



**Burak Öztürk**

Bilecik Şeyh Edebali University, burak.ozturk@bilecik.edu.tr,  
Bilecik-Turkey

DOI	http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2019.14.3.2A0170
ORCID ID	0000-0002-1018-6545
CORRESPONDING AUTHOR	Burak Öztürk

## PRİNÇ BORU BAĞLANTI ELEMANININ SERİ ÜRETİM ENERJİ TÜKETİMİNDE OPTİMİZASYON

### ÖZ

Son yıllarda ülkemizde boru bağlantı elemanları üretimi yapan üreticiler ithal ürünlerle rekabet edememektedir ve kuruluşlar üretim durdurmaktadır. Prinç fittings malzemelerinin Avrupa'da sıhhi tesisat hatlarında kullanımı yaygınken ülkemizde sadece makine ekipmanlarında uygulamaları mevcuttur. Bu makalede ülkemizde TSE ve ISO standartlarında fittings üretimi yapan bir kuruluşta güvenilir sıhhi tesisat sistemleri için prinç redüksiyona ½ inc boru iç dış açma işlemi araştırılmıştır. CNC Freze ve tornada uygulanan iki farklı tip üretim incelenmiştir. Prinç fittings redüksiyon ürünün optimum işleme koşulları belirlenerek minimum enerji sarfiyatı ve maksimum sayıda ürün imalatı gerçekleştirilmiştir. Universal torna tezgahında iç dış açmak için 31-56Wh enerji gerekiyken, Freze tezgahında 27-36Wh enerji sarfiyatı ortaya çıkmıştır. Üretim enerjisi giderlerine en çok etkili olan parametre %66 oranda tezgâh tipidir. Minimum enerji maliyeti ve maksimum sayıda seri üretim yapabilmek için CNC Freze tezgâhı kullanılması gereklidir. 180 RPM devir sayısında dış açarak her iki tezgâhta bu enerji maliyetleri azaltılabilecektir. Böylelikle enerji tasarrufu ve üretim sayısında optimizasyon ile prinç fittings malzemeleri güvenilir sıhhi tesisat ve doğalgaz hatları için kullanımı yaygınlaşabilecektir.

**Anahtar Kelimeler:** Boru Dış, Enerji Tüketimi, Prinç Fittings, Anova Varyans Analizi, CNC Freze

## OPTIMIZATION IN ENERGY CONSUMPTION OF SERIAL PRODUCTION OF BRASS FITTINGS

### ABSTRACT

In recent years, manufacturers of pipe fittings in our country cannot compete with imported products and organizations stop production. While the use of brass fittings in plumbing lines in Europe is widespread, it has only applications in machinery equipment in our country. In this article, the internal threading process of brass reduction ½ inc for reliable plumbing systems has been investigated in an organization which produces fittings in accordance with TSE and ISO standards in our country. Two different types of production have been examined. The optimum processing conditions of the brass fittings reduction product were determined and minimum energy consumption and maximum number of products were produced. While 31-56Wh energy is required for internal threading on the universal lathe, 27-36Wh energy consumption has occurred in the milling machine. The most effective parameter for production energy costs is the type of looms 66%. In order to be able to produce minimum energy costs and maximum number of mass production, it is necessary to use CNC Milling machine. By turning the teeth at a speed of 180 RPM, these energy costs can be reduced in both looms. In this way, energy saving and optimization of the number of production and brass fittings can be used for reliable plumbing and natural gas lines.

**Keywords:** Pipe Threading, Energy Consumption, Brass Fittings, Anova Variance Analysis, CNC Milling

### How to Cite:

Öztürk, B., (2019). Prinç Boru Bağlantı Elemanının Seri Üretim Enerji Tüketiminde Optimizasyon, *Technological Applied Sciences (NWSATAS)*, 14(3):68-79, DOI:10.12739/NWSA.2019.14.3.2A0170.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Enerji tasarrufu konusu, tüketici ürünleri ve endüstriyel ekipmanların en önemli özelliklerinden biri olarak giderek daha fazla yaygınlaşmaktadır. Aynı eğilim, üretim sektörü için de geçerli olup bu hedefe yönelik birçok araştırma yer almaktadır [1 ve 4]. Üretim sonucunda yarı mamul ve tam mamul üretimi yapılırken bu işlem için enerji sarfiyatı gerekir. Dünyadaki enerji tüketiminin sürekli artması ve yeni enerji kaynaklarının yeterli düzeyde sağlanamaması son yıllarda enerji maliyetlerinde önemli bir artışa neden olmuştur. Dahası, artan üretim ve enerji tüketimi, çevre kirliliğini arttırmış ve iklim değişikliklerine sebep olmuştur [5]. Bu nedenle enerji tasarrufu, dünya ekonomisi için kalıcı bir konu haline gelmiştir. Sanayide enerjinin en fazla tüketildiği alanlardan biri üretim sektörüdür. Sürdürülebilir üretim: özellikle işleme süreçleri için birçok mühendislik alanına ve uygulamasına ait önemli unsurları kapsamaktadır [6 ve 7]. Sürdürülebilir üretim uygulamalarının benimsenmesi, firmaların ekonomik ve çevresel performanslarını arttırmalarına olanak tanımaktadır. Makine aletlerinin enerji tüketimini azaltmak ve temiz üretimi gerçekleştirmek için alınacak önlemlerin araştırılması, büyük miktarda enerjinin tüketildiği üretim süreçleri alanında büyük önem taşımaktadır. Bunu başarmak için bilgisayarlı sayısal kontrollü (CNC) makine merkezinde enerji tüketiminin hesaplanması gerekmektedir [8 ve 9]. Üretim süreciyle ilişkili daha iyi bir enerji verimliliği elde etmek için takım tezgâhı ve kesme işlemi arasındaki elektrik tüketimi ilişkisi incelenmelidir. Seri üretim hattında enerji tüketimi ülke ekonomileri için önemli bir parametre olarak yer almaktadır. Bu alanlardan bir tanesi olarak biz bu çalışmada fittings malzemesinin seri üretimi için enerji tüketim modeli incelenmiştir. CNC ile talaş kaldırma talaşlı imalat sektöründe yaygın olarak kullanılan bir işlemdir. Bu işleme prosesine istinaden, kesme parametrelerinin optimizasyonu ile ilgili çeşitli çalışmalar yayınlanmıştır; Bunların birçoğu yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvveti, kesme gücü, takım ömrü ve malzeme kaldırma oranını optimizasyon kriterleri olarak kullanmıştır.

Mori, vd. (2011)'de S45C karbon çeliğine freze tezgâhında delik delme ve frezeleme işlemi uygulamışlardır. Kesme koşullarının güç tüketimi üzerindeki etkisi, dikey işleme merkezinin toplam makine güç tüketimi ve mil güç tüketimi giriş güç kaynağı kablosuna bir kelepçe tipi ampermetre bağlanarak ölçülmüştür [10]. Liu, vd. (2015), tarafından ASSAB 760 çeliğine kanal frezeleme işlemi CNC Freze tezgâhında gerçekleştirilmiştir. Kuvvetler dinamometre ile güç tüketimi ise Power Meter ile ölçülmüştür. Yeni bir talaşlı imalat enerji tüketimi modeli bu çalışma ile ortaya konmuştur [11]. Negrete (2013), araştırmalarında AISI 6061 T6 alüminyum malzemede tornalama işlemi gerçekleştirilmiştir. Talaş kaldırma gücünü en aza indirip en iyi yüzey kalitesini elde etmek için optimum kesme parametresi değerleri araştırılmıştır [12]. Oda, vd. (2012), tarafından yapılan çalışmalarda 5 eksen CNC Freze tezgahında optimum eğim açısı belirlenmiştir ve bunun sonucunda enerji tüketimi azaltmıştır [13]. Shokoohi, vd. (2015), universal torna tezgahı kullanarak AISI1045 çeliği üzerinde tornalama testleri yapmışlar. Tornalama sırasında kesme bölgelerinde üretilen ısının, iş parçasının son kalitesinde ve güç tüketiminde önemli bir rol oynadığını gözlemlemişlerdir [14]. Yurdakul (2015), dairesel testere bıçakları kullanılarak granit kesimi sırasında kesme derinliği ve ilerleme hızının tüketilen güç seviyesine etkisini araştırmıştır [15]. Neugebauer, vd. (2011), tarafından EN-GJL-250 gri dökme demir üzerinde delik delme işlemi enerji tüketimi değişimlerini incelemişlerdir [16]. Escalona, vd. (2015), yaptığı çalışmalarda 303 paslanmaz dikdörtgen malzemelerden parmak freze ile



talaş kaldırarak enerji tüketimlerini araştırmıştırlar [17]. Nas ve Öztürk (2018), küresel grafitli dökme demir malzeme olan iş parçası üzerinde yüzey frezeleme ile talaş kaldırma işlemi sırasında tüketilen güç endeksindeki (PI) artışları ampermetre düzeneği ile ölçmüşlerdir [18]. İki farklı kesici takım ile talaşlı imalat işleminde optimizasyon sağlamışlardır. Yüzey pürüzlülüğünün, Al 7075 frezeleme işlemi sırasında tahmin edilmesi için yeni bir model sunulmuştur. Model, spesifik kesme enerji tüketiminin (SCEC) analitik hesaplanmasını ve yüzey pürüzlülüğü ile SCEC arasındaki korelasyonun deneysel karakterizasyonunu birleştiren hibrit bir yaklaşım kullanılarak geliştirilmiştir (Liu, vd. 2016) [19]. Boru bağlantı elemanları: Plastik boru bağlantı elemanları; içme ve sulama tesisat sistemlerinde üretim kolaylığı, düşük maliyet ve hafifliği sebepleriyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu ürünler hurda malzeme eklentisinin üretimi sırasında çoğunlukla tercih edilmesi ve dökme demir boru bağlantı ürünlerine göre düşük emniyet katsayısına sahip olması (Plastik Fittings Safety Factor: 5.3-8.1, Döküm Fittings Safety Factor: 20-200) sebebiyle su sağlığı ve güvenliği için tehdit oluşturmaktadır [20]. Dökme demir malzemelerde ise su tesisatlarında kullanımı için ısıl işlem ve galvaniz kaplama gibi ikincil işlemler gerekmektedir. Bir dökme demir boru bağlantı elemanın üretim planı 6 ana ve 27 alt başlıkta incelenmiştir. Bu sektörde son 20 yılda 18 adet TSE, ISO ve Yerli Malı belgeli üretim yapan sanayi kuruluşunun Çin ve Tayvan gibi uzak doğu ülkelerinde üretilen ürünler ile pazar rekabet gücünü kaybederek üretim durdurmasının nedeni olarak küçük malzemelerde %25 zarar olduğu ortaya konmuştur [2 ve 3].

Özellikle Orta Asya ve Balkan ülkelerinde kullanılan dökme demir fittings malzemeler TS 11 EN 10242 standartlarına göre ince cidarlı (2-5mm), mukavemetsiz, kırılğan ve korozyon direnci son derece düşüktür. Yerli üretim boru bağlantı elemanlarındaki en büyük problem ise TS 11 standardında yer alan duvar et kalınlıklarının ince cidarlı olmasından dolayı (5, 10, 15 ve 20mm) döküm soğuma hızları çok yüksek olmamasıdır (1.66-2.85°C/sn). Bu soğuma hızı neticesinde izotermal dönüşüm ile %100 sementit (320 HB), %70 Perlit/%30 Ferrit (280 HB), %30 perlit-%70 ferrit (230 HB) ve %100 ferrit (160 HB) mikroyapılar oluşmaktadır [21]. Bu mikroyapılar nedeniyle işlenebilirlik azalmaktadır. Kırılğan malzemeler kış şartları dikkate alındığında kırılma mekaniği devreye girerek gaz kaçaqları ve su basması gibi doğal afetler oluşmaktadır. Yapılan östemperleme ısıl işlemi ile kırılğanlık azalırken sertlik artmaktadır. Östemperleme ısıl işlemi ile işlenebilirlik olumsuz yönde etkilendiğinden endüstride sadece östenitleme yapılarak malzemeler yumuşatılır ve sertlik 100 HB'ye kadar düşürülür. Bu işlem ise malzemenin akma dayanımını azaltmaktadır Bunun sonucunda işlenebilirlik artarken emniyet katsayısı azalmaktadır [22]. Avrupa'da prinç ve Amerika'da bakır fittings malzemesi olarak kullanılmaktadır. Ayrıca yüksek korozyon direnci nedeniyle çoğu makine ekipmanında Prinç fittings malzemesi uygulaması tercih edilmektedir. Ülkemizde ise yüksek üretim maliyeti nedeniyle prinç boru bağlantı elemanları makine ekipmanları dışında kalan uygulamalarda tercih edilmemektedir. Prinç fittings malzemelerinin üretim maliyetlerinin azaltılması ile kullanım isteği ortaya çıkartılabilecektir. Bunun sonucunda daha güvenilir sıhhi tesisat ve doğalgaz sistemleri elde edilebilir. Seri üretimde boru dış açma işlemi torna tezgâhlarında kademeli dış açma işlemi ile yapılırken freze tezgâhlarında bu işlem tek operasyonda kılavuz ile yapılmaktadır. Bu tip talaşlı imalat işlemleri içinse literatürde örnek bir çalışma yer almamaktadır.

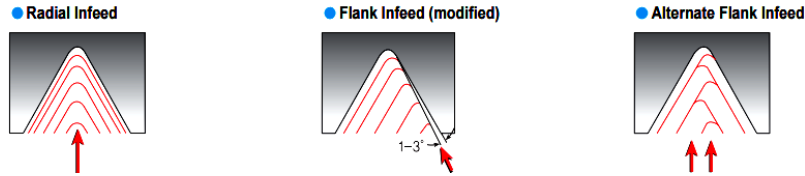
## 2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Bu çalışmada özellikle doğal gaz, otomotiv ve sıhhi tesisat sistemlerinde yüksek oranda kullanılan pirinç fittings malzemelerin seri üretimi dış açma işlemi incelenmiştir. Bu ürünlerin yüksek maliyetinin en büyük kalemlerinden biride döküm işleminden sonra yapılan dış açma işlemidir. Bu çalışmada araştırmacılar prinç redüksiyon ürününe dış açma işleminin gerçekleştirildiği iki farklı tezgahta optimum enerji tüketimi için gerekli dış açma parametrelerini ele almıştır. Literatür için referans bir kaynak oluşturularak ilk defa prinç fittings malzemelerin dış açma performansı özel enerji tüketim değeri (SEC) dikkate alınarak araştırılmıştır.

## 3. MATERYAL VE METOT (MATERIALS AND METHODS)

### 3.1. Deney Tasarımı (Experimental Design)

Prinç fittings ürünleri endüstride iki farklı tip işleme ile imalatı gerçekleştirilmektedir. Bunlardan bir tanesi torna ile kademeli dış açma ve diğeri ise CNC dik işleme merkezinde tek operasyonda kılavuz yardımıyla dış açma işlemidir. Dış açma işlemi endüstriyel seri üretim hatlarında devir sayısı değişimleri ile hızlandırılır ve bu birim talaş kaldırma işleminde kullanılmaktadır. Torna tezgâhında dış açma işlemi ilk olarak dış dibi tornalama işlemi birinci kademede yapılmaktadır. Sonrasında ise sırası ile 0.65, 0.35 ve 0.15mm paso derinlikte dış açma işlemi uygulanmaktadır. Şekil 1'de yer aldığı üzere radial, yanıl, diğer alternatif yanıl gibi farklı tip kesici takım talaş giriş şekilleri kademeli dış açma işleminde uygulanmaktadır [23].



Şekil 1. Kademeli dış açma işlemi şekilleri  
(Figure 1. Gradual threading process figures)

Bu çalışmada radial tip uygulanarak dış açma işlemi prinç malzemeye toplam dört operasyon için uygulanmıştır. Ayrıca seri üretim dik işlem tezgahında dökümden çıkıp taşlanan ürün kılavuz yardımı ile tek seferde dış açma işlemi düşük devir ve yüksek tork miktarı ile uygulanmıştır. Her iki farklı tezgâh için 90, 125 ve 180 RPM (Rotate Per Minute) hızda dış açma işlemi seçilmiştir. İlerleme ise ½ inc boru dış açma adımı olan 1.814mm'dir.

Tablo 1. Prinç malzemelere boru dış açma işleminin deney tasarımı  
(Table 1. Design of experiment on pipe threading of brass material)

Deney No	Kullanılan Tezgah	Finish Tornalama Devir Sayısı (RPM)	Dış Açma Devir Sayısı (RPM)	Toplam Operasyon Sayısı
1	Torna	500	90	Dört Operasyon (Tornalama-0.65, 0.35, 0.15 Dış Açma)
2	Torna	710	125	Dört Operasyon (Tornalama-0.65, 0.35, 0.15 Dış Açma)
3	Torna	1000	180	Dört Operasyon (Tornalama-0.65, 0.35, 0.15 Dış Açma)
4	CNC Freze	-	90	Tek Operasyon
5	CNC Freze	-	125	Tek Operasyon
6	CNC Freze	-	180	Tek Operasyon

Tornalama işlemi ise sırası ile 500, 710 ve 1000 RPM hızında torna tezgâhı ilk operasyonu için yapılmıştır. Bu deney tasarımı tablo 1'de özetlenmiştir. Tüm operasyonlarda kuru kesme ortamında uygulanmıştır. Her bir numune için beş kez deney tekrarı yapılarak ortalama akım indeksleri (PI (A)) hesaplanmıştır.

### 3.2. Deney Numuneleri Döküm Yöntemi ile Üretimi (Production of Experiment Samples by Casting Method)

Bu çalışmada TS 11 EN 10242 standartlarında tasarımı yapılan  $\frac{3}{4}$ - $\frac{1}{2}$  inc redüksiyon seçilmiştir. Tablo 2'de Redüksiyon fittings malzemesinin tasarım özellikleri yer almaktadır. Ayrıca Tablo 3'de deneysel çalışmada iş parçası olarak kullanılmak üzere Ankara Bronz Kuruluşundan temin edilmiş prinç alaşımının döküm sonrası Oxford Faundry Master Pro spektrometre ölçüm cihazı ile kimyasal analizleri yer almaktadır.

Tablo 2. Tasarım özellikleri  
(Table 2. Design features)

Model Adı	Tasarım Hacmi (mL)	İç Diş Talaş Hacmi (mL)	İç Diş Talaş Oranı (%)	Adım (mm)	Diş Boyu (mm)	Diş Ölçüsü
$\frac{3}{4}$ - $\frac{1}{2}$ inc Redüksiyon	10.097	0.302	3	1.814	20	1/2 '' BSP

Tablo 3. Prinç malzemenin kimyasal analizi  
(Table 3. Chemical analysis of brass material)

Element Adı	Cu	Zn	Pb	Sn	Fe	Ni	Sb
% Ağırlık Oranı	59.6	37.1	2.12	0.415	0.275	0.205	0.051

Temiz grafit pota kullanılarak 880°C sıcaklıkta deney numuneleri eritilmiştir. Eritme işlemi sonrası döküm yapılmış sonrasında yolluk ayırma ve taşlama işlemi numunelere uygulanmıştır.

### 3.3. Deney Numunelerinin İşlenmesi ve Güç İndekslerinin (A) Ölçümü (Processing of Test Samples and Measurement of Power Indexes (A))

Dökümü yapılan malzemeler üçer defa deney tekrarı yapılacak şekilde gruplandırılarak numaralandırılmıştır. Dik işleme tezgahında  $\frac{1}{2}$  inc diş çekmek için Well Cut marka hava çeliği kılavuz kullanılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Welcut 1/2" BSP kılavuz resmi  
(Figure 2. Welcut 1/2" BSP tap tool)

Kılavuz 17.5mm çapındaki pense 40mm boyunda bağlanmıştır (L/D<3). Redüksiyon malzeme tezgah tablasına 4 ayaklı aynaya bağlanan iş kalıbı yardımı ile diş açma işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.). Tablo 4'de deneysel çalışmada kullanılan Microcut 1000 CNC dik işleme tezgahının teknik özellikleri yer almaktadır [24].



Şekil 3. Microcut 1000 CNC dik işleme (solda), iş parçası ve kesici takım bağlantı şekli (sağda)  
(Figure 3. Microcut 1000 CNC vertical machining (left), workpiece and cutting tool connection shape (right))

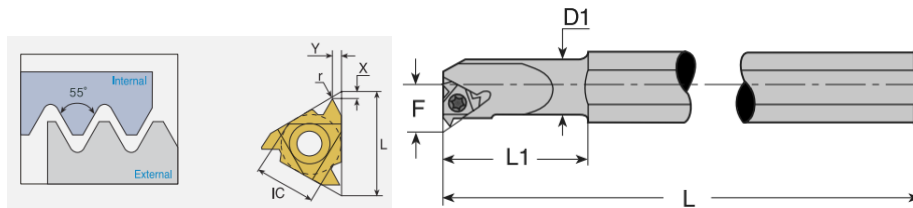
Tablo 4. CNC Freze tezgahı özellikleri  
(Table 4. CNC Milling machine features)

Tezgah Adı	Motor Gücü	Mak. Spindle Rotation (RPM)	Tezgah Tutucu Tipi	Spindle Cos $\alpha$	Spindle Voltajı (V)	Maksimum Tork (Nm)
Micrucut 1000	15kW	10.000	Bt-40	0.6	380	103

Torna tezgahında diş açma işlemi iki farklı kalem ve toplam dört operasyonda kuru kesme koşullarında uygulanmıştır. Şekil 4'de diş dibi tornalama işleminde kullanılan Korloy DCMT-HMP NC 5330 tipi baklava dilimi torna insörtü ve kateri yer almaktadır. Şekil 5'de ise Korloy 14W IR 14 diş boru diş açma inset'ü ve katerinin resmi verilmiştir.



Şekil 4. Korloy DCMT-HMP, NC 5330 iç delik tornalama sert metal kesici uç(solda) ve bağlama kateri (sağda)  
(Figure 4. Korloy DCMT-HMP, NC 5330 hard metal insert for internal hole turning (left) and fastening tool (right))



Şekil 5. Korloy 14W IR 55° iç diş açma sert metal uç (solda) ve tutucusu (sağda)  
(Figure 5. Korloy 14W IR 55° internal threading insert (left) and holder (right))

Kademeli diş açma işlemi Toss SN 50 üniversal torna tezgâhında gerçekleştirilmiştir. Torna tezgâhında akım değişimleri asenkron motordan ve CNC frezede ise motor sürücüsünün üç fazlı girişinden +/-1 A hassasiyetle güç indeksi ölçümü yapılmıştır [25].

### 3.4. Talaşlı İmalat İşlemi Enerji Tüketimi (Energy Consumption of Machining Process)

Denklem 1' de normal çalışma sırasında bir takım tezgâhının güç tüketiminin P (Wh) modelini göstermektedir [10]. Bu formül milin konumlandırılması ve hızlandırılması, işlenmesi, iş milinin işlenmeden sonra aletin döndürülmesi ve iş milinin durdurulması gibi çeşitli süreçleri içerir:

$$P = P1 \times (T1 + T2) + P2 \times T2 + P3 \times T3 \quad (1)$$

Burada, P1(W), çalışma durumu ne olursa olsun makine çalışması sırasında sabit güç tüketimidir, T1 (h) kesme işlemi sırasındaki geçen süredir. T2(h) kesme durumundaki süredir. P2(W) kesme koşullarında mil ve servo motor tarafından güç tüketimidir. P3(W), işi konumlandırmak ve iş milini belirtilen hıza kadar hızlandırmak/yavaşlatmak için güç tüketimidir ve T3(h), gereken zamandır. Talaş kaldırma sırasında gerekli enerji gücünü bulmak için (P<sub>kesme</sub> (Denklem 2)) toplam harcanan güçten tezgâhın talaş kaldırmadığı boş çalışmada harcadığı güç çıkartılmaktadır. P<sub>boş</sub> yataklardaki güç kayıplarıyla birlikte spindle motorunun istenilen devir değerimde çalışması için güç harcamalarını içermektedir [18].

$$P_{kesme} = P_{toplam} - P_{boş} \quad (2)$$

Talaş kaldırma işleminde ampermetre ile spindle servo motor sürücüsünün çektiği güç indeksi (A) ölçümü 2 numaralı 3 fazlı motor enerji güç dönüşüm denklemleri (Denklem 3) ile kW türünden güç tüketimine dönüştürülmektedir [14]. Güç faktörü değeri Microcut CNC dik işleme merkezi teknik özellikler kitabı değeridir. Bu denklemde V=Spindle Motoru Voltaj Değeri (V) (0.38), I=Ampermetre ile ölçülen enerji yükü (A), Cos σ=Güç Faktörüdür (Servo; 0.60, Asenkron Motor; 0.85), [24].

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

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<sup>3</sup> cinsinden talaş miktarıdır. MRR aşağıda verilen denklem 4 ile hesaplanmaktadır. SCEC bir malzemeden 1mm<sup>3</sup> talaş kaldırmak için harcanan kesme enerjidir (Denklem 5), [16]. SEC ise denklem 6'da yer alan formülle hesaplanan 1mm<sup>3</sup> talaş kaldırmak için toplam enerji tüketimi miktarıdır.

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

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

$$SEC \left( \frac{J}{mm^3} \right) = \frac{P_{total} (W)}{MRR \left( \frac{mm^3}{s} \right)} \quad (6)$$

### 4. BULGULAR (RESULTS)

Tornada toplam dört operasyon için akım indeksleri farklı diş açma devir sayıları için ölçülmüştür (Tablo 5). Enerji güç dönüşüm denklemleri yardımı ile bu akım indeksleri kWh olarak güç hesaplaması yapılmıştır. En yüksek güç tüketimi 180 RPM devir sayısı için frezeleme işleminde gözlemlenmiştir. En az güç gereksinimi ise 90 RPM devir sayısında 0.15mm diş derinliğinde diş açma işlemimde ortaya çıkmıştır.



Tablo 5. Torna tezgâhında kademeli diş açma işlemi gücü (kWh)  
(Table 5. Power of stepped threading process on the lathe machine  
(kWh))

Devir Sayısı	1. Op. Tormalama	2. Op. 0.15 Diş Derinliği	3. Op. 0.35 Diş Derinliği	4. Op. 0.65 Diş Derinliği
90	3.90	3.85	3.86	3.87
125	4.01	3.86	3.87	3.90
180	4.15	3.87	3.87	3.90

Her iki tezgâh için toplam enerji tüketimleri ve SEC değerleri üretim verileri ile birlikte karşılaştırmalı olarak Tablo 6' da yer almaktadır. Günlük üretim miktarı hesaplaması yapılırken; malzeme işleme ve uzaklaşma süreleri aynı süre olarak alınmıştır. Ürün söküp takma süresi 7 saniye olarak kabul edilmiştir. Her bir ürünün işlenmesi için gerekli enerji miktarı Wh olarak hesaplanmıştır. En küçük değer ve en az değer arasında %100'den fazla fark olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 6. Her iki takım tezgâhı için enerji tüketim ve imalat miktarı sonuçları  
(Table 6. Energy consumption and manufacturing quantity results for both machine tools)

Torna						
Devir Sayısı	$P_{\text{toplam}}$ (kWh)	İmalat Süresi	MRR	SEC	Üretim Miktarı	Üretim Gideri (Wh)
90	3.85	29.4	10.30	373.72	547	56
125	3.87	21.1	14.30	270.45	732	42
180	3.89	14.7	20.60	188.69	989	31
CNC Freze						
Devir Sayısı	$P_{\text{toplam}}$ (kWh)	İmalat Süresi	MRR	SEC	Üretim Miktarı	Üretim Gideri (Wh)
90	7.50	7.3	41.09	182.56	1659	36
125	8.45	5.2	57.09	147.99	2048	33
180	8.57	3.6	82.07	104.39	2507	27

CNC tezgâhlarda talaş kaldırma işlemlerinde SCEC ve  $P_{\text{kesme}}$  değerleri, malzemelerin işlenebilirliği hakkında bilgiler verdiği için önemli parametrelerdir. Prinç malzemelere diş açma işlemi bu çalışmada literatürde ilk defa hesaplanmıştır (Tablo 8).

Tablo 8. CNC Freze tezgâhı için SCEC sonuçları  
(Table 8. SCEC results for CNC milling machine)

Devir Sayısı	90	125	180
P kesme	3.51	4.22	4.18
SCEC	85.52	74	50.99
Kesme Torku (Nm)	22.12	26.56	26.31

Anova Varyans analizi kullanılarak farklı tezgâh tipi ve devir sayılarında diş açma işleminin üretim miktarı, SEC, Üretim gideri ve  $P_{\text{toplam}}$  değerlerine etki şiddetleri Minitap 16 Programı yardımıyla hesaplanmıştır (Şekil 6). Hesaplamalar düşük hata oranlarında yapılmış ve tüm bu sonuçlara göre en yüksek oranda tezgâh tipinin üretim ve enerji sonuçlarını etkilediği belirlenmiştir. Matrix Plot özelliği ile devir sayısı ve tezgâh tipinin, üretim verimliliği, SEC, üretim gideri ve  $P_{\text{toplam}}$  (kWh) değerlerine etkileri grafik haline getirilmiştir. Matrix plot regression özelliği ile lineer grafikler oluşturmuştur (Şekil 7). Devir sayısı arttıkça aynı oranda üretim miktarı artış gösterirken  $P_{\text{toplam}}$  değeri düşük oranda artış sergilemektedir. Devir



sayısı artışı ile SEC ve üretim giderleri benzer oranlarda azalmaktadır. Tezgah tipi üretim miktarının belirlenmesini yüksek oranda etkilerken devir sayısından farklı olarak  $P_{\text{toplam}}$  değeri de yüksek oranda bu değişimden etkilenmektedir.

```

General Linear Model:
Factor.....Type.....Levels.....Values
Tezgah Tipi.....Fixed.....2.....1; 2
Devir Sayısı.....Fixed.....4.....90; 125; 180; 182

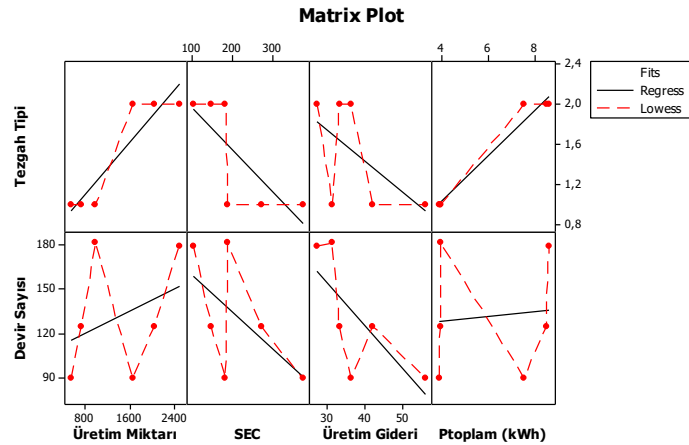
Analysis of Variance for Üretim Miktarı, using Adjusted SS for Tests
Source.....Df.....Seq SS.....Adj SS.....Adj MS.....F.....P
Tezgah Tipi.....1.....2595153.....1473796.....1473796.....141,66.....0,0534
Devir Sayısı.....3.....448511.....448511.....149504.....14,37.....0,191
Error.....1.....10404.....10404.....10404
Total.....3.....3054067
S = 102,.....R-Sq = 99,66%.....R-Sq(Adj) = 98,30%

Analysis of Variance for SEC, using Adjusted SS for Tests
Source.....Df.....Seq SS.....Adj SS.....Adj MS.....F.....P
Tezgah Tipi.....1.....26390.....24589.....24589.....20,84.....0,137
Devir Sayısı.....3.....19084.....15064.....5021.....5,39.....0,304
Error.....1.....1180.....1180.....1180
Total.....3.....46654
S = 34,33.....R-Sq = 97,47%.....R-Sq(Adj) = 87,35%

Analysis of Variance for Üretim Gideri, using Adjusted SS for Tests
Source.....Df.....Seq SS.....Adj SS.....Adj MS.....F.....P
Tezgah Tipi.....1.....181,50.....210,25.....210,25.....6,95.....0,231
Devir Sayısı.....3.....325,75.....365,75.....108,58.....3,59.....0,366
Error.....1.....30,25.....30,25.....30,25
Total.....3.....537,50
S = 5,3.....R-Sq = 94,37%.....R-Sq(Adj) = 71,86%

Analysis of Variance for Ptoplam (kWh), using Adjusted SS for Tests
Source.....Df.....Seq SS.....Adj SS.....Adj MS.....F.....P
Tezgah Tipi.....1.....27,7780.....16,9332.....16,9332.....78,31.....0,072
Devir Sayısı.....3.....0,4718.....0,4718.....0,1573.....0,73.....0,674
Error.....1.....0,2162.....0,2162.....0,2162
Total.....3.....28,4661
S = 0,465.....R-Sq = 99,24%.....R-Sq(Adj) = 96,20%
    
```

Şekil 6. Varyans analizi sonuçları  
(Figure 6. Variance analysis results)



Şekil 7. Enerji tüketimi ve üretim değerleri için Matrix Plot grafiği  
(Figure 7. Matrix Plot for energy consumption and production values)

## 5. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Günümüzde enerji maliyetlerinin yükselmesi ve enerji kaynaklarının azalması nedeniyle son yıllarda talaşlı imalat işlemlinde enerji tüketimleri ile ilgili yapılan araştırmalarının sayısı artmıştır [9, 11 ve 17]. Prinç redüksiyon boru bağlantı elemanlarının seri üretim ortamları dikkate alınarak iç dış açma işlemi iki farklı yöntem için bu makalede incelenmiştir. Endüstride

boru hatları ve ekipmanları için birçok alanda dış açma işlemi uygulanmaktadır [2 ve 7]. Bu çalışmalar sürdürülebilirlik ve enerji tasarrufu için güncel konuları oluşturmaktadır. Talaşlı imalat işlemlerinde enerji tüketimi araştırmaları için bu makale ile referans bir kaynak oluşturulmuştur.

Escalona, vd. (2015), 303 kalite paslanmaz malzeme işlerken maksimum 1.8 kWh enerji sarfiyatı gözlemlenmiştir [17]. Neugebauer, vd. (2011), tarafından yapılan çalışmalarda EN-GJL-250 gri dökme demir malzemeye delik delme işleminde ise 6kWh güç harcaması ölçmüştür [16]. Negrete (2013), 6061 alüminyum malzemeyi tornalarken maksimum 5.8kWh enerji sarfiyatı yapılmıştır [12]. Bu üç farklı tip ileme yöntemi incelendiğinde en çok delik delme işleminde enerji harcaması oluşmuştur. Prinç redüksiyon ürününe dış açma işlemi diğer bu talaşlı imalat işlemlerinden daha yüksek miktarda enerji tüketimine ihtiyaç duymaktadır. Ayrıca Öktem, vd. (2017), tarafından dökülmüş ve östemperlenmiş fittings malzemelerin dış açma işlemlerini araştırmışlardır. Dökme demir fittings malzemelerin dış açma işlemi için 16.5kWh toplam güç tüketimine ihtiyaç olduğu gözlemlenmiştir. Bu işlem 170 RPM ile aynı CNC freze tezgahında ½ inc kılavuz ile gerçekleştirilmiştir. Prinç redüksiyon malzemeleri 180 RPM hızda dış açma işlemi maksimum 8.57kWh enerji harcaması ile bu çalışmada uygulanmıştır. Bu sonuçlara göre neredeyse yarı yarıya enerji tüketimleri arasında her iki malzemenin fark bulunmaktadır. Seri üretim boru bağlantı elemanları genelde düşük mil devri ve yüksek tork miktarı ile üretimi yapılmaktaydı [22]. Bu çalışmada bu sonuçlara paralel olarak CNC freze tezgahı için dış açma işlemi 21 ile 26 Nm tork miktarı ile uygulanmıştır. Bu değer talaş kaldırmak için gerekli olan tork miktarı olup milin yataklarda ve güç aktarımlarında kaybettiği tork değerini içermez.

Anova Varyans analizleri F etki sonuçları incelendiğinde üretim enerjisi giderlerine en çok etki %66 oranda tezgâh tipi bağılıken %34 oranda devir sayısı etki etmektedir. Seri üretimde minimum enerji maliyeti ile üretim yapmak için CNC Freze tezgâhı kullanılması gerekirken 180 RPM devir sayısında dış açmak bu enerji maliyetlerini azaltacaktır. SEC değeri ise %79 oranda tezgâh tipine ve %21 oranda dış açma devir sayısına bağlıdır. Prinç malzemelerin talaşlı imalat enerji tüketimi maliyetleri bu makale ile araştırılmıştır. Torna tezgahında bir adet prinç redüksiyon iç dişi açmak için 31-56Wh enerji gereklilikten, freze tezgahında 27-36Wh enerji gereksinimi bulunmaktadır. Her iki tezgah için optimum değerler hesaplanacak olursa aylık ortalama 10.000 adet ürün satışı için tornada 310kWh ve CNC frezede 270kWh enerji tüketimi gerçekleştirilmektedir. Araştırmaların yapıldığı endüstriyel kuruluş bundan farklı olarak 120 çeşit ürüne sahiptir. Her bir ürünün optimum işleme koşulları belirlenerek endüstride %100'ü bulan enerji tasarrufu sağlanabileceği bu makale sonucunda gözlemlenmiştir.

#### **TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)**

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.

#### **KAYNAKLAR (REFERENCES)**

- [1] Weinert, K., Inasaki, I., Sutherland J.W., and Wakabayashi, T., (2004). Dry Machining and Minimum Quantity Lubrication. CIRP Annals, 53(2):511-537.
- [2] Öztürk, B., Küçük, Ö., Düzdar, İ., and Altınbilek, Y.S., (2017). 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.
- [3] Ingarao, G., Lorenzo D.R., and Micari, F., (2011). Sustainability Issues in Sheet Metal Forming Processes. An Overview. *J. Clean. Prod.* 19(4):337-347.
- [4] Düzdar, I., Kantoğlu, B., and Öztürk, B., (2017). 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.
- [5] Balogun, V.A. and Mativenga, P.T., (2013). Modelling of Direct Energy Requirements in Mechanical Machining Processes. *J. Clean. Prod.*, 41:179-186.
- [6] Bhushan, R.K., (2013). 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.
- [7] Öztürk, B. ve Küçük, Ö., (2019). Bakır ve Pirinç Talaşı ile Takviye Edilmiş Boru Bağlantı Elemanlarının İki Farklı Üretim Türü İçin (SEC) Özel Enerji Tüketim Modeli. *Politeknik Dergisi*, DOI: 10.2339/politeknik.473105.
- [8] Hanafi, I., Khamlichi, A., Cabrera, F.M., Almansa, E., and Jabbouri, A., (2012). Optimization of Cutting Conditions for Sustainable Machining of PEEK-CF30 Using TiN Tools. *J. Clean. Prod.*, 33:1-9.
- [9] Öztürk, B., Uğur, L., and Yildiz, A., (2019). Investigation of Effect on Energy Consumption of Surface Roughness in X-axis and Spindle Servo Motors in Slot Milling Operation, Measurement, 139:92-102, <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.02.009>.
- [10] Mori, M., Fujishima, M., Inamasu, Y., and Oda, Y., (2011). A Study on Energy Efficiency Improvement for Machine Tools. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 60:145-148.
- [11] Liu, N., Zhang, Y.F., and Lu, W.F., (2015). A Hybrid Approach to Energy Consumption Modelling Based on Cutting Power: A Milling Case. *J. Clean. Prod.*, 104:264-272.
- [12] Negrete, C.C., (2013). Optimization of Cutting Parameters for Minimizing Energy Consumption in Turning of AISI 6061 T6 Using Taguchi Methodology and ANOVA. *J. Clean. Prod.*, 53:195-203.
- [13] Oda, Y., Mori, M., Ogawa, K., Nishida, S., Fujishima, M., and Kawamura T., (2012). Study of Optimal Cutting Condition for Energy Efficiency Improvement in Ball end Milling with Tool-Workpiece Inclination *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 61:119-122.
- [14] Shokoohi, Y., Khosrojerdi, E., Shiadhi, R., (2015). 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.
- [15] Yurdakul, M., (2015). Effect of Cutting Parameters on Consumed Power in Industrial Granite Cutting Processes Performed with The Multi-Disc Block Cutter. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 76:104-111.
- [16] Neugebauer, R., Schubert, A., Reichmann, B., and Dix, M., (2011). Influence Exerted by Tool Properties on the Energy Efficiency During Drilling and Turning Operations. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 4:161-169.
- [17] Escalona, P.M., Shokrani, A., Newman, S.T., (2015). Influence of Cutting Environments on Surface Integrity and Power Consumption of Austenitic Stainless Steel. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 36:60-69.



- 
- [18] Nas, E. And Öztürk, B., (2018). 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.
- [19] Liu, N., Wang, S.B., Zhang, Y.F., and Lu, W.F., (2016). 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.
- [20] Küçük, Ö., Öztürk, B., Altınbilek, Y.S. ve Elfarah, T.T.K., 2017. Şehir Su Şebekesi Tesisat Boru Bağlantı Elemanlarının Akışkan Analizine Bağlı Basınç Dayanım Analizinin Yapılması. *Kastamonu University Journal of Engineering and Sciences* 3(1):32-43.
- [21] Öztürk, B., Öktem, H., Said, G., Çetindağ, H.A., and Erzincanlı, F., (2016). Investigation of Cooling Rate on Hardness and Microstructure in Casting Fittings Materials. Published in 4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science 3-5, November 2016 (ISITES2016 Alanya/Antalya-Turkey), 1279-128.
- [22] Öktem, H., Öztürk, B., and Akincioğlu, S., (2017). Investigation of Energy Consumption on Thread Machining of Austempered Ductile Cast Iron Materials. 5th International Conference and Exhibition on Mechanical & Aerospace Engineering, DOI: 10.4172/2168-9792-C1-01, October 02-04, Las Vegas, USA.
- [23] Korloy, (2018). Korloy Kesici Takım Teknik Özellikler Katoloğu.
- [24] Fanuc, (2012). Fanuc 1000 CNC Kullanıcı Rehberi.
- [25] Entes, (2018). Entes Akım Trafosu Ve Ampermetreler Teknik Özellikler Katoloğu.