır. Elde edilen analiz sonuçlarına göre yüzey pürüzlülüğü üzerinde %90,55 katkı oranı ile en etkin parametrenin kesme hızı olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler – Al-12Si Alaşımı, İşlenebilirlik, Anova

Optimization Of Surface Roughness In Turning Cast Al-12Si Alloys

Abstract – In this study, Al-12Si ingot alloy was melted in an electric resistance furnace and then poured into metal moulds through traditional casting method. Optimum machining conditions is aimed to determine by investigating the effects of cutting parameters on surface roughness. For this purpose, The machining tests were carried out through single point turning operations at without coolan on CNC turning at cutting speeds (250, 350 and 450 m/min), feed rates (0.1 0.15 and 0.2 mm/rev) (0.5 1 ve 1.5 mm) deep of cut was defined at three different levels and the experiment was designed with Taguchi's L9 vertical array. Variance analysis (Anova) was performed to determine the effect of cutting parameters on the surface roughness. According to the obtained analysis results, it has been determined that the most efficient parametric advancement cutting speed rate is 90.55% on surface roughness.

Keywords – Al-12Si Alloy, Machinability, Anova

I. GİRİŞ

Hafif mühendislik malzemelerinden olan alüminyum ve alüminyum alaşımlarının günümüz endüstrisinde kullanım alanının oldukça yaygındır. Başlıca yapısal uygulamalarda, uzay ve havacılık sanayinde kullanılan bu malzeme, ağırlıkça hafif olması, korozyon direncinin oldukça iyi olması ve alaşımlarının yüksek mukavemet özelliği sergilemesi kullanım alanlarında tercih nedenidir.

Uzay ve havacılık, otomotiv ve kalıp gibi endüstriyel alanlarda çoğu ürüne son şekli talaşlı imalat işlemleriyle verilir. Talaşlı imalat işlemleri ile genellikle şekillendirilmiş bir parçanın son geometrisi, boyutları ve yüzey kalitesi oluşturulur. İşleme sonrası elde edilen yüzey pürüzlülüğü ve ölçü tamlığı bir ürünün son şeklinin oluşturulmasında önemli imalat parametreleridir. İmalat teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak sadece boyutsal tamlığın ölçülmesi yeterli

olmayıp, birbiri ile ilişkili, hatta ilişkili olmayan yüzeylerin pürüzlülüklerinin ve durumlarının da ölçülmesine ihtiyaç duyulmuştur [1,2]. Yüzey kalitesi; yorulma dayanımını, korozyon direncini ve malzemenin tribolojik özelliklerini büyük oranda etkiler. Bu sebeple, işlem koşullarının ve kesme parametrelerinin optimizasyonu için yüzey pürüzlülüğünün belirlenmesi ve karakterize edilmesi önem taşımaktadır [3,4].

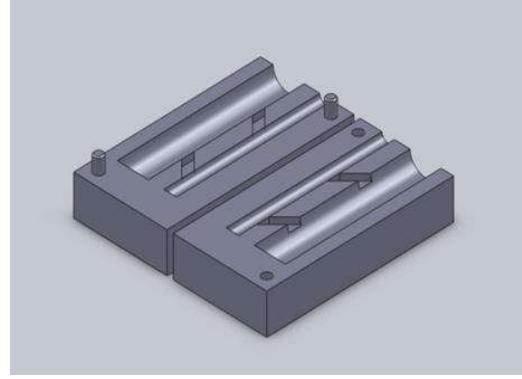
Literatürdeki yapılan çalışmalara bakıldığında alüminyum ve alüminyum alaşımlarının işlenebilirliğinin belirlenmesi amacıyla araştırmalar yapılmıştır. RN Rai ve arkadaşları yerinde döküm tekniğiyle ürettikleri Al-Si, Al-TiC ve Al-TiAl₃ alaşımlarının işlenebilirliklerini belirlemeye çalışmışlardır. Ürettikleri metal matrisli kompozitlerin işlenebilirliğini belirlemek için işlenmiş yüzeyi, kesme kuvvetlerini ve oluşan talaşın tipini karakterize etmişlerdir. Sonuç olarak Al-TiC alaşımlarının işlenmesinde TiC takviyesi

yığıntı talaş oluşumunun azalmasına neden olmuştur. Ayrıca yapılan işleme deneylerinde kesme kuvveti Al-TiC ve Al-Si ile kıyaslandığında Al-TiC de azalmıştır. Al-TiC alaşımlarının iyi işlenebilirliğe sahip olduğunu tespit etmişlerdir [5]. Basavakumar ve arkadaşları Al-12Si ve Al-12Si-3Cu alaşımlarının mikroyapılarını, işlenebilirliklerini ve yüzey özelliklerini incelemişlerdir. Bu alaşımları, (PVD ve CVD) kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlarla kuru kesme şartlarında tornalama testine tabi tutmuşlardır. Kaplamasız ve PVD kaplı kesici takımlarla yapılan deneylerde yığıntı talaş oluşmuştur ve buna bağlı olarak CVD kaplı kesici takımla elde edilen sonuçlara göre daha yüksek kesme kuvvetleri ve zayıf bitirme yüzeyi elde edilmiştir [6]. Demir ve Gündüz, yapay yaşlandırmanın AA 6061 alüminyum alaşımı üzerine etkisini araştırmışlardır. Deneysel çalışmalara göre farklı yaşlanma süresinden ve kesme hızından işlenmiş yüzey pürüzlülüğü değeri önemli ölçüde etkilenmiştir. Ancak kesme kuvvetleri, yaşlanma süresinden ve kesme hızından işlenmiş yüzey pürüzlülüğü değeri kadar etkilenmemiştir [7]. Barzani ve arkadaşları Al-% 11 Si-2% Cu alaşımına Bi (bismuth) ve Sb (antimony) ilavesini işlenebilirliğe etkisini incelemişlerdir. Bi ilaveli iş parçasının tornalanması esnasında Bi elementi önemli bir yağlayıcı etki göstererek en düşük yüzey pürüzlülük değerinin ve en düşük kesme kuvvetlerinin elde edilmesine neden olmuştur. Sb katkılı iş parçasının tornalanmasında ise Bi elementi ilaveli iş parçasının tornalanmasında elde edilen sonuçların aksine hem yüzey pürüzlülük değeri hemde kesme kuvveti değeri en yüksek değerde elde edilmiştir. Buna ek olarak lamel yapıdaki flake-like benzeri silikon morfolojisindeki değişimler, kesme kuvvetini ve yüzey pürüzlülüğü değerini etkilemiştir [8].

II. MATERYAL VE METOT

A. Al-12Si Üretimi

Al-12Si alaşımının üretimi, atmosfer kontrollü 1150 °C kapasiteli elektrik rezistanslı fırında yapılmıştır. Pota içinde fırın içine şarj edilen malzeme ergidikten sonra pota altından kalıba dökülmektedir. Al-12Si bileşimini oluşturmak için ticari olarak temin edilen Al ağırlıkça %12 Si ingot ilave edilmiştir. Tornalama metoduyla işleme deneylerini yapabilmek için ergiyik, 50 mm çapında ve 120 mm boyunda metal kalıba dökülerek deney numuneleri üretilmiştir. Kullanılan metal (kokil) kalıbın şematik görünümü Şekil 1'de verilmiştir. Ergitme işlemi esnasında, dökümün yapılacağı ortamın atmosferle temasını kesmek için ergitme işlemi esnasında fırına koruyucu gaz verilmiştir. Ayrıca döküm yüzey alanını kapatmak ve oksitlenmeyi önlemek için strontium (Sr) toprak alkali metali kullanılmıştır.

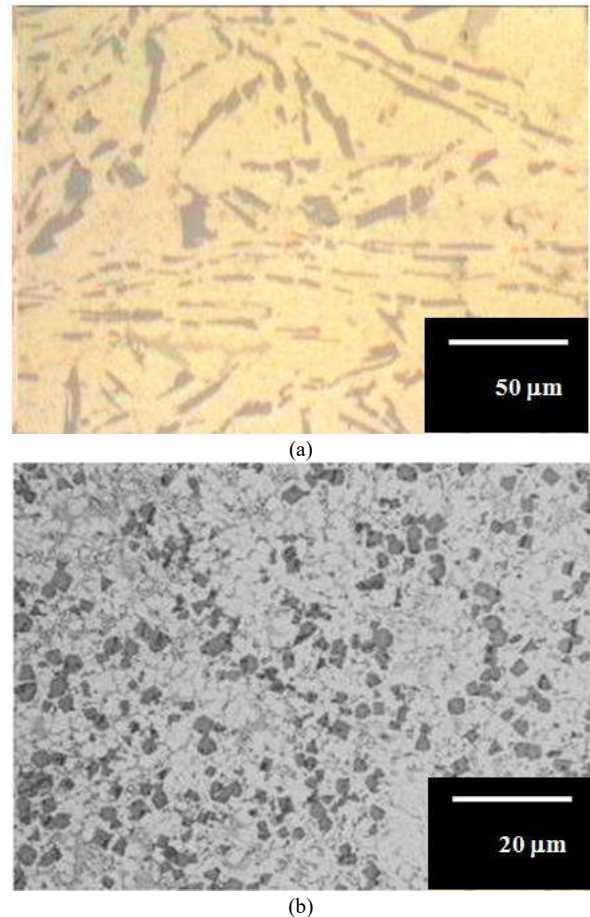


Şekil 1: Dökümün Yapıldığı Metalik Kalıbın Görünümü

B. Al-12Si Alaşımının Mikroyapı İncelemesi

Mikroyapı incelemesi, standart metalografik prosedüre göre numuneleri hazırladıktan sonra optik mikroskopta gerçekleştirilmiştir. Metalografik prosedür, numuneleri 180, 400, 600, 800, 1000, 1200 ve 1400 elek zımparalarla zımparalama ve ardından elmas solüsyonla parlatma işlemi içermektedir. Mikroyapı resimleri, Leica DFC290 model kamera sistemli Leica DM ILM model optik mikroskopta dağlanmamış numuneler üzerinden çekilmiştir.

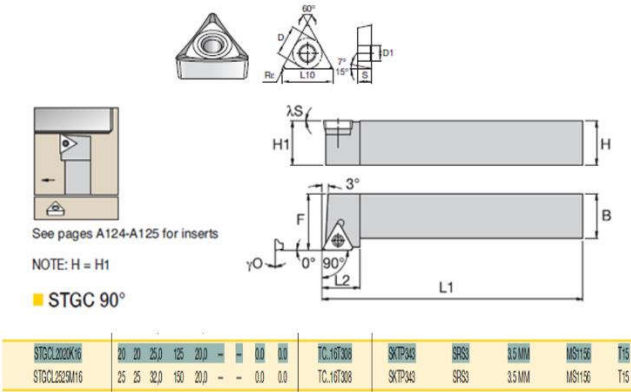
Şekil 2'de üretilen Al-12Si alaşımlı malzemenin iki farklı büyütme ile elde edilmiş mikroyapı görüntüleri verilmektedir. Al-12Si alaşımının mikroyapısında iğnesel şekle sahip intermetalik ve matris yer almaktadır. İğnesel şekle sahip olan faz Si iken matris ise Al'dir.



Şekil 2: Al-12Si alaşımının (a) düşük büyütmede (b) yüksek büyütmede optik görüntüleri.

C. Takım Tezgahı, Kesici Takım ve Kesme Parametreleri

Silindirik iş parçası malzemeleri üzerindeki işlenebilirlik deneyleri, Taksan TMC 500V CNC torna tezgahı kullanılarak yapılmıştır. Kullanılan CNC torna tezgahının gücü 10 KW olup iş mili, değişken kademesiz hıza sahip olup 4000 dev/dak'ya kadar çıkabilmektedir. İş parçası malzemeleri 50 mm çapında ve 120 mm boyundadır. Deneyler esnasında soğutma sıvısı kullanılmamıştır. Deneylerde kullanılan kesici takımlar 0,4 mm uç köşe radyüsünde Kennametal firması tarafından TCGT 16T304HP10 formunda imal edilmiştir. Kesici takım kalitesi üretici firma tarafından KC5010 olarak kodlanmıştır. Kesici takım yavaşma açısı 90° olup STGCL 2020K16 kodlu takım tutucuya mekanik olarak tespit edilmiştir.



Şekil 3: Kesici Takım Formu ve Takım Tutucusunun Görüntüsü.

Deney parametreleri, ISO 3685 standardına uygun olarak belirlenmiştir [9]. MAHR-Perthometer M1 yüzey pürüzlülük cihazı ile işlenmiş yüzeyler üzerinde yüzey pürüzlülüğü ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler üçlü tekrar ile gerçekleştirildi ve elde edilen her bir yüzey üzerinde üç ölçümün aritmetik ortalaması alınarak yüzey pürüzlülüğü değerleri elde edilmiştir.

III. DENEY SONUÇLARI VE ANALİZ

A. Deney Tasarımı

İyi bir proses tasarımı ve yüksek kalitede ürün elde etmek için uygun işleme şartlarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu sebeple son yıllarda mühendislik analizlerinde optimum parametrelerin belirlenmesinde Taguchi metodu deney sayısını azaltması, üretim ve test maliyetlerini düşürmesi sebebiyle yaygın olarak kullanılmaktadırlar. İşlenmiş yüzeyin kalitesini doğrudan etkileyecek olan etkin kesme parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla kesme hızı, ilerleme değeri ve talaş derinliği dikkate alınacak parametreler olarak belirlenmiştir. Deneylerde kullanılan işleme parametreleri ve seviyeleri Tablo I'de verilmiştir. Bu kesme parametreleri ve seviyeleri dikkate alınarak Taguchi L9 dikey dizinine göre işleme deneyleri yapılmıştır. Deney dizini Tablo II'de verilmiştir.

Tablo I. Deneylerde kullanılan işleme parametreleri ve seviyeleri

Kontrol Faktörleri	Sembol	Seviye I	Seviye II	Seviye III
Kesme hızı (m/dk)	A	250	350	450
İlerleme hızı (mm/dev)	B	0,1	0,15	0,2
Talaş Derinliği (mm)	C	0,5	1	2

Tablo II. Taguchi L9 deney tasarımı

Deney No	Kontrol Faktörleri		
	A	B	C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

B. S/N Oranlarının Analizi

Malzemelerin işlenebilirlik özelliklerinin değerlendirilmesinde çeşitli kriterler kullanılır. En yaygın kriterlerden birisi de işlenen yüzeyin kalitesidir. En iyi işlenmiş yüzeyi belirlemede, kontrol faktörlerinin optimizasyonunda S/N oranları kullanılmaktadır. Al-12Si alaşımının Taguchi L9 deney tasarımına göre yapılan işleme deneylerinde, elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerine göre S/N oranları en küçük en iyi eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır. Tablo III'de işleme sonrası elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri ve bunlara karşılık gelen S/N oranları yer almaktadır.

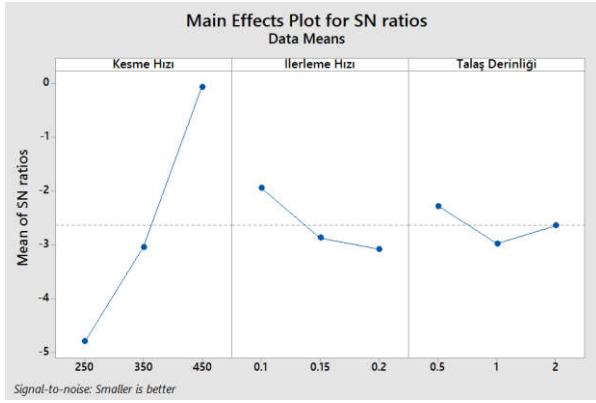
Tablo III. İşleme sonrası elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri ve S/N oranları

Deney No	Kontrol Faktörleri			Yüzey Pürüzlülük Değeri Ra (µm)	S/N Oranı (dB)
	A Kesme hızı	B İlerleme hızı	C Talaş Derinliği		
1	250	0,1	0,5	1,554	-3,829
2	250	0,15	1	1,795	-5,081
3	250	0,2	1,5	1,876	-5,464
4	350	0,1	1	1,398	-2,910
5	350	0,15	1,5	1,472	-3,358
6	350	0,2	0,5	1,387	-2,841
7	450	0,1	1,5	0,900	0,915
8	450	0,15	0,5	1,018	-0,154
9	450	0,2	1	1,113	-0,929

Al-12Si alaşımının tornalama deneyleri sonucunda yüzey pürüzlülük değerlerinin aritmetik ortalaması (TRa) 1,456 µm olarak hesaplanmıştır. Aynı zamanda S/N oranı aritmetik ortalaması da -2,627 dB olarak hesaplanmıştır.

Tablo IV. Yüzey pürüzlülüğü için S/N yanıt tablosu

Seviyeler	Kontrol Faktörleri		
	A	B	C
1	-4,791	-1,941	-2,275
2	-3,036	-2,864	-2,973
3	-0,056	-3,078	-2,635
Delta	4,735	1,137	0,698



Şekil 4. Yüzey pürüzlülüğü için kontrol faktörlerinin seviye değerleri

Kontrol faktörlerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi S/N yanıt tablosu kullanılarak analiz edilmiştir. Tablo IV'de yüzey pürüzlülüğü için S/N yanıt tablosu verilmiştir. Taguchi yöntemiyle oluşturulan bu tablo optimum yüzey pürüzlülüğü değeri için kontrol faktörlerinin optimum seviyelerini göstermektedir. Tüm seviyeler içinde herhangi bir kontrol faktörü için en iyi seviye en büyük S/N oranına göre belirlenmiştir. Buna göre yüzey pürüzlülüğü için kontrol faktörlerinin optimum seviyeleri A kesme hızı 450 m/dk (Seviye 3), B ilerleme hızı 0,1 mm/dev (Seviye 1) ve C talaş derinliği mm (Seviye 1) olarak bulunmuştur. Şekil 4'de Yüzey pürüzlülüğü için kontrol faktörlerinin seviye değerleri gösterilmiştir.

C. Varyans Analizi (ANOVA)

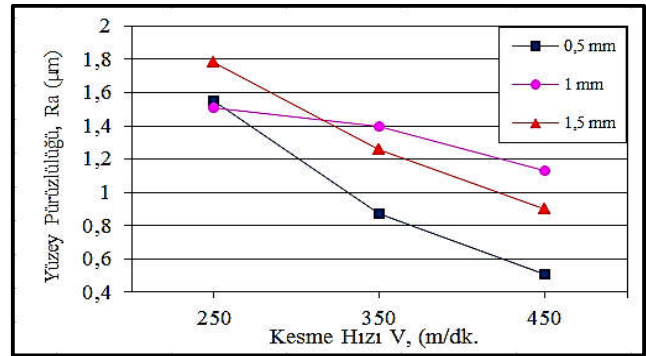
Bu çalışmada yüzey pürüzlülüğü üzerinde kesme hızı, ilerleme hızı ve talaş derinliğinin etkilerini analiz etmek için varyans analizi yapılmıştır. Varyans analizi sonuçları Tablo V'de görülmektedir. Yapılan bu analiz %95 güven seviyesinde gerçekleştirilmiştir. Anova analizinde kontrol faktörlerinin çıktı üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak ifade edilebilmesi için önem seviyesi (P) ve katkı oranının belirlenmesinde F değeri dikkate alınır. P değeri 0,05 den küçük olduğunda faktörün çıktı üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu F değeri için ise, F değeri en büyük olan kontrol faktörü sonuca en fazla etki eden faktör olarak kabul edilmektedir. Varyans analiz sonuçlarına göre yüzey pürüzlülüğü değeri üzerinden en fazla öneme sahip değişken %90,55 katkı oranı ile kesme hızı olmuştur. İstatistiksel analiz sonuçları ile deneysel çalışmada elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında birbirlerini doğrular niteliktedir.

Tablo V. Yüzey pürüzlülüğü için Anova tablosu

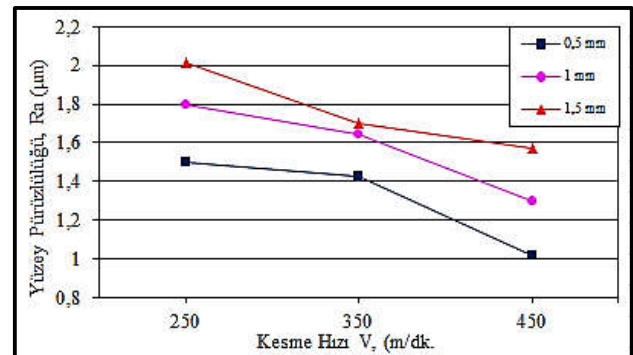
Kontrol Faktörleri	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri	Katkı Oranı %
A	2	0,805	0,402	102,51	0,010	90,55
B	2	0,052	0,026	6,65	0,131	5,84
C	2	0,023	0,011	2,93	0,254	2,58
Error	2	0,007	0,003			0,78
Total	8	0,889				100

IV. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

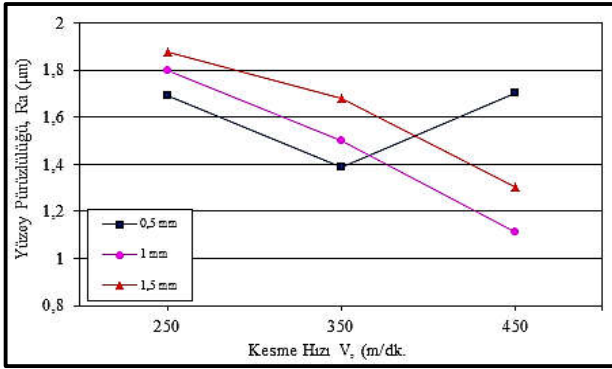
Al-12Si alaşımının işlenmesinde, takımın aşınmasından çok takıma yapışan talaşın engellenmesi gerekmektedir. Genelde kesme hızının artması ile kesme işleminin kolaylaşacağı ve takımın kesme işlemi yapan kısmında meydana gelen BUE oluşumunun azalacağı düşünülmektedir. Kesme hızının 250 m/dk'dan 450 m/dk'ya artırılmasıyla yüzey pürüzlülük değerlerinin azaldığı görülmektedir. Kesme hızının artmasıyla kesici takım ucunda oluşan yığıntı talaş oluşma eğiliminin azalması yüzey pürüzlülük değerlerindeki azalmanın nedeni olarak düşünülür. En düşük yüzey pürüzlülük değeri 450 m/dk kesme hızında, 0,1 mm/dev ilerleme hızında, 0,5 mm talaş derinliğinde 0,509 μm olarak elde edilmiştir. 0,2 mm/dev ilerleme değerinde 0,5 mm talaş derinliğinde kesme hızının 350 m/dk den 450 m/dk artması ile yüzey pürüzlülük değerinde ani bir artış görülmüştür. Bu artış yüksek kesme hızlarında takım tezgâhında meydana gelen titreşim ve kesici takımda yığıntı talaş oluşması ile açıklanabilir.



a) 0,1 mm/dev İlerleme hızında



b) 0,15 mm/dev İlerleme hızında



c) 0,2 mm/dev İlerleme hızında

Şekil 5. İşleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri

V. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Al-12Si alaşımı, ticari olarak temin edilen Al ağırlıkça %12 Si ilave edilerek geleneksel döküm yöntemiyle elektrik direnç ocağında ergitilip metal kalıba dökülerek üretilmiştir. Üretilen malzemenin tornalanmasında yüzey pürüzlülüğünü etkileyen kesme parametrelerinin optimizasyonu yapılmıştır. Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir:

- En düşük yüzey pürüzlülüğü değeri için kontrol faktörlerinin optimum seviyelerini belirlenmesinde S/N oranlarından yararlanılmıştır. Optimum yüzey pürüzlülük değeri 450 m/dk kesme hızında (A3), 0,1 mm/dev ilerleme hızında (B1), 0,5 mm talaş derinliğinde (C1) 0,509 μ m olarak elde edilmiştir.
- Analiz sonuçlarına göre yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkin parametrenin %90,5 katkı oranı ile kesme hızının olduğu görülmüştür.
- İlerleme miktarının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerleri artmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Tübitak 2209 programı tarafından desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a ve deney malzemelerinin üretilmesinde emeği geçen Prof. Dr. Hayrettin AHLATÇI'ya teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] Kwon, Y., "Robust Control of Surface Roughness in a Turning Operation", Bell and Howell Information and Learning Company, The University of Iowa, 2000.
- [2] Trent, E.M., "Metal cutting", Butterworths Press, London, s.1-182, 1989.
- [3] Karayel, D., "Prediction and control of surface roughness in CNC lathe using artificial neural network", Journal of Materials Processing Technology, 209, s.3125-3137, 2008.
- [4] Sekmen M, Günay M, ŞEKER U., "Alüminyum Alaşımlarının İşlenmesinde Kesme Hızı ve Talaş Açısının Yüzey Pürüzlülüğü, Yığıntı Talaş ve Yığıntı Katmanı Oluşumu Üzerine Etkisi", Politeknik Dergisi 18 (3) : s. 141-148, 2015.
- [5] Rai, Ram Naresh., et al., "A study on the machinability behaviour of Al-TiC composite prepared by in situ technique." Materials Science and Engineering 428(1), s.34-40, 2006.
- [6] Basavakumar, K. G., Mukunda, P. G and Chakraborty. M., "Influence of melt treatments and turning inserts on cutting force and surface

integrity in turning of Al-12Si and Al-12Si-3Cu cast alloys." Surface and Coatings Technology 201, s.4757-4766, 2007.

- [7] Demir, H., Gündüz, S., "The effects of aging on machinability of 6061 aluminium alloy" Materials and Design, 30, s.1480-1483, 2009.
- [8] Barzani, M. M., Sarhan, A. A., Farahany, S., Ramesh, S., Maher, I., "Investigating the Machinability of Al-Si-Cu cast alloy containing bismuth and antimony using coated carbide insert" Measurement, 62, s.170-178, 2015.
- [9] ISO 3685., "Tool-Life Testing With Single-Point Turning Tools", 1993.