



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>



Bakır ve pirinç talaşları ile takviye edilmiş boru bağlantı elemanlarının iki farklı üretim türü için (SEC) özel enerji tüketim modeli

Specific energy consumption (SEC) model for types of two different production of fittings which is reinforced by chips of copper and brass

Yazarlar (Authors): Burak ÖZTÜRK¹, Özkan KÜÇÜK²

ORCID¹: 0000-0002-1018-6545

ORCID²: 0000-0002-4337-4454

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Öztürk B., ve Küçük Ö., “Bakır ve pirinç talaşı ile takviye edilmiş boru bağlantı elemanlarının iki farklı üretim türü için (SEC) Özel enerji tüketim modeli”, *Politeknik Dergisi*, 23(1): 27-35, (2020).

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

DOI: 10.2339/politeknik.473105

Bakır ve Pirinç Talaşı ile Takviye Edilmiş Boru Bağlantı Elemanlarının İki Farklı Üretim Türü için (SEC) Özel Enerji Tüketim Modeli

Araştırma Makalesi / Research Article

Burak ÖZTÜRK^{1*}, Özkan KÜÇÜK

Bilecik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği, Bilecik, Türkiye

(Geliş/Received : 22.10.2018 ; Kabul/Accepted : 16.03.2019)

ÖZ

TS 11 EN 10242 Standartlara uygun ölçülerde ve geometrilere üretilen boru bağlantı elemanlarının (fittings); havacılık, otomotiv ve makine üretimi gibi önemli alanlar başta olmak üzere, bina içi doğalgaz ve su tesisatlarına kadar birçok sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır. Fittings malzemelere tek seferde diş açma işlemi, genelde CNC Freze tezgâhlarında ve özel diş açma makinelerinde yapılmaktadır. Ayrıca universal torna tezgâhlarında da kademeli diş açma işlemi ile de fittings malzemeler üretilmektedir. Özellikle Amerika ve Hindistan'da otomotiv sektörü ve makine ekipmanları için üretilen alüminyum alaşımlı fittings malzemeler, bu çalışmada hurda pirinç ve bakır talaşıyla belirli oranda alaşımlandırılmıştır. Literatürde ilk defa boru bağlantı elemanlarının, endüstride seri üretim koşulları dikkate alınarak, CNC Freze'de kılavuzla diş açma ve tornada kademeli diş açma işlemleri ile yapılmış ve karşılaştırılabilir olarak incelenmiştir. Bu çalışmada, parametre olarak devir sayısı, alaşım tipi ve tezgah türü seçilmiş ve enerji güç dönüşüm denklemleri kullanılarak özel enerji tüketimi değerini (SEC (Specific Energy Consumption)) optimum yapan şartlar belirlenmiştir. Optimum şartların belirlenmesinde, Taguchi Yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen malzemelerin içyapıları ve sertlik değişimleri incelenmiştir. SEC sonuçları incelendiğinde %73,91 oranda işleme tipinin ve %26,05 oranda da devir sayısının etkili olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuçlara göre tezgah türü olarak CNC freze, devir sayısı olarak 180 RPM ve alaşım tipi olarak da %8 Pirinç Takviyeli 6061 Alüminyum alaşımı seçildiğinde optimum şartlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Özel enerji tüketimi, alüminyum fittings, boru diş açma, Taguchi metodu.

Specific Energy Consumption (SEC) Model for Types of Two Different Production of Fittings which is Reinforced by Chip of Copper and Brass

ABSTRACT

TS 11 EN 10242 Pipe fittings (fittings) manufactured according to standards and geometries; It is widely used in many sectors such as aerospace, automotive and machinery production, mainly in building natural gas and water installations. Threading of the fittings to the materials at one time is usually carried out on CNC mill and on special manual threading machines. In addition, fittings are also thread by universal lathes. Especially in America and India, aluminum alloy fittings manufactured for the automotive industry and mechanical equipment are alloyed via chips of brass and copper in this study. Pipe fittings for the first time in the literature, considering industrial mass production conditions, made in gradual threading via lathes and milling by tap tool were evaluated comparatively. In this study, speed, alloy type, and machine type are selected as parameters and the conditions which make optimum specific energy consumption (SEC) by using energy power conversion equations are determined. Taguchi method was used to determine the optimum conditions. microstructure and hardness changes in the obtained materials were investigated. When the results of SEC were examined, it was observed that 73,91% of the processing type and 26,01 % of the rotational speed were effective. According to these results; CNC milling as the machine type, 180 RPM as the number of revolutions, and 8% brass reinforced 6061 aluminum alloy as the alloy type, conditions were obtained.

Keywords: Specific Energy Consumption (SEC), aluminum fittings, pipe threading, Taguchi method

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Seri üretimde maliyetlerin azaltılması ve sürdürülebilirliğin artırılması için enerji tüketiminde optimizasyon ile ilgili yapılan araştırmalar günümüzde önemli bir konu başlığını oluşturmaktadır [1-3]. Dünya çapında üretim için gerekli olan enerji ihtiyacının gün geçtikçe artması ve enerji üretiminin yeterli düzeyde

sağlanamaması günümüzde enerji ücretlerinde önemli bir artışa sebep olmuştur. Aynı zamanda üretimin ve enerji ihtiyacının yüksek oranda artış göstermesi sonucunda, çevre kirliliği de artış göstererek çeşitli iklim değişikliklerini ortaya çıkarmıştır [4,5]. Endüstride enerji tüketiminin yüksek oranda yapıldığı yerlerden biriside talaşı imalat yapan kuruluşlardır. Sürdürülebilir üretim, birçok mühendislik alanına ve uygulamasına ait önemli unsurları içerisinde barındırmaktadır [6].

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : burak.ozturk@bilecik.edu.tr

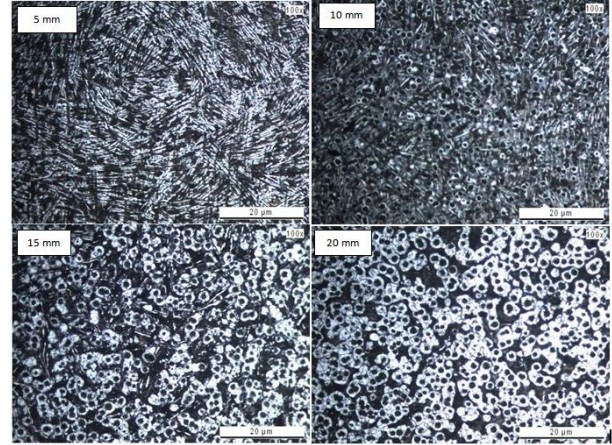
Sürdürülebilir üretim uygulamalarının geliştirilmesi kuruluşların ekonomik ve çevresel performanslarını artırmalarına imkân sağlamaktadır. Makine ekipmanlarının elektrik sarfiyatlarını azaltmak ve çevre dostu bir üretim gerçekleştirmek için tedbirlerin araştırılması üretim sektörü için büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle CNC makinelerde enerji tüketimi miktarlarının incelenmesi gerekmektedir [7].

Üretimle ilgili daha iyi bir enerji verimliliği elde etmek için takım tezgâhı ve kesme işlemi arasındaki elektrik enerjisi tüketimi ilişkisinin incelenmesi günümüzde zorunlu hale gelmiştir. Enerji sarfiyatı ülke ekonomileri için birçok seri üretim kuruluşunda önemli bir üretim parametresi olarak yer almaktadır. Yüksek miktarda enerji sarfiyatı yapılan ürünlerden biride boru bağlantı elemanlarıdır. Boru bağlantı elemanlarının üretim maliyetlerinin azaltılması için talaş kaldırma parametrelerinin endüstriyel koşullar altında incelenmesi bu araştırmanın temellerini oluşturmuştur. Literatürde farklı metal kesme parametrelerinin optimizasyonu ile ilgili çeşitli çalışmalar yayınlanmıştır [8-14]. Bu çalışmalarda, araştırmacılar yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvveti, kesme gücü, takım ömrü ve talaş kaldırma oranı gibi bazı talaşlı imalat parametreleri incelemiştir. Delik delme ve frezeleme işlemi için kesme koşullarının güç tüketimi üzerindeki etkisi ölçülmüştür [8]. CNC dik işleme tezgâhında kanal frezeleme işlemi sırasında kuvvetler ve güç tüketimi ölçülerek yeni bir talaşlı imalat enerji tüketimi modeli önerilmiştir [9]. Diğer bir çalışmada torna tezgâhlarında enerji sarfiyatı en aza indirilirken, en iyi yüzey kalitesini elde etmek için gerekli optimum kesme parametresi değerleri tespit edilmiştir [10]. 5 eksen CNC Freze tezgâhında optimize edilmiş takım eğim açısı belirlenmiş ve bunun sonucunda enerji tüketimi azalmıştır [11]. Tornalama sırasında kesme bölgelerinde ortaya çıkan ısının iş parçasının yüzey kalitesinde ve güç tüketiminde önemli bir rol oynadığı bir başka çalışmada gözlemlenmiştir [12]. Yüzey frezeleme ile talaş kaldırma işlemi sırasında tüketilen güç endeksindeki artışları ölçülerek iki farklı kaplama tipine sahip kesici takım ile talaşlı imalat işleminde optimizasyon sağlanmıştır [13]. Frezeleme işlemi sırasında yüzey pürüzlülüğünün tahmin edilmesi için spesifik kesme enerji tüketiminin (SCEC) analitik hesaplanmasını ve yüzey pürüzlülüğü ile SCEC arasındaki korelasyonun deneysel karakterizasyonunu birleştiren bir yaklaşım geliştirilmiştir [14].

2. ALÜMİNYUM ALAŞIMLI BORU BAĞLANTI ELEMANLARI (ALUMINUM ALLOY FITTINGS)

TS 11 EN 10242 standartlarında üretimi yapılan dökme demir boru bağlantı elemanlarının seri üretimi için, ısıl işlem ve galvaniz kaplama gibi bazı imalat işlemleri gerekmektedir. Bu sektörde son 20 yılda 18 adet TSE, İSO ve Yerli Malı belgeli üretim yapan sanayi kuruluşu, Çin ve Tayvan gibi uzak doğu ülkelerinde üretilen ürünler ile pazar rekabet gücünü kaybederek üretimini

durdurmuştur [15]. Bunun en muhtemel nedeninin üretim maliyetleri olduğu düşünülmektedir. Özellikle bu ürünlerin cidar kalınlıkları çok ince olduğundan dolayı, döküm soğuma hızları çok yüksektir [16]. Soğuma hızı neticesinde ortaya çıkan izotermal dönüşüm ile son derece kırılğan mikroyapılar oluşmaktadır (Şekil 1.) [16].



Şekil 1. Fittings ürünlerin cidar kalınlığına bağlı olarak mikroyapı değişimleri (Microstructure changes depending on wall thickness of fittings)[16]

Fittings malzemelere uygulanan östemperleme ısıl işlemi ile kırılğanlık azalırken sertlik artmaktadır. Östemperleme ısıl işlemi ile işlenebilirlik olumsuz yönde etkilendiğinden endüstride sadece östenitleme ısıl işlemi uygulanarak malzemeler yumuşatılır. Bu işlem ise malzemenin akma dayanımını azaltmakta olup, sertlik değerlerini 90-100 HB değerlerine düşürmektedir. Böylelikle işlenebilirlik artarken emniyet katsayısı azalmaktadır [17]. Avrupa'da prinç ve Amerika'da bakır, fittings malzemesi üretiminde kullanılmaktadır. Ayrıca bu ürünler Hindistan ve Çin'de 6061-T6 malzemesinden üretimi yapılmaktadır.

Ülkemizde ise mukavemetsiz, işlenebilirliği düşük ve üretim maliyeti yüksek olan dökme demir fittings malzemeler yerine işlenebilirliği daha yüksek, üretim maliyeti daha az ve daha mukavemetli malzeme olarak alüminyum 6061 malzemesinin kullanılabilmesi düşünülmektedir. Üretim maliyetlerini artırmadan mukavemet özelliklerini iyileştirmek boru bağlantı elemanı üreticileri için önemli bir amaçtır. Alüminyum 6061 malzemesinin kullanımında, mukavemet özellikleri dökme demir fittings malzemeler ile karşılaştırıldığında daha düşüktür. Bu yüzden alüminyum alaşımlarının güçlendirilmesi gerekmekte olup, bu konuda literatürde yapılan çalışmalar incelenmiştir. Bir çalışmada, Al-Mg-Si alaşımlarının doğal yaşlanma ve çökeltme sertleşme davranışına Ag ve Cu ilavesi ile elementlerin etkisi incelenmiştir [18].

Bir diğer çalışmada, süper yüksek mukavemetli Al-Li alaşımını geliştirmek için, T8 ısıl işlemlili Al-Cu-Li alaşımlarının mikroyapıları ve mekanik özellikleri incelenmiştir [19]. Farklı bir araştırmada, çeşitli yapıy

yaşlandırma işlemleri sırasında Al-Si-Mg-Cu alaşımlarının mekanik ve termal özelliklerine intermetaliklerin çökmesinin etkisi araştırılmıştır [20]. Mevcut alaşımların mekanik özelliklerini arttırmak için farklı katılaşma koşullarında Al-Si-Mg alaşımının üçlü sisteminde bakır kullanılmıştır [21]. Kılıçarslan vd. Fe-Si içeren Al-Cu-Fe sistemine dayanan %10 Cu elementi içeren bir hipotektik alaşım araştırmışlardır. Mikroyapı dağılımı ve katılaşma yapısı, alaşımın tribolojik özelliklerinde artış ile sonuçlanmıştır [22].

Bu makalede, literatürde alüminyum alaşımlarının güçlendirilmesi ile ilgili araştırmalar dikkate alınarak, boru bağlantı elemanlarının sertlik değerlerini arttırmak ve ikinci bir ısıl işlem yapmadan seri üretim için 6061 alaşımı güçlendirilmek istenmiştir. Araştırmamızda, endüstride kuru kesme tornalama işlemi sonucunda elde edilmiş pirinç ve bakır talaşları düşük maliyetleri nedeniyle, 6061 alaşımının güçlendirilmesinde kullanılmıştır. Böylece ince talaşların geri dönüşümü sonucunda sürdürülebilirlik düşük maliyet ile sağlanabilecek ve 6061 alaşımı güçlendirilerek sertlik değeri ve mekanik özellikleri iyileştirilebilecektir. Alüminyum 6061-T6 fittings malzemelerinin üretim maliyetlerinin azaltılması ve mukavemetinin artırılmasıyla kullanım isteğinin ülkemizde artabileceği düşünülmektedir. Bunun sonucunda üretilen malzemeler ile sıhhi tesisat ve doğalgaz sistemlerindeki güvenilirlik artabilecektir. Endüstride iç dış açma işlemi iki farklı tip tezgâhta gerçekleştirilmektedir. Bunlardan bir tanesi CNC freze ve kılavuz kullanılarak dış açma işlemidir. Diğer bir üretim işleminde ise kademeli dış açma işlemi torna tezgâhı kullanılarak uygulanmaktadır. Bu iki farklı tezgâh da, aynı talaşlı imalat işlemi için kullanılmasına rağmen, üretim süreleri ve enerji tüketimleri arasında farklılıklar mevcut olup, bu konuda bir araştırmaya literatürde rastlanılmamıştır. Çalışmamızda, her iki üretim yöntemi farklı tip alaşımlar için karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Parametre olarak devir sayısı, alaşım tipi ve tezgâh türü seçilmiş, özel enerji tüketimlerini optimum yapan şartlar Taguchi Metodu kullanılarak belirlenmiştir.

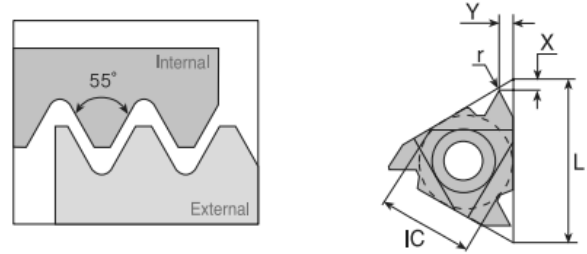
3. MATERYAL VE METOT (MATERIALS AND METHODS)

3.1. Dış Açma İşlemi ve Taguchi L18 (21x32) Deneysel Tasarımı (Taguchi L18 (2¹ x 3²) Design of Experiment (DOE))

Boru bağlantı elemanlarının imalatı yapılan endüstriyel kuruluşlarda dış çekme işlemi, devir sayısı değişimleri ile ilişkilendirilir. Genel olarak endüstride devir sayısı 90-180 RPM aralıklarında alınarak dış açma işlemi gerçekleştirilmektedir.

Üniversal Torna, fittings seri üretimde kullanılan bir takım tezgâhtır. Bu tezgâhlarda dış açma işlemi kademeli olarak gerçekleştirilmektedir. Bu makalede torna tezgâhında dış açma işlemi sırasıyla dış dibi tornalama işlemi ve sonrasında ise sırası ile 0,65, 0,35 ve 0,15 mm paso miktarıyla gerçekleştirilmiştir. Her deney

iki kez tekrar edilmiştir. Talaşlı imalat işlemi sırasında Korloy 14W IR 55° iç dış açma takma ucu ve Korloy DCMT-HMP NC 5330 iç delik takma ucu kullanılmıştır (Şekil 2). Kademeli dış açma işlemi Toss SN 50 üniversal torna tezgâhında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. Korloy 14W IR 55° sert metal uç (Korloy 14W IR 55° hard metal insert)

Diğer bir yöntem olan CNC Freze tezgâhında dış açma işlemi uygulanırken, Microcut 1000 CNC dik işleme tezgâhında 1/2 BSP dış çekmek için, Well Cut marka hava çeliği kılavuz kullanılarak dış açma işlemi gerçekleştirilmiştir. Redüksiyon ürünlere, tezgâh tablasına 4 ayaklı aynaya bağlanan iş kalıbı yardımı ile dış açma işlemi yapılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Kalıp bağlantısı (solda), Welcut 1/2" BSP kılavuz (Mold connection (left), Welcut 1/2" BSP tap tools)

Yapılan çalışmada, deney tasarım ve analiz yöntemi olarak Taguchi L_{18} ($2^1 \times 3^2$) faktöriyel fraksiyonel deney tasarımı kullanılmıştır. Parametrelerin etki oranlarını hesaplamak için Anova Varyans Analizi yapılmıştır. Taguchi L_{18} ($2^1 \times 3^2$) faktöriyel fraksiyonel deney tasarımı Çizelge 1'de ve kullanılan parametreler ve seviyeleri ise Çizelge 2'de verilmiştir. Maliyetleri en düşük seviyede tutmak için en az deney yapma prensibine dayanan yöntemlerden birisi olan ve Japon Bilim adamı Genichi Taguchi'nin geliştirmiş olduğu bu yöntemin diğer istatistiksel deney tasarım yöntemlerinden farkı; bir deneyi etkileyen parametreleri, kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen olmak üzere iki grupta incelemesi ve çok sayıda parametreyi ikiden fazla seviyede incelemeye imkân sağlamasıdır.

Çizelge 1. Taguchi L_{18} ($2^1 \times 3^2$) Deney Tasarımı (Taguchi L_{18} Design of Experiment (DOE))

Deney No	Değişkenler																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Tezgah Türü (A)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Devir Sayısı (RPM) - (B)	1	1	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	2	3	3	3
Alaşım Tipi (C)	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3

Çizelge 2. Diş Açma İşlemi Parametreleri (Parameters of Threading)

Tezgah Türü (A)	Devir (RPM) (B)	Alaşım Tipi (C)
CNC Freze	90	6061
Üniversal Torna	125	6061+ %8 Pirinç T.
-	180	6061+ %8 Bakır T.

Taguchi yaklaşımında, sonuçları analiz edebilmek için S/N oranı olarak bilinen bir istatistiksel performans ölçüsü kullanılır. Deneylerden elde edilen sonuçlar sinyal/gürültü oranına (S/N) çevrilerek değerlendirme yapılır. S/N oranındaki S sinyal faktörünü, N ise gürültü faktörünü ifade etmektedir. Sinyal faktörü sistemden alınan gerçek değeri, gürültü faktörü ise deney tasarımına katılamayan fakat deney sonucuna etki eden faktörleri ifade etmektedir. Gürültü kaynakları, elde edilmek istenen performans karakteristiklerinin hedef değerden sapmasına sebep olan tüm değişkenlerdir. SEC (Specific Energy Consumption) ve P_{Total} (kW) sonuçlarının düşük olması elektrik tüketimi açısından büyük bir öneme sahiptir. Aynı zamanda bu veriler bir ürünün işlenebilirliği hakkında bilgi vermektedir. Sonuçların en küçük değerde olması için deney tasarımı parametrelerinden sonuçları en küçük yapanlar belirlenmelidir. S/N oranlarının hesaplanmasında; karakteristik tipine bağlı en küçük en iyidir eşitliği (Eşitlik 1.) kullanılmıştır [13].

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

3.2. Deney Numunelerinin Dökümü (Casting Of Test Samples)

Bu çalışmada, et kalınlığı ince ve soğuma hızı en fazla olan malzemelerden biri olan $\frac{3}{4}$ - $\frac{1}{2}$ inç redüksiyon, deney numunesi olarak seçilmiştir. Bu ürünün tasarımı TS 11 EN 10242 standartlarına göre yapılmıştır. Çizelge 3'de redüksiyon fittings malzemesinin tasarım özellikleri yer almaktadır. Ayrıca Çizelge 4'de deneysel çalışmada kullanılmak üzere Seykoç Alüminyum kuruluşundan temin edilmiş 6061 alaşımının ve Çizelge 5'de pirinç talaşının Oxford Faundry Master Pro spektrometre ile ölçülmüş kimyasal analizleri verilmiştir.

Çizelge 3. Tasarım Özellikleri (Design Specifications)

Model Adı	Tasarım Hacmi (mL)	İç Diş Talaş Hacmi (mL)	İç Diş Talaş Oranı (%)	Adım (mm)	Diş Boyu (mm)	Diş Ölçüsü
3/4 - 1/2" Red.	10,097	0,302	3	1,814	20	1/2" BSP

Çizelge 4. Alüminyum Alaşımının Kimyasal Analizi (Chemical Analysis of Aluminum Alloy)

Element Adı	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr
% Ağırlık Oranı	96,5	0,77	0,33	0,73	0,06	1,2	0,07	0,13

Çizelge 5. Pirinç Malzemenin Kimyasal Analizi (Chemical Analysis of Brass Material)

Element Adı	Cu	Zn	Pb	Sn	Fe	Ni	Sb
% Ağırlık	59,6	37,1	2,12	0,415	0,275	0,205	0,051

Boru bağlantı elemanlarının modelleri, kuma döküm derece sisteminde, mekanik pres yardımıyla kalıplanmıştır. Temiz grafit pota kullanılarak 750°C sıcaklıkta deney numuneleri eritilmiştir. Farklı numuneler homojen dağılım için sıvı fazda 30 dk sürede 300 RPM hızla karıştırılmıştır ve sonrasında kalıba dökülmüştür. Dökümü yapılan üç farklı alüminyum fittings malzemesi numaralandırılarak gruplandırılmıştır.

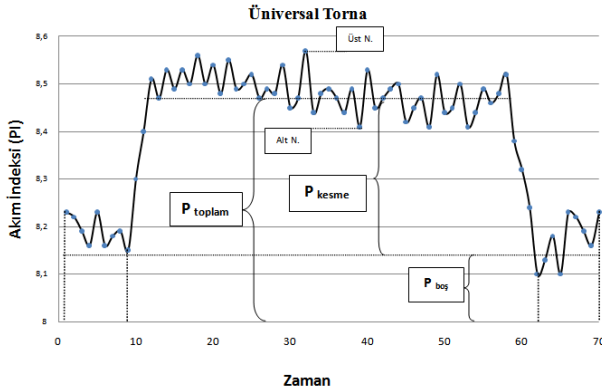
3.3. DENEY NUMUNELERİNİN İMALATI VE GÜÇ İNDEKSLERİNİN (A) ÖLÇÜMÜ (MANUFACTURE OF TEST SAMPLES AND MEASUREMENT OF POWER INDEXES (A))

Torna tezgahında akım değişimleri asenkron motora ve CNC frezede ise motor sürücüsünün üç fazlı girişinin her birine Dijital Entes epm 4c ampermetre ve Entes ct-25 akım trafosu bağlanarak, 0,07-200 A aralığında ± 1 A hassasiyeti ile güç indeksi ölçümü yapılmıştır (Şekil 1). Şekil 3'de torna ve şekil 4'de CNC freze için ölçülen akım değişim grafiği yer almaktadır. Motorlar iki nedenden dolayı güç harcarlar. Mil şaftını hızlandırmak / yavaşlatmak ve ataletine, sürtünme direncine ve yer çekimine karşı hareket ettirmek ilk nedendir ($P_{boş}$).

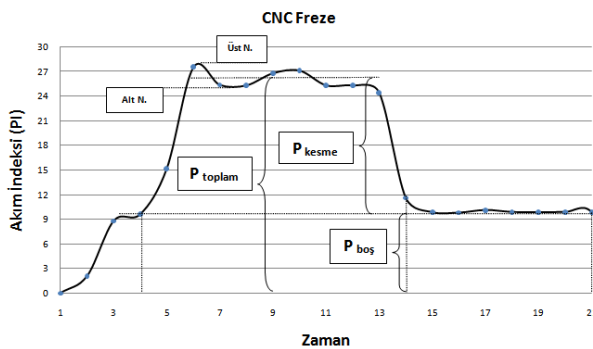
Kesme direncinin üstesinden gelmek için gerekli kesme kuvvetini sağlamak ise ikinci sebeptir (P_{kesme}) [8]. Eşitlik 2 normal çalışma sırasında bir takım tezgâhının güç tüketiminin P (Wh) modelini göstermektedir.

$$P = P1 \times (T1 + T2) + P2 \times T2 + P3 \times T3 \quad (2)$$

Burada, P toplam enerji tüketimi (P_{toplam}), P1 çalışma durumu ne olursa olsun makine çalışması sırasında sabit güç tüketimi ($P_{boş}$), T1 (h) tezgâhın talaş kaldırmadığı yani boşta hareket ettiği süre, T2 (h) talaş kaldırma sırasındaki süre, P2 kesme koşullarında mil ve servo motor tarafından güç tüketimi (P_{kesme}), P3 işi konumlandırmak ve iş milini belirtilen hıza kadar hızlandırmak/yavaşlatmak için güç tüketimi ve T3 (h) gereken zamandır ($P_{boş}$). Şekil 4 ve 5’de bu farklı güç tüketim bölgeleri her iki tezgâh için detaylı bir şekilde gösterilmiştir.



Şekil 4. Torna tezgâhında dış açma işlemi sırasında oluşan akım değişimleri



Şekil 5. CNC Freze tezgâhında dış açma işlemi sırasında oluşan akım değişimleri

Talaş kaldırma işleminde ampermetre ile spindle servo motor sürücüsünün çektiği güç indeksi (A) ölçülmekte, 3 fazlı motor enerji güç dönüşüm denklemi (Eşitlik 3) ile kW türünden güç tüketimine dönüştürülmektedir [12]. Güç faktörü değeri literatürden alınmıştır . Bu eşitlikte; V=Spindle Motoru Voltaj Değeri (V, 0,38),

I=Ampermetre ile ölçülen enerji yükü (A), Cos σ =Güç Faktörü (Servo; 0,60, Asenkron Motor; 0,85)’dür.

$$P_{toplam} = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \sigma \quad (3)$$

Talaşlı imalat işlemleri ile ilgili yapılan araştırmalar günümüzde önemli konu başlıklarını oluşturmaktadır [23-25]. Yapılan literatür araştırmaları sonucunda, enerji güç dönüşüm denklemleri ile MRR (Material Removal Rate), SCEC (Specific Cutting Energy Consumption) ve SEC (Specific Energy Consumption) gibi talaşlı imalat işlemlerinde önemli kesme parametrelerinin hesabı yapılabilmektedir. MRR; İş parçasından bir saniyede kaldırılan mm^3 cinsinden talaş miktarıdır. MRR aşağıda verilen Eşitlik 4 ile hesaplanmaktadır. Ap derinlik miktarı, ae talaş kaldırılan genişlik yada yana kayma miktarı ve F ilerleme hızıdır SEC ise eşitlik 5’de yer alan formülle hesaplanan $1 mm^3$ talaş kaldırmak için toplam enerji tüketimi miktarıdır [9,13].

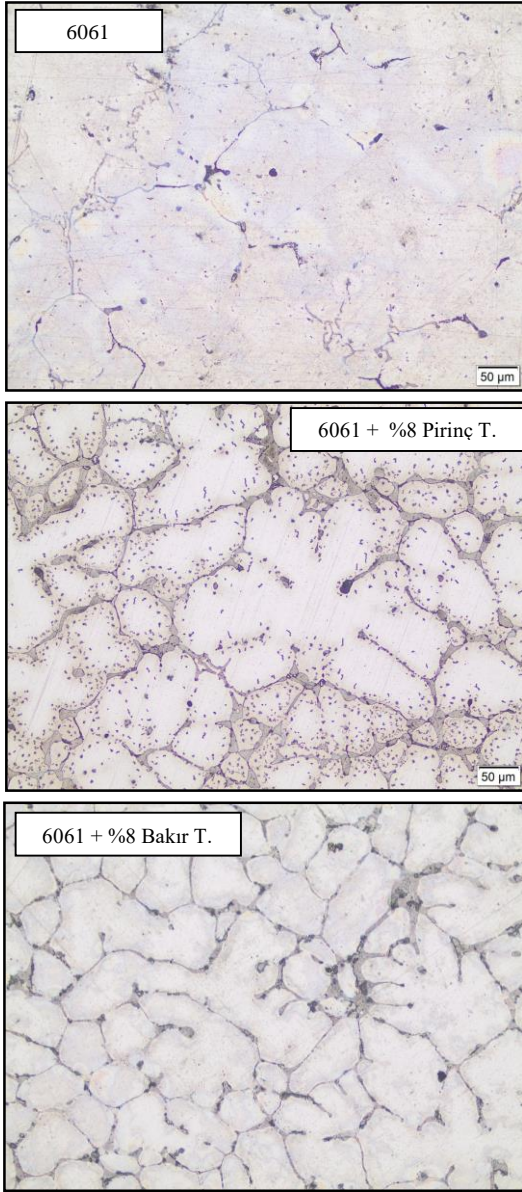
$$MRR = (ap * ae * F) / 1000 \quad (4)$$

$$SEC \left(\frac{J}{mm^3} \right) = \frac{P_{total} (W)}{MRR \left(\frac{mm^3}{s} \right)} \quad (5)$$

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME (RESULTS AND DISCUSSION)

4.1 Mikroyapı Sonuçları (Microstruc. Results)

Deney numunelerinin mikroyapı görüntülerini elde etmek için dış yüzeylerinde ilk olarak finish tornalama işlemi yapılmıştır. Daha sonra metalografik parlatma ve dağlama (etching) işlemleri ile mikroyapının ortaya çıkması sağlanmış ve optik mikroskop görüntüleri alınmıştır (Şekil 6). 6061 Alüminyum alaşımı numunesinin mikro yapısındaki α -Al fazına ait tane boyutları $50 \mu m$ ile $250 \mu m$ arasında değişmekte olup, ortalama tane boyutu $150 \mu m$ dir. Tane sınırlarında kısmen köşeli hatlar gözükse de, genelde tane sınırları keskin kenarlara sahip değildir ve tanelerin en-boy oranları bir birilerine yakındır (plaka türü tane yapısı). Bu mikroyapı sertlik değeri 27 HB’dir. Prinç talaşı katkılı numunede ise tane sınırları biraz daha küçüktür. Ayrıca çinkonun tane sınırlar içinde noktalar halinde benek şeklinde dağılım gösterdiği düşünülmektedir. Bu mikroyapı sertlik miktarı 76 HB’dir. Bakır talaşı katkılı numuneye bakıldığında ise α -Al fazlarının boyutlarının diğer her iki numuneden de daha küçük olduğu (ortalama $70 \mu m$) ve yapı içerisinde daha homojen bir şekilde dağıldıkları görülmektedir Bu malzemeye yapılan bakır ilavesiyle tane yapısındaki bu küçülme nedeniyle yine sertliğin 97 HB’le arttığını düşünüyoruz. Ayrıca literatürde de α -Al fazının tane boyutlarının küçülmesi sertlik değerlerinin artmasına neden olduğu rapor edilmektedir [18-22].



Şekil 6. Alüminyum Boru Bağlantı Elemanının Mikroyapı Resimleri (Microstructure of Aluminum Fittings)

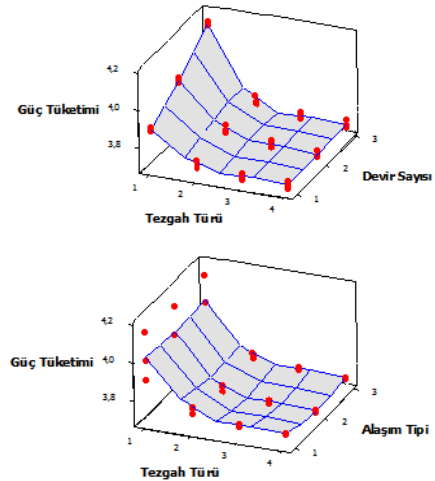
4.2 ENERJİ TÜKETİMİ SONUÇLARI (ENERGY CONSUMPTION RESULTS)

Üniversal torna tezgahında diş açma işlemi kademeli olarak gerçekleştirilmiştir. Böylece farklı paso miktarlarında tüketilen enerji tüketimi incelenebilecektir. Bu yüzden Taguchi analizi dışında sonuçlarında elde edilmesi gereklidir. Bu sebeple belirlenen deney tasarımına göre akım değişimleri, torna tezgahında diş açılırken ölçülmüştür (Çizelge 6). Enerji güç dönüşüm eşitlikleri kullanılarak kWh olarak güç tüketimleri hesaplanmıştır. En yüksek güç tüketimi 180 RPM’de ve takviyesiz 6061 alaşımı için tornalama işleminde gözlemlenmiştir. En az güç gereksinimi ise 90 RPM’de ve prineç talaşı takviyeli alaşımda, 0,15 mm diş derinliğinde diş açma işlemi yapılırken gözlemlenmiştir.

Çizelge 6. Torna Tezgahında Kademeli Diş Açma İşleminde Enerji Tüketimi Sonuçları (Energy Consumption Results of Gradual Threading on Lathe)

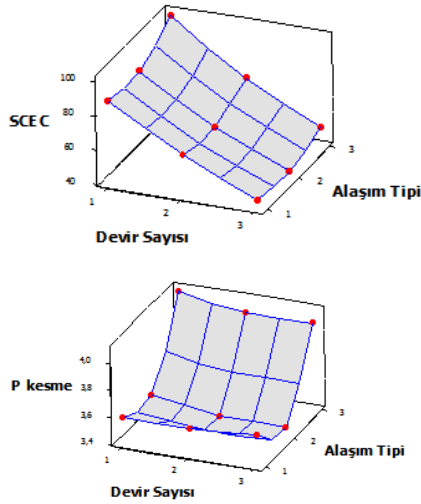
Deney No	Tornalama	Diş derinliği (mm)			Güç (P)	SEC (J/mm ³)
		0,65	0,35	0,15		
1	3,90	3,76	3,74	3,73	3,78	366,83
2	3,88	3,72	3,70	3,69	3,75	363,41
3	3,89	3,74	3,72	3,71	3,76	364,86
4	4,01	3,80	3,75	3,74	3,82	267,00
5	3,98	3,75	3,71	3,70	3,79	264,52
6	3,99	3,77	3,73	3,71	3,80	265,57
7	4,15	3,79	3,74	3,74	3,86	187,08
8	4,13	3,75	3,71	3,70	3,82	185,35
9	4,14	3,76	3,72	3,72	3,84	186,09

Torna tezgahında işleme tipi değişimlerinin devir sayısı ve alaşım tipi ile farklı formasyonlarının güç tüketimine etkilerinin gözlenmesi için Minitap paket programında surface plot grafiği oluşturulmuştur (Şekil 7). Devir sayısı artıca ve işleme tipi değişimine göre, güç tüketimi artış göstermiştir. Tornalama işleminde devir sayısı değişimi daha yüksek oranda güç tüketimi sonuçlarına etki etmiştir. Malzeme tipinin etkisi torna ile kademeli diş açma işleminde işleme tipine göre çok daha az olduğu söylenebilir.



Şekil 7. İşleme Tipi-Devir Sayısı (solda) ve İşlem Tipi- Malzeme Tipi (sağda) Değişimlerinin Güç Tüketimine Etkileri (Effect of Type of Process – Rev. (left) and Type of Process - Material Type (right) Changes on Power Consumption)

CNC dik işleme tezgahından elde edilen SCEC ve P_{kesme} değerleri malzemelerin işlenebilirliği hakkında bilgi vermektedir [13]. Bu üç farklı tip alaşımın, farklı devir sayılarındaki kılavuz ile diş açma işlemi enerji tüketimlerine etkileri, grafik haline getirilmiştir (Şekil 8). Devir sayısı azaldıkça SCEC değeri uzaklaştırılan talaş miktarı ile orantılı olarak artmaktadır. İşlenebilirliği en yüksek olan malzeme prineç talaşı takviyeli 6061 alaşımıdır. P_{kesme} değeri incelendiğinde işlenebilirliği diğerlerinden daha düşük olan bakır talaşı takviyeli malzemelerdir.



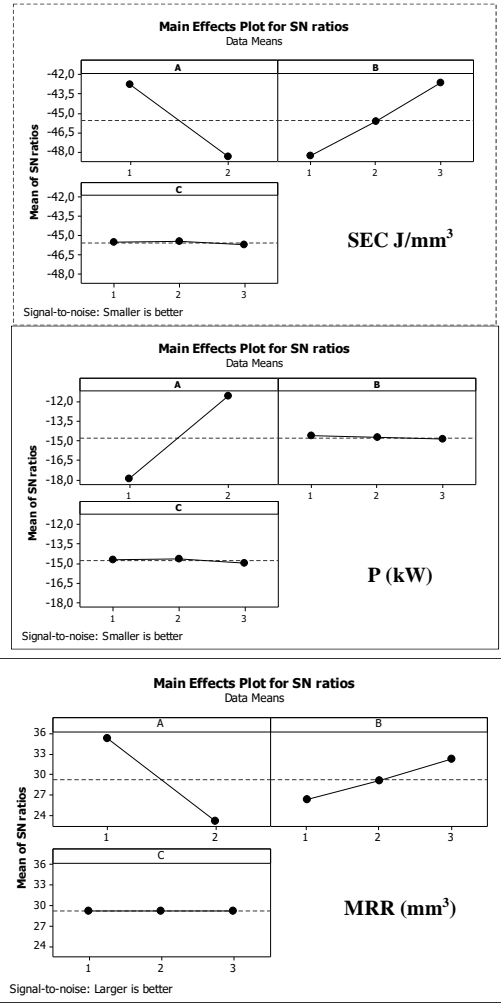
Şekil 8. CNC Dik İşleme Tezgâhı S/EC ve P_{kesme} Değişimleri Grafiği (Graph of S/EC and $P_{cutting}$ Change on CNC Mill)

Çizelge 1’de yer alan deney tasarımı parametrelerine ve seviyelerine bağlı olarak dış açma işlemi uygulanmıştır. Montajı gerçekleştirilen akım trafosu ve ampermetre deney düzeneği yardımıyla anlık akım değişimleri (PI (A)) ölçülmüştür. Enerji - güç değişim denklemleri (Eşitlik 2-5) kullanılarak yapılan bu hesaplamalar sonucunda elde edilen enerji tüketimi sonuçları Çizelge 7’de verilmiştir.

Çizelge 7. Enerji Tüketimi Sonuçları (Energy Consumption Results)

Deney No	SEC (J/mm ³)	P (kW)	MRR (mm ³)
1	184,03	7,56	41,08
2	183,06	7,52	41,08
3	196,45	8,07	41,08
4	136,65	7,8	57,08
5	134,55	7,68	57,08
6	144,18	8,23	57,08
7	97,37	7,99	82,06
8	95,54	7,84	82,06
9	102,24	8,39	82,06
10	366,83	3,78	10,31
11	363,41	3,75	10,31
12	364,86	3,76	10,31
13	267	3,82	14,31
14	264,52	3,79	14,31
15	265,57	3,8	14,31
16	187,08	3,86	20,61
17	185,35	3,82	20,61
18	186,09	3,84	20,61

Verilerin Anova Varyans analizi yapılarak, sonuçlar Şekil 9’da S/N grafiği olarak verilmiştir. Bu grafik yardımı ile belirlenen kriterlere göre tasarım parametrelerinin optimum seviyeleri seçilecektir.



Şekil 9. Taguchi Analizi S/N Grafikleri (Taguchi Analysis S/N Graphics)

Şekil 9’da SEC için S/N değerleri dikkate alındığında, sırası ile A1,B3,C2 seviyelerinin optimum sonuçları sağladığı gözlemlenmiştir. Buna göre CNC Freze tezgahında dış açma işlemi, 180 RPM’de pirinç talaşı katkılı alaşıma uygulanması ile optimum değer elde edilebileceği anlamına gelmektedir. Alaşım tipi değişimleri tüm sonuçları diğer parametrelere göre çok fazla oranda etkilememektedir. Anlık güç tüketiminde en önemli parametre tezgah türüdür. CNC freze tezgâhı daha fazla anlık enerji sarfiyatı yapmaktadır. Devir sayısı artırılarak ve CNC freze tezgâhı kullanılarak MRR sonuçları için en iyi değerler elde edilebilmektedir. Anova Varyans analizi kullanılarak her bir tasarım parametresinin sonuçları etki şiddetleri hesaplanmaktadır. Minitap Programında Varyans Analizi deney tasarımına ve sonuçlarına uygulandığında Çizelge 8’deki sonuçlar elde edilmiştir. SEC sonuçları incelendiğinde malzeme tipi çok düşük etki şiddetinde sonuçlara etki etmektedir. Anlık güç tüketimi sonuçlarına ise en fazla tezgah tipi etki ederken malzeme türü devir sayısından daha fazla etkili olmuştur.

Çizelge 8 Anova Analizi Sonuçları (Anova Analysis Results)

	Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	% Etki
SEC (J/mm ³)	A	1	76916	76916	76916	150,66	73,91
	B	2	54210	54210	27105	53,09	26,05
	C	2	92	92	46	0,09	0,040
	Error	12	6126	6126	511		
	Total	17	137344				
P (kWh)	A	1	75,481	75,481	75,481	2843,47	99,74
	B	2	0,141	0,141	0,070	2,65	0,093
	C	2	0,259	0,259	0,130	4,88	0,167
	Error	12	0,319	0,319	0,027		
	Total	17	76,200				

5. TARTIŞMA (CONCLUSION)

Enerji üretim maliyetlerinin gün geçtikçe artması ve enerji kaynaklarının yetersiz kalması nedeniyle son yıllarda talaş kaldırma işlemleri enerji sarfiyatı üzerine yapılan araştırmaların sayısı artmıştır. Farklı alüminyum alaşımlı redüksiyon fittings ürünlerinin seri üretim koşulları dikkate alınarak iç diş açma işlemi iki farklı yöntem için bu makalede incelenmiştir. Metal kesme işlemlerinde enerji tüketimi araştırmaları ve farklı tip alüminyum alaşımlarının işlenebilirliği için bu makale ile referans bir kaynak oluşturulmuştur. Farklı tip alüminyum alaşımlar prınç ve bakır talaşı ilavesi ile elde edilerek üretim maliyetleri azaltılmak istenmiştir. Sertlik değeri 27 HB'den 76 ve 97 HB çıkartılmıştır. Bu sertlik artışı tane sınırlarının küçülmesi ile elde edilmiştir. Östenitleme ısıl işlemi ile 90-100 HB sertlik değerleri ortaya çıkan dökme demir fittings ürünler yerine bu çalışmada aynı sertlik değerlerine sahip alüminyum boru bağlantı elemanları üretilmiştir [16,17,26].

Nas ve Öztürk, küresel sfero malzemenin frezelemesi sırasında 3.2 kW enerji tüketimi ölçtüler [13]. Negrete 6061 alüminyum malzemesinin tornalanmasında maksimum 5,8 kW enerji tüketimi ortaya çıkmıştır [10]. Dökme demir fittings malzemelerin diş açma işlemi için 16,5 kWh toplam güç tüketimine ihtiyaç olduğu gözlemlenmiştir [17]. Bu çalışmada ise CNC freze tezgâhı için diş açma işlemi 7,52–8,39 kWh güç ile gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte diğer bir tezgah türü olan universal torna tezgâhında ise, 3,75–3,86 kWh güç ile kademeli diş açma işlemi gerçekleştirilmiştir. CNC freze tezgâhında 25,02 Wh ürün başına tüketim ile üretim yapılırken bu değerler torna tezgâhında 30,9 Wh'dir. Dökme demir malzemelere göre alüminyum alaşımların diş açma işleminde güç ihtiyacı daha azdır. Bu sonuçlar incelendiğinde özel enerji tüketimi (SEC) üzerinde tezgah türünün %73,91, devir sayısının %26,05 olduğu görülmektedir. Anlık güç (P) miktarı değişimi üzerinde ise %99,74 tezgah türü etkindir. CNC freze tezgâhında anlık tüketim çok daha fazla olmasına rağmen

tek operasyonda diş açma işleminde MRR daha yüksek olduğundan dolayı ürün başına maliyet daha azdır.

6. TEŞEKKÜRLER (ACKNOWLEDGE)

Katkılarından dolayı Konak Fittings Döküm Sanayi (Konak Rakor) çalışanlarına minnettarız. 2018-02.BŞEÜ.03-07 numaralı projeye vermiş oldukları destekten dolayı Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür ederiz.

7. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Weinert K., Inasaki I., Sutherland J.W., "Wakabayashi T., Dry Machining and Minimum Quantity Lubrication", *CIRP Annals*, 53 (2): 511–537, (2004).
- Düzdar I., Kantoğlu B., Öztürk B., "A New Product Design After Benchmarking Analysis Of Helix Gear Pumps and Optimization in Energy Consumption", *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6: 610-617, (2017).
- Ingarao G., Lorenzo D.R., Micari F., "Sustainability issues in sheet metal forming processes. an overview", *J. Clean. Prod.*, 19 (4): 337-347, (2011).
- Bhushan R.K., "Optimization of cutting parameters for minimizing power consumption and maximizing tool life during machining of Al alloy SiC particle composites", *J. Clean. Prod.*, 39: 242-254, (2013).
- Balogun V.A., Mativenga P.T., "Modelling of direct energy requirements in mechanical machining processes", *J. Clean. Prod.*, 41: 179-186, (2013).
- Dufloy J.R., Kellens K., Dewulf W., "Unit process impact assessment for discrete part manufacturing: a state of the art", *CIRP J. Manuf. Sci. Technol.*, 4: 129-135, (2011).
- Hanafi I., Khamlichi A., Cabrera F.M., Almansa E., Jabbouri A., "Optimization of cutting conditions for sustainable machining of PEEK-CF30 using TiN tools", *J. Clean. Prod.*, 33: 1-9. (2012).
- Mori M., Fujishima M., Inamasu Y., Oda Y., "A study on energy efficiency improvement for machine tools" *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 60: 145–148, (2011).
- Liu N., Zhang Y.F., Lu W.F., "A hybrid approach to energy consumption modelling based on cutting power: a milling case", *Journal of Cleaner Production*, 104: 264-272, (2015).
- Negrete C.C., "Optimization of cutting parameters for minimizing energy consumption in turning of AISI 6061 T6 using Taguchi methodology and ANOVA", *Journal of Cleaner Production*, 53: 195-203, (2013).
- Oda, Y. , Mori, M., Ogawa, K., Nishida, S., Fujishima, M., Kawamura T., "A study of optimal cutting condition for energy efficiency improvement in ball end milling with tool-workpiece inclination", *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 61: 119–122, (2012).
- Shokoohi Y., Khosrojerdi E., Shiadhi R., "Machining and ecological effects of a new developed cutting fluid in combination with different cooling techniques on turning operation", *Journal of Cleaner Production*, 94: 330-339, (2015).

- [13] Nas E., Öztürk B., "Optimization of surface roughness via the Taguchi method and investigation of energy consumption when milling spheroidal graphite cast iron materials", *Materials Testing For Production Technologies*, 60 (5): 519-524, (2018).
- [14] Liu N., Wang S.B., Zhang Y.F., Lu W.F., "A novel approach to predicting surface roughness based on specific cutting energy consumption when slot milling Al-7075", *International Journal of Mechanical Sciences*, 118: 13–20, (2016).
- [15] Öztürk B., Küçük Ö., Düzdar İ., Altınbilek Y.S., "Exploring the economical reasons of the usage of unhealthy & low resisting far-east products in the water pipe systems", *The Turkish Journal Of Occupational / Environmental Medicine and Safety*, 2 (3): 60-72, (2017).
- [16] Öztürk B., Öktem H., Said G., Çetindağ H. A., Erzincanlı, F., "Investigation of Cooling Rate on Hardness and Microstructure in Casting Fittings Materials", *Published in 4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science*, 1278-1285, (2016).
- [17] Öktem H., Öztürk B., Akıncioğlu S., "Investigation of energy consumption on thread machining of austempered ductile cast iron materials", *5th International Conference and Exhibition on Mechanical & Aerospace Engineering*, 75, (2017).
- [18] Weng Y., Jia Z., Ding L., Pan Y., Liu Y., Liu Q., "Effect of Ag and Cu additions on natural aging and precipitation hardening behavior in Al-Mg-Si alloys", *Journal of Alloys and Compounds*, 695: 2444-2452, (2017).
- [19] Li J.F., Liu P.L., Chen Y.L., Zhang H., Zheng Z.Q., "Microstructure and mechanical properties of Mg, Ag and Zn multi-microalloyed Al-(3.2-3.8) Cu-(1.0-1.4)Li alloys", *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, 25: 2103-2112, (2015)
- [20] Choia S.W., Chob H.S., Kumaic S., "Titanium as an intermetallic phase stabilizer and its effect on the mechanical and thermal properties of Al-Si-Mg-Cu-Ti alloy", *Materials Science & Engineering A*, 678: 267–272, (2016).
- [21] Shabestari S.G., Moemeni H., "Effect of copper and solidification conditions on the microstructure and mechanical properties of Al–Si–Mg alloys", *Journal of Materials Processing Technology*, 193–199, (2004).
- [22] Kiliçaslan M.F., Yılmaz F., Ergen S., Hong S. J., "Uzun, O., Microstructure and microhardness of melt-spun Al–25Si–5Fe–XCo (X = 0, 1, 3, 5) alloys", *Materials Characterization*, 77: 15-22, (2013).
- [23] Özkan M.T., "Experimental and artificial neural network study of heat formation values of drilling&boring operations on Al 7075 T6 workpiece". *Indian Journal of Engineering & Materials Science*, 20: 259-268, (2013).
- [24] Akyürek F., Yaman K., Tekiner Z., "An Experimental Work on Tool Wear Affected by Die Clearance and Punch Hardness". *Arabian Journal for Science and Engineering*, (2017).
- [25] Chifor V., Tekiner Z., Türker M., Orban R., "An Experimental Investigation of Properties of polyethylene Reinforced with Al Powders". *Journal of Zhejiang University-SCIENCE A (Applied Physics Engineering)*, 1-5, (2010).
- [26] Özkan K., Burak Ö., İrem D., Samed V., Hüseyin Alp Ç., "Seri Üretim Boru Bağlantı Elemanlarının Döküm İşleminde Optimizasyon", *Politeknik Dergisi*, 20(3): 537-542, (2017).