

## **Muhtelif Altyapı Ürünleri Üreten Bir Döküm Fabrikasının Enerji Etüdü**

Fatih AKKURT<sup>1\*</sup>, Bahtiyar TAŞDEMİR<sup>2</sup>

**ÖZET:** Bu çalışmada, muhtelif altyapı ürünleri üreten bir döküm işletmesi için 01.01.2018–28.02.2018 tarihleri arasında detaylı enerji etüt çalışması yapılmıştır. İşletmede yapılan incelemelerde enerjinin israf edildiği kaynaklar, verimli çalışmayan ekipmanlar ve kaçak olan enerji noktaları tespit edilmiştir. Mevcut aylık enerji tüketim değerleri kullanılarak işletme için standart denklem ve hedef denklemler oluşturulmuştur. Bu denklemlerden faydalanılarak işletmenin yıllık tasarruf potansiyeli 36,6 TEP/yıl ve bunun karşılığı olarak 2007 yılı 2733 TL/TEP enerji maliyet değerine göre 100.140 TL/yıl olarak hesaplanmıştır. İşletme için gerekli tasarruf projeleri geliştirilmiştir. Geliştirilen projeler neticesinde yıllık tasarruf miktarı 23,64 TEP/yıl ve parasal karşılığı olarak 64.608 TL/yıl bulunmuştur. Belirlenen aylık enerji tüketim değerleri kullanılarak proje sonu denklemi oluşturulmuştur. Uygulanacak projelerin geri ödeme süreleri belirlenmiştir. Grafik eğrisi standart denklem ve hedef denklemi arasında oluşan bu denkleme göre uygulanan projeler ile hedef tasarruf değerlerine henüz ulaşamadığı ve aynı zamanda ürün miktarının artışıyla tasarruf hedefine yaklaşılabileceği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Enerji Etüdü, Enerji Tasarruf Potansiyeli, Enerji Tasarruf Projeleri.

### **Energy Audit of a Casting Factory Producing Various Infrastructure Products**

**ABSTRACT:** In this study, a detailed energy audit was carried out for a factory producing various infrastructure products between 01.01.2018 and 28.02.2018. The sources of energy losses and the equipment that do not operate efficiently were identified. Equations for standard and target values have been created for the factory by using the current monthly energy consumption. By using these equations, the annual saving potential of the company is calculated as 36.6 TEP/year and correspondingly, according to the 2007 2733 TL/TEP energy cost value energy cost value, it is calculated as 100.140 TL / year. After standard and target equations were graphed, improvement projects for the factory have been developed, which resulted in that annual savings from these implemented projects was determined as 23.64 TEP / year and 64.608 TL/ year in monetary terms. The repayment periods of the projects are determined. Having applied these projects, a new equation line was created. This new equation line was placed between the standard and target equation lines that means the target saving values could not be reached completely with the projects that were proposed. It was also understood from equation lines that the amount of savings were increasing with the increase of the product amount.

**Keywords:** Energy Audit, Energy Saving Potential, Energy Saving Projects.

<sup>1</sup> Fatih AKKURT (Orcid ID: 0000-0001-8727-8854), Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği, Konya, Türkiye

<sup>2</sup> Bahtiyar TAŞDEMİR (Orcid ID: 0000-0001-7335-5185), Çankırı Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, Çankırı, Türkiye

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Fatih AKKURT, e-mail: fakkurt@erbakan.edu.tr

Bu çalışma Bahtiyar TAŞDEMİR'in yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

## GİRİŞ

Enerjinin üretimi, çevrimi ve tüketimi çevreyi olumsuz etkileyen sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. Özellikle atmosfer, enerji kullanımını sonucu kirlenmektedir. Fosil yakıtların yakılması sonucu ortaya çıkan karbon emisyonlarını minimize ederek bu emisyonların neden olduğu küresel ısınma ve buna bağlı olarak ortaya çıkan iklim değişikliklerini önlemenin iki temel yolu vardır. Birincisi fosil yakıtlar yerine çevre dostu yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmak, ikincisi enerjiyi daha verimli kullanmak ve enerji tasarrufu yapmaktır.

Enerji tasarrufu kavramı, enerji atıklarının değerlendirilmesi, enerji verimliliğinin artırılması ve mevcut enerji kayıplarının önlenmesi yoluyla tüketilen enerji miktarının ekonomik kalkınmayı ve sosyal refahı engellemeden, en aza indirilmesi olarak tanımlanabilir. Enerji tasarrufu, kısa ve orta dönemde ülkelerin enerji teminiyle ilgili sorunlarının çözümüne küçümsenemeyecek katkılar sağlar. Enerji tasarrufu, enerjinin gereksiz kullanım sahalarını belirlemek ve israfı asgari düzeye indirmek veya tamamen ortadan kaldırmak için alınan önlemleri içerir (Anonim, 2008).

Enerjiyi verimli kullanmak ve enerji tüketen sistemlerde enerji tasarrufu sağlayabilmek için enerji yönetiminin en iyi şekilde yapılması gerekmektedir. İyi bir enerji yönetimi, iyi bir enerji denetimi ile başlar. Enerji denetimi, mevcut bir tesiste, binada veya yapıda nerede ve ne kadar enerji tüketildiğini tanımlar. Endüstriyel bir enerji denetimi, işletme içinde kapsamlı bir enerji yönetimi programının tanımlanması ve izlenmesinde etkili bir araçtır. Enerji yönetimi kapsamında enerji yoğun olarak kullanıldığı sektörlerde, enerjinin nerede ve nasıl tüketildiğini ve sisteminin ne kadar verimli olduğunu belirlemek için enerji muhasebesi yapılır. Ayrıca bu kapsamda yüksek enerji kullanım alanları tanımlanır, enerji israf edildiği bölümlere dikkat çekilir ve enerji tasarrufunun yapılabileceği alanlar işaret edilir (Anonim, 2003).

Metal döküm endüstrisi enerjinin yoğun olarak kullanıldığı sektörlerden birisidir. Metal döküm endüstrisinde dünyada 48.300'den fazla kayıtlı kuruluşun olduğu tahmin edilmektedir (Goel ve Gulati, 2008). Metal döküm endüstrisinde, enerji tüketiminin yarısından fazlasını eritme işlemi oluşturmaktadır. Dolayısıyla bu durum sektörde çok fazla enerji kullanılmasına neden olmaktadır (Anonim, 2005). Döküm endüstrisinde enerjinin büyük bölümünü metal eritmesinde kullanılmaktadır. (Futas ve ark., 2020) yapmış oldukları çalışmada metal eritmede enerji tüketimini azalmanın önemini vurgulamışlar ve kupol ve elektrikli indüksiyon fırınlarındaki ekonomik açıdan önemli göstergeleri azaltmak için özel prosedürler sunmuşlardır. Enerji verimliliğinin artırılması, işletmelerde enerji tasarrufunun sağlanması ve iyi bir enerji yönetiminin yapılması giderek daha önemli bir hale gelmektedir. Döküm sektöründe enerji verimliliğini arttırmak için yapılacak olan çalışmalar işletmelerin rekabet güçlerini arttıracak ve ekonomik olarak da pek çok fayda sağlayacaktır (Worrel ve ark., 2003).

Küçük ölçekli dökümhanede gerçekleştirilebilecek bazı basit girişimler ile önemli miktarda enerji tasarrufu sağlanacağı öngörülmüştür. (Prashanth ve ark., 2014). Küçük ve orta ölçekli endüstrilerde enerji yönetimi üzerine Hindistan'da yer alan 100 adet dökümhanede yapılan araştırma sonuçlarına göre işletmelerde enerji tasarrufu sonuçları belirlenmiştir. Bunlar; işletmelerde 40 W'lık T5 lambaların kullanılması, baca gazı incelemesi sonucunda hava akışını kontrol etmek için amortisör kullanılması, motorların yeniden sarılması yerine enerji verimli motorların tercih edilmesi ve kompresörlerde VFD (değişken frekanslı sürücü) monte edilmesi gerektiği sonuçlarına varmışlardır. (Patange ve ark., 2015). Bir başka çalışmada indüksiyon ocaklarında iyi yalıtılmış bir kapağın kullanılmasının ısı kaybını azaltacağı ve kupollerde verimliliği arttırmak için hem sıcaklığa hem de korozyona dayanıklı uygun ısı eşanjörleri kullanılması ve yanma havasında ön ısıtma yapılması gerekliliği belirtilmiştir (Renato ve ark., 2015). Türkiye ve ABD'nin Arizona ve Nevada eyaletlerinde endüstriyel işletmelerde

gerçekleştirilmiş olan enerji tasarrufu çalışmalarının neticesinde bazı tasarruf başlıkları tespit edilmiştir. Bu tasarruf başlıkları yüksek verimli motorların kullanılması, kompresör emiş havasının dış ortamdan alınması, basınçlı hava sistemlerinde düşük basınçlı hava kullanılması ve kaçakların önlenmesi, sıcak ve soğuk yüzeylerin yalıtılması, boşta çalışma süresinin azaltılması, standart V-kayışları yerine yüksek verimli olanların kullanılması olarak belirlenmiştir (Kaya ve Güngör, 2002).

İşletmenin yıllık üretim ve enerji tüketim verilerine bağlı olarak enerji tasarruf potansiyeli hesaplanabilir. (Söğüt ve ark., 2011) yapmış oldukları çalışmada bir salça fabrikasının 2005 yılı üretim ve enerji tüketim verilerine bağlı olarak enerji taraması gerçekleştirmişlerdir. Fabrikanın enerji kaynakları, üretim verileri ve enerji tüketim değerleri ile birim enerji maliyetleri verilerine bağlı olarak enerji tüketim bağıntılarını geliştirilmişler, daha sonra hedef enerji tüketimlerini hesaplanmışlar ve işletmenin enerji tasarruf potansiyelini ortaya çıkarmışlardır.

Bu çalışmada, muhtelif altyapı ürünleri üreten bir döküm firmasında 01 Ocak - 28 Şubat 2018 tarihleri arasında gerçekleştirilen detaylı enerji etüdü kapsamında mevcut işletme koşullarına bağlı olarak enerji tüketimi incelenmesi yapılmıştır. İşletmenin üretim ve enerji tüketim verilerine bağlı olarak enerji tasarruf potansiyeli tespit edilmiş ve tasarruf projeleri geliştirilmiştir. Her bir tasarruf projesi için enerji tasarruf miktarı, bu tasarrufun mali karşılığı ve uygulanacak projelerin geri ödeme süreleri belirlenmiştir.

## MATERYAL VE YÖNTEM

### İşletme proses ve ön etüt bilgileri

İşletmede ağırlıklı olarak telekom mendhol kapağı, kanalizasyon rögar kapağı, yağmur suyu ızgarası ve otomotiv parçaları dökümü yapılmaktadır. İşletmenin üretim akış şeması Şekil 1.'de görülmektedir. Üretim sürecinde birinci hatta sfero ve pik döküm hammaddeleri araçlarla fabrikaya getirilerek hammadde havuzlarına dökülmektedir. Döküm veya külçeler istenen bileşimi elde etmek için mıknaatlı vinç ile indüksiyon ocaklarına belirli oranlarda karıştırılarak yüklenmektedir ve hammadde ergitme işlemi yapılmaktadır. Bu aşamada, cüruf taşıma çentiği yardımıyla cüruf sıcak metalden uzaklaştırılmakta ve eritilen hammaddeler manuel ve otomatik şekilde potalara aktarılmaktadır. İkinci hatta kum hazırlama sisteminde kum belirli bir tavda hazırlanarak kalıplama işlemi yapılmaktadır. Ergitme işlemi yapılan hammadde hazırlanan kalıplara dökülmektedir. Dökümlerin soğutma aşamasından sonra, sallama ve çıkarma aşaması, dökümün kalıp kutusu ve kumla ayrılmasını sağlamaktadır. Bu aşamada, dolaşımdaki hurda ve kum üretim sürecinde tekrar kullanılmak üzere geri kazanılmaktadır. Bitirme aşamasında kalan kumu gidermek için otomatik kumlama makineleriyle kumlama yapılmaktadır. Son olarak, çapak alma işlemi otomatik veya manuel olarak yapılmaktadır. Kalıplama hattından belli bir süre bekleyen kalıplardan çıkarılan ürünler tornalama bölümüne aktarılarak kalıpta oluşan çapakları temizlenmesine ve şekil verilmesi sağlanmaktadır. Tornalama bölümünden çıkan ürünler boyama işleminden sonra paketleme-sevkiyat ünitesine gönderilmektedir.

İşletmede detaylı enerji etüdü gerçekleştirilmiş ve çalışmalara ait bilgiler ve etüt sonuçları ele alınmıştır. Etüt kapsamında indüksiyon ocaklarının, aydınlatma sisteminin, soğutma suyu tesisatının, hidrofor tesisatının, soğutma kulelerinin, soğutma fanlarının, elektrik motorlarının inceleme ve ölçümleri yapılmıştır. Basınçlı hava kompresörleri ve tesisatı incelenmiş, basınçlı hava kompresörleri çalışır durumda iken enerji tüketimleri 24 saat enerji analizörü ile kayda alınmıştır. Kurutucunun çalışma performansı ölçümlerle tespit edilmiştir. Basınçlı hava tüketim noktaları incelenerek kullanımdaki verimsizlikler, basınçlı hava tesisatında kaçak noktaları ve kaçak miktarları belirlenmiştir. Orta gerilim ve alçak gerilim güç dağıtım sistemleri incelenmiş, trafolar, ana baralar ve büyük güçlü motorlar bazında güç değerleri ve harmonikler ölçülmüş, güç dağıtım sistemi incelenerek, güç dağılımı tespit edilmiştir.

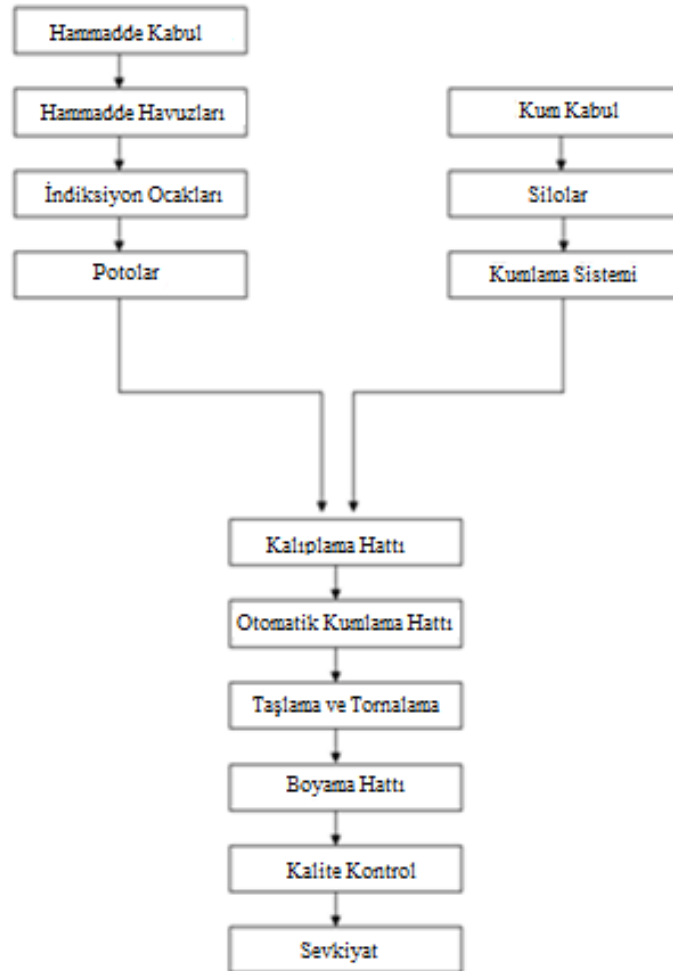
Tüm bu incelemeler neticesinde sistemde en fazla enerji tasarrufu yapılabilecek öncelikli alanlar belirlenmiş ve proje önerileri sunulmuştur.

İşletmede üretim, cihazların tamamında elektrik enerjisi kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Elektrik enerjisi dışında herhangi farklı bir enerji kaynağı kullanılmamaktadır. Dolayısıyla enerji etüdü sadece elektrik enerjisi kullanımı esas alınarak yapılmıştır. Fabrikada son üç yıla ait enerji tüketim ve maliyet değerleri Çizelge 1’de verilmiştir.

**Çizelge 1.** Son üç yıla ait enerji tüketim ve maliyet değerleri

Yıl	kWh	TEP	Maliyet (TL)	TL/ TEP
2015	11.177.745	961	2.532.971	2.635
2016	14.608.695	1.256	3.389.217	2.698
2017	18.285.68	1.570	4.290.780	2.733

İşletmede 2015-2017 yılları arasında enerji tüketim değerleri yalnızca bir çeşit enerji türü olmasına rağmen ton eşdeğer petrol (TEP) değerine dönüştürülmüştür. Yıllara göre tüketim değerleri sırasıyla 961, 1256 ve 1570 TEP olarak artış göstermiştir. Bu durum işletmenin üretiminin ilerleyen yıllar boyunca artışının bir neticesidir. Bir TEP enerjinin maliyeti de 2015 için 2.635 TL, 2016 için 2.698 TL, 2017 yılı için 2.733 TL olarak belirlenmiştir. Elektrik enerjisi birim fiyatı ilerleyen yıllara göre artış göstermiştir.



**Şekil 1.** Üretim akış şeması.

## BULGULAR VE TARTIŞMA

### Üretim- enerji tüketim analizleri

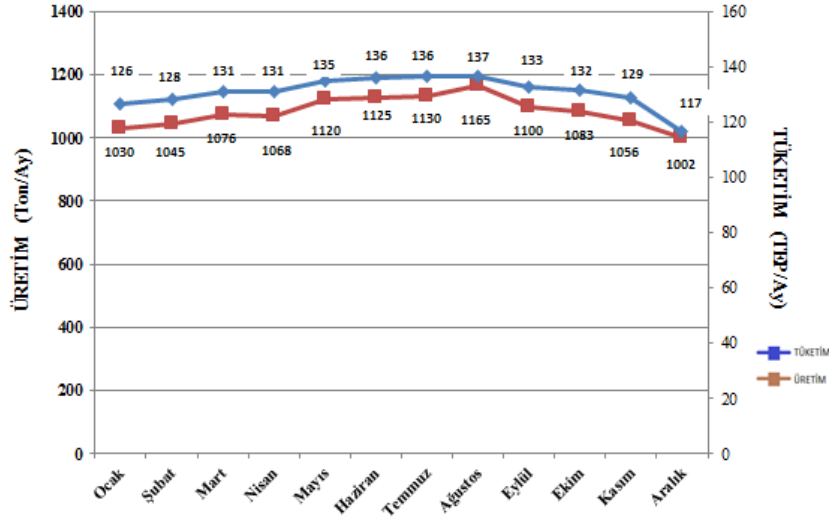
İşletmenin 2017 yılı elektrik faturaları esas alınarak aylık üretim ve elektrik tüketimi incelenmiştir. Aylara göre üretim ve enerji tüketim değerleri Şekil 2’de sunulmuştur. 2017 yılı için işletmede yıl içinde aylık minimum 1.002 ton, maksimum 1.165 ton aralığında üretim gerçekleştirilmiştir. Üretim miktarının seyri Ocak ayında 1.030 tondan başlayarak Ağustos ayına kadar artış şeklinde devam etmiştir. Ağustos ayında maksimum 1.165 ton üretim yapılmıştır. Ağustos ayından sonra üretim seyri Aralık ayına kadar azalış şeklindedir. Aralık ayda 1.002 ton ile yıl içinde en az üretim miktarı görülmüştür. 2017 yılı için elektrik tüketimi değerleri de üretime benzer bir seyirde değişmiştir. Bu doğal bir sonuçtur çünkü üretim ne kadar artarsa elektrik tüketimi de buna bağlı olarak artacaktır. Enerji tüketim miktarları aylara göre 117 TEP ile 137 TEP arasında değişmiştir. Elektrik tüketim miktarı Ağustos ayı için maksimum 137 TEP, Aralık ayı için minimum 117 TEP olarak belirlenmiştir.

SET (Spesifik Enerji Tüketimi ) değeri birim ürün miktarı (bir ton) başına kullanılan enerjidir. SET değerinin büyük çıkması birim üretim için kullanılan enerjinin arttığını gösterir. İşletmenin 2017 yılı için aylara göre SET grafiği Şekil 3’de görülmektedir. En düşük SET değerleri 0,117 TEP/ton değeri ile Ağustos ve Aralık ayları için belirlenmiştir. Bu durum birim üretim için enerji tüketim performansının en iyi olduğu anlamına gelmektedir. Enerji tüketim performansı en kötü olan aylar 0,123 TEP/ton değeri ile Ocak ve Şubat ayları için belirlenmiştir.

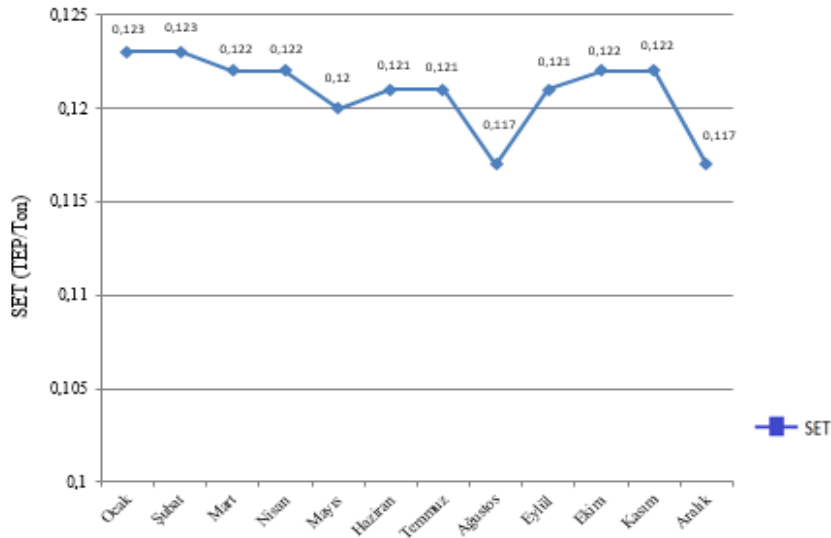
İşletmelerde enerji tasarruf potansiyelini belirlenmesi yöntemi olarak üretim verileri ve enerji tüketim değerleri ile standart doğru oluşturulur. Doğrunun altında kalan veriler işletmenin üretim bazında en düşük enerji tüketim değerlerini ifade eder. Bu değerler işletmenin mevcut koşullarında enerji tüketimi açısından sağladığı en iyi değerlerdir. İşletmenin tasarruf hedefini belirlemek amacıyla standart doğru altında kalan veriler kullanılarak hedef doğrusu oluşturulur. İki doğru arasında kalan bölge işletmenin tasarruf potansiyelini gösterir. Bu yöntem literatürde en iyi geçmiş performansa dayalı hedef doğrusu yöntemi olarak tanımlanmaktadır (Söğüt ve ark., 2011).

İşletmenin 2017 yılı aylık üretim ve enerji kullanım verileri kullanılarak standart denklem  $y=0,1101x +11,59$  olarak bulunmuştur. Standart denklemde y enerji tüketimine x ürün miktarını ifade etmektedir. Denklem regresyon uyumluluk katsayısı  $R^2=0,866$ ’dır. Oluşturulan doğru grafiğinin altında kalan veriler işletmenin daha verimli çalıştığı aylara karşılık gelmektedir ve spesifik enerji tüketim değerinin en düşük olduğu verilerdir. Standart denklem doğru grafiğinin altında kalan veriler kullanılarak işletme için hedef denklemi ve  $y=0,1283x -11,192$  ve regresyon uyumluluk katsayısı  $R^2=0,970$  olarak bulunmuştur. Standart denklem grafiği ve hedef denklem grafiği Şekil 4’de görülmektedir.

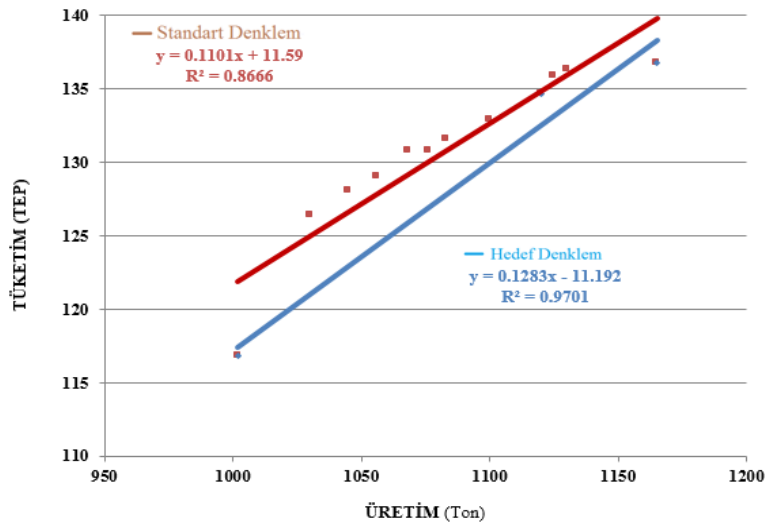
Hedef denkleminden faydalanarak işletmenin aylık üretim değerlerine göre hedef enerji tüketim miktarları TEP olarak tespit edilmiştir. Mevcut aylık TEP değerleri ile hedef TEP değerleri arasındaki fark, işletmenin aylık tasarruf potansiyelini oluşturmaktadır. Aylık tasarruf potansiyel değerleri toplanarak işletmenin yıllık tasarruf potansiyeli 36,6 TEP olarak hesaplanmıştır. 2017 yılı için birim TEP maliyeti 2.733 TL’ dir. Yıllık tasarruf potansiyeli ile birim TEP maliyetinin çarpımı ile işletmenin 2007 yılı değerine göre 100.140 TL/Yıl tasarruf potansiyeline sahip olduğu görülmüştür. İşletmenin yıllık tasarruf potansiyeli %2,3 olarak belirlenmiştir. Aylara göre hedef iyileştirme potansiyeli değerleri Çizelge 2.’ de ayrıntılı olarak sunulmuştur.



Şekil 2. Aylara göre üretim ve enerji tüketim değerleri



Şekil 3. Aylara göre SET değerleri



Şekil 4. Standart ve Hedef denklemleri grafikleri

**Çizelge 2.** Aylara göre hedef iyileştirme potansiyeli değerleri

Ay	Üretim (Ton)	Mevcut (TEP)	Hedef (TEP)	Aylık İyileştirme (TEP)	Aylık İyileştirme (TL)
Ocak	1030	126,4	121,0	5,5	14.988
Şubat	1045	128,1	122,9	5,2	14.293
Mart	1076	130,8	126,9	4,0	10.805
Nisan	1068	130,8	125,8	4,9	13.488
Mayıs	1120	134,7	132,5	2,2	5.906
Haziran	1125	135,9	133,1	2,8	7.625
Temmuz	1130	136,4	133,8	2,6	7.022
Ağustos	1165	136,8	138,3	-1,5	-4.068
Eylül	1100	132,9	129,9	3,0	8.168
Ekim	1083	131,6	127,8	3,8	10.482
Kasım	1056	129,0	124,3	4,7	12.925
Aralık	1002	116,8	117,4	-0,5	-1.494
<b>Toplam</b>	<b>13000</b>	<b>1570,2</b>	<b>1533,6</b>	<b>36,6</b>	<b>100.140</b>

### Proje önerileri ve analizleri

İşletmede yapılan enerji etüdü sonucunda işletme enerji yönetimi açısından değerlendirilmiştir. Yapılan incelemeler, literatür araştırmaları, ölçüm ve hesaplamalar sonucunda işletmede kullanılan cihazlarda yapılabilecek değişikliklerin ve önlemlerin enerji tasarrufu sağlayabileceği öngörülerek işletmede uygulanması faydalı olabilecek öncelikli tasarruf projeleri sunulmuştur. Bu projeler indüksiyon ocağının kapağının kapalı tutulma süresinin uzatılması, kompresörlerde sürücü kullanılması, basınçlı hava sistemindeki kaçakların önlenmesi, fan motorlarında V kayış kullanılması, yüksek verimli motor kullanılması ve aydınlatma armatürlerinin değiştirilmesi olarak belirlenmiştir.

Döküm işletmesinde 6 tonluk 2 adet ve 1 tonluk 2 adet indüksiyon ocağı bulunmaktadır. Sıvı metal potaya transfer edilirken kapak hep kapalı tutulmalıdır. Kapakların fazladan açık kalması enerji kayıplarına neden olmaktadır. Ocak kapasitesine göre kapakların açık veya kapalı olması durumundaki enerji kayıp değerleri Şekil 5'deki grafik kullanılarak belirlenmiştir. S. Prabhu, 2008 tarafından sunulan bu grafik farklı kapasitelerdeki indüksiyon ocaklarında ocak kapağının tam kapalı ve tam açık olması durumunda meydana gelen termal kayıpları göstermektedir. İşletmede bulunan bir ve altı ton kapasitede indüksiyon ocaklarının açık ve kapalı kapak durumlarında ocakta meydana gelen termal kayıplar grafikten okunmuştur. Aradaki termal kayıp farkı yapılabilecek tasarruf potansiyelini göstermektedir. Belirlenen termal kayıp fark değeri potanın doluluk değerinin bir ölçüsü olarak 0,5 kapasite faktörüyle ve aylık çalışma süreleriyle çarpılarak işletmede ocaklarda sağlanabilecek enerji tasarrufu değeri hesaplanmıştır. İşletme elemanlarına verilecek eğitim neticesinde bunun önlenebileceği düşünülmüştür. İşletme elemanlarına verilecek eğitim neticesinde ısı kayıplarının önlenmesi düşünülmüştür. Sonuçta ocaklarda ayda 0,72 TEP, yılda 8,64 TEP enerji tasarrufu sağlanabileceği belirlenmiştir. Ocaklarda aylık tasarruf miktarının hesabı aşağıda verilmiştir.

#### Altı tonluk iki ocak için:

Açık kapaktaki termal kayıp = 350 kWh

Kapalı kapaktaki termal kayıp = 150 kWh

Tasarruf potansiyeli= 350-150 = 200 kWh

Kapasite faktörü = 0,50

Her iki ocak için çalışma süresi= 67 saat

Aylık elektrik tasarrufu = 200 kW x 0.5 x 67 h= 6700 kWh/Ay = 0,58 TEP/Ay

**Bir tonluk iki ocak için:**

Açık kapaktaki termal kayıp = 100 kWh

Kapalı kapaktaki termal kayıp = 50 kWh

Tasarruf potansiyeli = 100-50 = 50 kWh

Kapasite faktörü = 0,50

Her iki ocak için çalışma süresi = 67 saat

Aylık elektrik tasarrufu = 50 kW x 0.5 x 67 h = 1675 kWh/Ay = 0,14 TEP/Ay

**Aylık elektrik tasarrufu = 0,58+0,14=0,72 TEP/Ay'** dir.

Şekil 5. Ocak kapağı açık ve kapalı olması durumuna göre indiksiyon ocaklarının termal kayıp değerleri (Prabhu, 2008)

İşletmede gücü 55 kW olan GA55 vidalı tip kompresör kullanılmaktadır. İşletmede kompresör 7-9 bar basınç değerlerine göre çalışmaktadır. Kompresör ihtiyaca göre devreye girmekte veya yüksüz boştaki çalışmaktadır. Bu da önemli miktarda enerji sarfiyatına neden olmaktadır. Bunu önlemenin bir yolu sürücü kullanarak enerji tüketimini azaltmaktır. Kompresörlerin yükte ve boştaki çektiği güçler ve çalışma süreleri ölçülerek sürücü kullanılması sonrası tasarruf miktarı hesaplanmıştır.

Kompresörün günde 20 saat, 5 günde ve 4 hafta olmak üzere ayda 400 saat çalıştığı tespit edilmiştir.

Sürücü öncesi aylık elektrik tüketimi = 55 kW x 400 h = 22000 kWh/Ay' dir.

Sürücü sonrası %100 kapasitede 200 saat 55 kW güçte, %80 kapasitede 100 saat 44 kW güçte, %50 kapasitede 100 saat 27,5 kW güçte çalışacağı öngörülmüştür. Sürücü sonrası kompresörün aylık çektiği elektrik miktarı toplam 18.150 kWh/Ay olarak hesaplanmıştır. Bu durumda;

**Aylık elektrik tasarrufu**=22.000 kWh/Ay-18.150 kWh/Ay=3.850 kWh/Ay=**0,33 TEP/Ay'** dir.

Hava kaçaqları, basınçlı hava sisteminde meydana gelen enerji kayıplarının en önde gelen sebeplerinden biridir. Ultrasonik kaçak detektörü ile tarama yapılarak basınçlı hava kaçak noktalarının yerleri tespit edilmiş, bu noktalarda ortamın ses etkisi filtre edilerek yapılan ölçümler ve hat basıncı beraber değerlendirilerek kaçak hava debileri bulunmuştur. İşletmede hava kaçak miktarı 1,58 m<sup>3</sup>/dk olarak tespit edilmiş, özgül güç ortalaması 6,12 [kW/(m<sup>3</sup>/dk)] alınarak kaçak miktarına karşılık gelen elektrik gücü 9,30 kW olarak hesaplanmıştır. Kompresörün aylık 400 saat çalıştığını göz önüne alınarak;

**Aylık elektrik tasarrufu** = 9,30 kW x 400 h = 3.720 kWh/Ay = **0,32 TEP/Ay** olarak belirlenmiştir.



Havalandırma sistemlerinde fan motorlarında V kayış kullanılması kayış-kasnak mekanizmalarındaki ısınma sonucu kaymaların azaltılmasını sağlamaktadır. İşletmede havalandırma santralindeki taze hava emme ve egzoz fanlarında düz kayış olduğu tespit edilmiştir. Fanların aylık çalışma süresi ortalama 400 saat ve motor gücü 37,28 kW'dır. V kayış kullanılması neticesinde %2-5 arasında verim artışı olacağı düşünülmüştür. Yapılacak bu değişiklikle ayda 0,08 TEP, yılda 0,96 TEP enerji tasarrufunun sağlanabileceği belirlenmiştir. Yapılan hesaplama aşağıda verilmiştir

Normal kayışla çalışmada sistemin gücü =  $37,28 \text{ kW} / 0,92 = 40,52 \text{ kW}$ 'dır.

Dişli kayışla çalışmada sistemin gücü =  $37,28 \text{ kW} / 0,98 = 38,04 \text{ kW}$ 'dır.

Tasarruf edilen enerji =  $40,52 \text{ kW} - 38,04 \text{ kW} = 2,48 \text{ kW}$ 'dır.

**Aylık elektrik tasarrufu** =  $2,48 \text{ kW} \times 400 \text{ h} = 992 \text{ kWh/Ay} = \mathbf{0,09 \text{ TEP/Ay}}$ 'dır.

İşletmelerde en etkin enerji tasarrufu yöntemlerinden birisi yüksek verimli AC motorun kullanımıdır. İşletmedeki, bazı motorların EFF2 verimlilik sınıfı motorlar yerine IE3 verimlilik sınıfına ait motorlarla değiştirilmesi düşünülmüştür. Motorlarda enerji tasarruf denklemi aşağıda verilmiştir.

Enerji Tasarrufu = Toplam nominal güç \* ÇS \* YO \*  $(1/\eta_{\text{standart}} - 1/\eta_{\text{yüksek verimli}})$

ÇS: Çalışma süresi

YO: Yükleme oranı (fiili yükün tam yüke oranı)

$\eta_{\text{standart}}$ : Standart tip fan motor verimi

$\eta_{\text{yüksek verimli}}$ : Yüksek verimli tip fan motor verimi (Çengel ve Çerçi, 2000)

İşletmede iki adet 5,5 kW, dört adet 7,5 kW, iki adet 18,5 kW, iki adet 30 kW, iki adet 37 kW güçlerinde motor bulunmaktadır. Aylık enerji tasarruf değerleri Çizelge 3'de sunulmuştur.

**Çizelge 3.** Yüksek verimli AC motorun kullanımı elektrik tasarruf değerleri.

Motor Gücü	Sayısı	Çalışma Süresi	Yükleme Oranı	$\eta_{\text{standart}}$	$\eta_{\text{yüksek verimli}}$	Tasarruf Değerleri (TEP /Ay)
5,5 (kW)	2	12	0,8	0,857	0,896	0,01
7,5 (kW)	4	16	0,8	0,870	0,901	0,03
18,5 (kW)	2	16	0,8	0,900	0,924	0,03
30 (kW)	2	16	0,8	0,914	0,936	0,04
37 (kW)	2	16	0,8	0,920	0,939	0,05
<b>Toplam Aylık Elektrik Tasarrufu</b>						<b>0,17</b>

İşletmede aydınlatma amaçlı kullanılan armatürlerin her birinin 108W enerji harcadığı belirlenmiştir. Armatürlerin aynı aydınlatma gücüne sahip 33W LED armatürlerle değiştirilmesi öngörülmüştür. İşletmenin muhtelif mahallerinde toplam 200 adet aydınlatma armatürü bulunmaktadır. İşletmede aydınlatmanın günde 10 saat ve ayın 26 gün olduğu duruma göre enerji tasarruf miktarı belirlenmiştir.

**Aylık elektrik tasarrufu** =  $(108-33)W \times 10h \times 26\text{gün} \times 200\text{Adet} = 3900 \text{ kWh/Ay} = \mathbf{0,34 \text{ TEP/Ay}}$ 'dır.

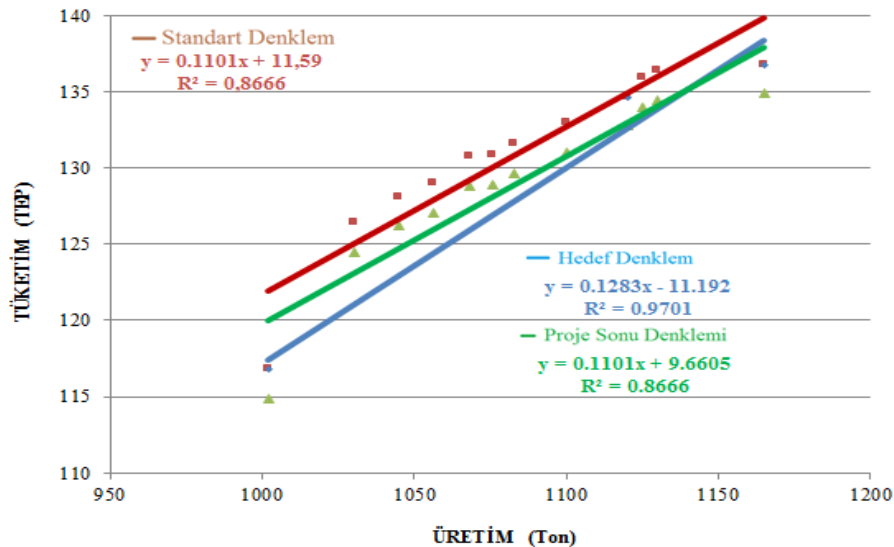
İşletmede gerçekleştirilmesi planlanan değişiklikler için yapılan elektrik tüketimi ve para tasarruf değerleri 2017 rakamlarına göre birim TEP enerjinin maliyetine göre hesaplanmıştır. Projeler sayesinde sağlanacak tasarruf değerleri Çizelge 4'de ayrıntılı olarak sunulmuştur. Çizelge 4 değerlerine göre en yüksek enerji tasarrufunun görüldüğü projenin yılda 8,64 TEP/yıl değeri ile ocak kapağının kapalı tutulma süresinin uzatılması olduğu görülmektedir. Bunu sırasıyla, 4,08 TEP/yıl değeriyle aydınlatma armatürlerinin değiştirilmesi, 3,96 TEP/yıl değeriyle kompresörlerde sürücü kullanılması, 3,84 TEP/yıl değeriyle basınçlı hava sistemindeki kaçakların önlenmesi, 2,04 TEP/yıl değeriyle mevcut motorların

yüksek verimlilik sınıfı motorlarla değiştirilmesi projeleri izlemiştir. Yıllık en az enerji tasarrufunun 1,08 TEP/yıl değeri ile fan motorlarında V kayış kullanılması projesi ile sağlanacağı belirlenmiştir. Tüm projelerin sağlayacağı yıllık tasarruf miktarı 23,64 TEP/yıl' dır. Bu değer tüm işletme için yıllık ortalama %1,52 enerji tasarrufuna karşılık gelmektedir. Bir TEP enerjinin 2017 yılı birim maliyet değerine göre işletmede yıllık 64.608 TL para tasarrufu sağlanacağı belirlenmiştir.

**Çizelge 4.** Proje sonu elektrik tüketimi ve para tasarruf değerleri.

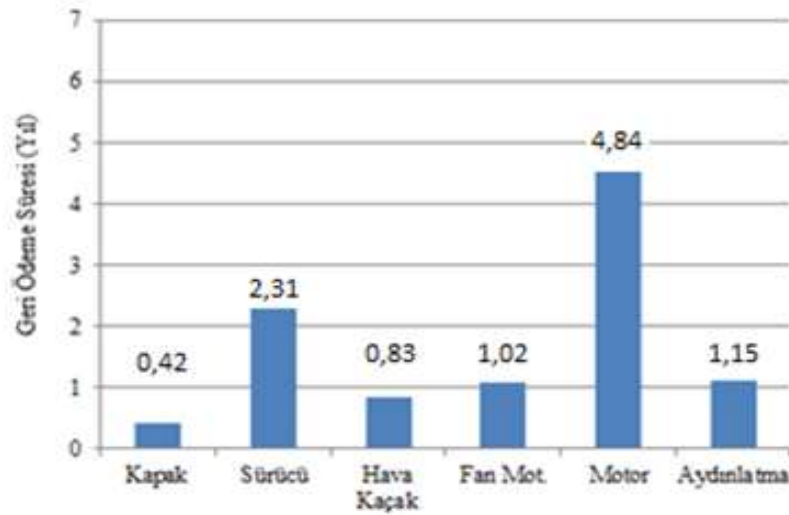
Ay	Projelerin Aylık TEP Kazançları							Proje Sonu (TEP)	Aylık Tasarruf (TL)
	Kapak (Eritme)	Kompresör	Hava Kaçak	Havalandırma	Motor	Aydınlatma	Toplam		
Ocak	0,72	0,33	0,32	0,09	0,17	0,34	1,97	124,5	5.384
Şubat	0,72	0,33	0,32	0,09	0,17	0,34	1,97	126,2	5.384
Mart	0,72	0,33	0,32	0,09	0,17	0,34	1,97	128,9	5.384
Nisan	0,72	0,33	0,32	0,09	0,17	0,34	1,97	128,8	5.384
Mayıs	0,72	0,33	0,32	0,09	0,17	0,34	1,97	132,7	5.384
Haziran	0,72	0,33	0,32	0,09	0,17	0,34	1,97	134,0	5.384
Temmuz	0,72	0,33	0,32	0,09	0,17	0,34	1,97	134,4	5.384
Ağustos	0,72	0,33	0,32	0,09	0,17	0,34	1,97	134,9	5.384
Eylül	0,72	0,33	0,32	0,09	0,17	0,34	1,97	131,9	5.384
Ekim	0,72	0,33	0,32	0,09	0,17	0,34	1,97	129,7	5.384
Kasım	0,72	0,33	0,32	0,09	0,17	0,34	1,97	127,1	5.384
Aralık	0,72	0,33	0,32	0,09	0,17	0,34	1,97	114,9	5.384
<b>Toplam</b>	<b>8,64</b>	<b>3,96</b>	<b>3,84</b>	<b>1,08</b>	<b>2,04</b>	<b>4,08</b>	<b>23,64</b>	<b>1547,1</b>	<b>64.608</b>

Belirlenen aylık enerji tüketim değerleri kullanılarak proje sonu denklemi oluşturulmuştur. Proje sonu denkleminin bağıntısı  $y=0,1101x+9,6605$  ve regresyon uyumluluk katsayısı  $R^2=0,866$  olarak bulunmuştur. Projeler sonu denklemi Şekil 6' da görülmektedir. Bu denklemin doğrusu standart denklem ile hedef denklemi arasında oluşmuştur. Bunun anlamı uygulanan projelerin hedef tasarruf değerlerine henüz ulaşmadığıdır. Ayrıca denklem doğrularından elde edilecek başka bir sonuç ise ürün miktarını artışıyla tasarruf hedefine yaklaşılabileceğidir. Hedef doğrusu ile proje sonu doğrusunun ürün miktarının artışı ile birbirine yaklaşması ve en sonunda kesişmesi bunu açıkça göstermektedir.



**Şekil 6.** Proje sonu denklemi

İşletmede uygulanması planlanan projelerin 2017 yılı rakamlarına göre maliyetleri; ocak kapağını kapalı tutulması ile ilgili eğitimin maliyeti 10.000 TL, kullanılan 55 kW'lık motor için alınacak sürücü maliyeti 25.000 TL, basınçlı hava tesisattaki kaçaların giderilmesi için değiştirilmesi gereken malzemelerin değişim maliyetleri 8.750 TL, havalandırma santrallerindeki düz kayış yerine dişli kayışla değiştirilmesi maliyeti 3.000 TL, EFF2 verimlilik sınıfı motorlar yerine IE3 verimlilik sınıfına ait motorlarla değiştirilmesi maliyeti 27.000 TL, 2x54W T5 siva üstü armatürün LED armatürle değiştirilmesi maliyeti 12.800 TL olarak belirlenmiştir. Çizelge 4'de her bir proje için TEP olarak belirlenen yıllık tasarruf değeri, 2017 rakamlarına göre birim TEP elektrik maliyeti ile çarpıldığında her bir projenin yıllık tasarrufunun parasal karşılığı bulunmuştur. Projelerin yatırım değerlerinin yıllık parasal tasarruf değerine bölünmesi sonucunda projelerin geri ödeme süreleri yıl olarak bulunmuş ve Şekil 7 'de sunulmuştur. En kısa geri ödeme süresi ve öncelikli uygulanması önerilen proje 0,42 yıl ile indüksiyon ocaklarında kapak kullanım projesidir. Bunu sırasıyla 0,83 yıl ile basınçlı hava sistemindeki kaçakların giderilmesi, 1,02 yıl ile fan motorlarında verimli kayış uygulaması, 1,15 yıl ile aydınlatma projesi ve 2,31 yıl ile basınçlı hava kompresörü değişken hızlı sürücü uygulaması projeleridir. En uzun geri ödeme süresi ve avantajı en az olan projenin 4,84 yıl ile yüksek verimli motor uygulaması projesi olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 7. Projelerin geri ödeme süreleri

### Karşılaştırma

Foundrbench projesi kapsamında 2008 yılında Avrupa ülkelerinde demir dökümü yapan 1932 işletmenin verilerine göre enerji etüdü çalışması yapılmıştır (Anonim, 2008). Benzer bir çalışma Kanada Dökümhanelerinde Enerji Verimliliği Fırsatları adı altında, Kanada' da bulunan döküm firmalarına yol göstermek amacıyla Kanada Enerji Tasarrufu Programı (CIPEC) aracılığıyla Kanada Dökümhaneler Birliği ve Kanada Doğal Kaynakları kuruluşları tarafından 2003 yılında yapılmıştır (Anonim, 2003).

Her iki etüt çalışmasında döküm işletmelerinde ağırlıklı enerji tasarrufu yapılabilecek ünitelerin metalin eritilme ünitesi, kompresör ve basınçlı hava bağlantıları, havalandırma ünitesi, motorlar ve aydınlatma cihazları olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 5' de mevcut çalışma ve her iki enerji etüt çalışmasının döküm işletmelerinin farklı bölümlerindeki enerji tasarruf potansiyelinin tüm tasarruf içindeki yüzde değerleri sunulmuştur. Demir dökümü yapan işletmelerde ağırlıklı enerji tasarrufunun Avrupa ve Kanada etüt değerlerine göre %55 ve %59 ile metalin eritme aşamasında yapılabileceği görülmektedir. Kompresör ve basınçlı hava

bağlantılarında enerji tasarruf yüzdeleri sırasıyla %7 ve %5, aydınlatmada ise %4 ve %6'dır. Araştırma yapılan işletmede eritme sürecinde sadece endüksiyon ocağının kapalı tutulma süresinin azaltılmasının enerji tasarrufuna katkısı araştırılmıştır ve eritme aşamasındaki enerji tasarruf yüzdesi %37' olarak bulunmuştur. İşletmenin kompresör ve basınçlı hava bağlantılarında ciddi problemlerin oluşu ve aydınlatma için eski teknolojide cihazların kullanılması nedeni ile enerji tasarruf potansiyeli yüzdesi sırasıyla %34 ve %18 olarak hesaplanmıştır. Mevcut çalışmada Çizelge 5'de sunulan tasarrufu yüzdeleri işletmenin kendi şartları için geçerli olan değerlerdir ve kapsamlı çalışmalarda elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında farklı çıkması doğaldır. Bununla birlikte Avrupa ve Kanada çalışmalarının değerleri de döküm işletmelerinde enerji israfının prosesin hangi bölümlerinde daha fazla olduğu hakkında genel bir bilgi vermesi açısından önemlidir.

**Çizelge 5.** Tasarruf projelerinin etki yüzdeleri

	Avrupa	Kanada	Mevcut Çalışma
Eritme (%)	55	59	37
Kompresör ve Basınçlı Hava Sistemi (%)	7	5	34
Havalandırma (%)	14	6	4
Motorlar (%)	12	12	7
Aydınlatma (%)	4	6	18
Diğerleri (%)	8	12	-
<b>Toplam</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Çizelge 6' de mevcut çalışma ve iki farklı enerji etüd çalışmasının demir döküm üretimi için ton başına enerji tüketimi ve tasarruf potansiyeli değerleri sunulmuştur. Döküm proseslerinin modernizasyonu, üretim kalitesi, çevresel etki faydası ve üretim koşullarının iyileştirilmesi sonucunu getirmesi ile birlikte proseste ilave cihazların ve sistemlerin varlığı enerji tüketiminin artmasına sebep olmaktadır. Çizelge 6 değerlerine göre Avrupa ve Kanada' da ton başına enerji tüketim değerleri 0,215 TEP/ton ve 0,205 TEP/ton oluşu tesislerin daha modern olması dolayısıyla el emeğinin yerine otomasyon sistemlerinin yoğun olarak kullanılması ve bu otomasyon sistemlerinin elektrik tüketimini artırması ile açıklanabilir. Bununla birlikte ilave otomasyon sistemleri ile sistemde iyileştirme yapılabilecek sistem elemanlarının fazla olmasına bağlı olarak enerji tasarruf potansiyeli de artacaktır. Söz konusu ülkelerde enerji tasarruf potansiyeli ton başına Avrupa ve Kanada' da sırasıyla 0,047 TEP/ton ve 0,033 TEP/ton olarak belirlenmiştir. Mevcut çalışma için enerji tasarruf potansiyeli yıllık 0,0028 TEP/ton'dur. Enerji tasarruf potansiyeli ve üretim değerlerine göre işletmelerde tasarruf potansiyeli Avrupa'da %21,9, Kanada'da %16,1 ve mevcut çalışmada ise yıllık %2,3 olarak hesaplanmıştır. Çalışmaların yapıldığı yılların Euro kurları dikkate alınarak enerji tüketim ve tasarruf değerlerinin ekonomik karşılıkları Çizelge 6' de sunulmuştur. Avrupa, Kanada ve mevcut çalışma için ton başına enerji maliyet değerleri sırasıyla 128, 138 ve 83 Euro, enerji tasarruf değerinin ekonomik karşılıkları ise sırasıyla 31, 21 ve 2 Euro olarak belirlenmiştir.

**Çizelge 6.** Enerji Tüketimi ve Tasarruf Potansiyeli Değerleri

	Avrupa	Kanada	Mevcut Çalışma
Enerji Kullanımı (TEP/ton)	0,215	0,205	0,121
Enerji Tasarruf Potansiyeli (TEP/ton)	0,047	0,033	0,0028
Tasarruf Potansiyeli (%)	21,9	16,1	2,3
Enerji Maliyeti (Euro/Ton)	125	138	83
Tasarruf Potansiyeli (Euro/Ton)	31	21	2

Mevcut çalışmada tasarruf potansiyeli işletmenin yıllık üretim ve enerji tüketim değerlerine göre araştırılmıştır. Avrupa ve Kanada’ da yapılan çalışmalarda ise çalışmaya dâhil edilen işletme sayısı oldukça fazladır. Dolayısıyla pek çok işletme verilerine dayanarak yapılan bu çalışmalarda enerji tasarruf potansiyelinin, bu değerlere bağlı olarak işletmenin tasarruf potansiyel yüzdesinin ve bir ton üretim başına sağlanacak ekonomik karlılığın mevcut çalışmaya göre daha yüksek çıkması doğaldır.

## SONUÇ

Bu çalışmada, muhtelif altyapı ürünleri üreten bir döküm fabrikasının üretim değerleri ve enerji tüketim durumu incelenmiştir. İşletmenin aylık üretim miktarlarına karşılık tüketilen toplam enerji değerleri hesaplanmıştır. Sonuçlaralar göre çizelgeler ve grafikler hazırlanmıştır. Hazırlanan çizelge ve grafiklere göre regresyon değerleri ve bir ton üretim için tüketilen enerji miktarı belirlenmiştir. İşletmede yapılan enerji etüdü sonucunda işletme enerji yönetimi açısından değerlendirilmiş, yapılan ölçümlerin ve hesaplamaların sonuçlarına göre öncelikli tasarruf projeleri araştırılmıştır. Bu kapsamda işletme için indüksiyon ocağının kapağının kapalı tutulma süresinin uzatılması, basınçlı hava sistemindeki kaçakların giderilmesi, basınçlı hava kompresöründe sürücü uygulanması, fan motorlarında V kayış kullanılması, mevcut motorların yüksek verimli motorlarla değiştirilmesi ve aydınlatma armatürlerinin yenilenmesi projeleri sunulmuştur.

Aylık üretim ve enerji tüketim değerlerine göre standart denklem oluşturulmuştur. Standart denklemin altında kalan verilere göre hedef denklemi ve doğrusu belirlenmiştir. Hedef denkleminde faydalanarak işletme için aylık üretim verilerine göre hedef enerji tüketim miktarları TEP olarak tespit edilmiştir. Aylık TEP değerleri ile hedef değerleri arasındaki fark ile işletmenin aylık tasarruf potansiyelini belirlenmiştir. İşletmenin yıllık tasarruf potansiyeli 36,6 TEP/yıl olarak hesaplanmıştır. Yıllık tasarruf potansiyeli 2007 yılı bir TEP enerjinin maliyetine göre 100.140 TL/yıl olarak belirlenmiştir. Bu değerlere göre işletmenin yıllık %2,3 tasarruf potansiyeli olduğu tespit edilmiştir.

İşletmede gerçekleştirilmesi planlanan projelerin tasarruf değerleri belirlenmiş ve aylık üretim değerlerine göre proje sonu denklemi oluşturulmuştur. Proje sonu denkleminde işletmenin sağlayacağı yıllık tasarruf miktarı 23,64 TEP/yıl bulunmuştur. Bu değer tüm işletme için yıllık %1,52 enerji tasarrufuna karşılık gelmektedir. Projelerin neticesinde 2007 yılı enerji maliyeti değerine göre yıllık 64.608 TL para tasarrufu sağlanacağı belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre işletmenin hedef tasarruf değerlerine ulaşabilmesi için daha farklı projelerin önerilebileceği anlaşılmıştır. Yapılan çalışma döküm işletmelerinde proste tasarruf yapılabilecek bölümlere dikkat çekmektedir. Elde edilen sonuçlar Avrupa’da Foundrbench projesi ve Kanada’da Kanada Enerji Tasarrufu Programı (CIPEC) kapsamında yapılan geniş kapsamlı enerji etüt çalışmalarıyla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma neticesinde döküm işletmelerinde proste tasarruf yapılacak bölümlerin büyük oranda benzer olduğu anlaşılmıştır (Patange ve ark., 2015) (Stefana E ve ark., 2020). İleri aşamalarda birden fazla döküm işletmelerinin verilerine dayanarak daha kapsamlı etüd çalışmaları yapılabileceği anlaşılmıştır.

## SEMBOLLER

TEP	: Ton eşdeğer petrol (Enerji Birimi)
SET	: Spesifik (Özgül) enerji tüketimi
VDF	: Değişken frekanslı sürücü
EFF2	: Standart verimli elektrik motoru sınıfı (Eski sınıflandırmada)
IE3	: Yüksek verimli elektrik motoru sınıfı (Yeni sınıflandırmada EFF1 karşılığı)
GA55	: Vidalı kompresör firma (Atlas Copco) kodu
LED	: Yarı iletken aydınlatma cihazı

**KAYNAKLAR**

- Anonim, 2008. MMO Konya Şubesi, Enerji Tasarrufu: Enerjinin Etkili ve Verimli Kullanımı.
- Anonim, 2003. Canadian Industry Program for Energy Conservation, Energy Savings Toolbox an Energy audit Manual and Tool.
- Anonim, 2008. Foundrbench, Improving the energy efficiency of foundries in Europe.
- Anonim, 2003. Canadian Industry Program for Energy Conservation, Guide to Energy Efficiency Opportunities in Canadian Foundries.
- Anonim, 2005. BCS Incorporated, Advanced Melting Technologies: Energy Saving Concepts and Opportunities for the Metal Casting Industry.
- Çengel YA, Çerçi Y, 2000. Opportunities to Save Energy in Industry, 12. Turkish National Conference on Thermal Sciences and Technologies with International Participation, Conference Proceeding, Sakarya, Turkey.
- Futas P, Pribulova A, Pokusova M, 2020. Possibilities Reducing of Energy Consumption by Cast Iron Production in Foundry. Materials Science Forum, 998:36-41.
- Goel MS, Gulati SM, 2008. Enhancing Competitiveness of Small and Medium Size Foundries Scope, Challenges and Way Forward. Foundation for MSME Cluster, Canada.
- Kaya D, Güngör C, 2002. Sanayide Enerji Tasarruf Potansiyeli-I. Mühendis ve Makine, 514: 48-50.
- Lazzarin MR, Marco N, 2015. Energy efficiency opportunities in the production process of cast iron foundries: An experience in Italy. Applied Thermal Engineering, 90:509-520.
- Prashanth MS, Eshwar R, Patel VK, Rohit R, Rahul R, Gopi KM, 2014. A multi-faceted approach to energy conservation in foundries. Procedia Engineering, 97: 1815-1824.
- Prabhu, S. 2008. Raising Productivity Reducing risks on The Melt Deck S. Prabhu, Foundry Management and Technology.
- Patange G, Khond, M, 2015. Energy efficiency in small and medium scale foundry industry. Metalurgija, 55: 257-259.
- Stefana E, Cocca P, Marciano F, Rossi D, Tomasoni GA, 2019. A Review of Energy and Environmental Management Practices in Cast Iron Foundries to Increase Sustainability, Sustainability, 11, 7245.
- Söğüt Z, İlten N, Oktay Z, 2011. Bir Salça Fabrikasında Enerji Taramasına Bağlı Enerji Tasarruf Potansiyelinin İncelenmesi. 6th International Advanced Technologies Symposium, Elazığ, Turkey.
- Worrell E, Laitner J, Ruth M, Finman H, 2003. Productivity benefits of industrial energy efficiency measures. Energy, 28: 1081-98.