

Cam İşletmesinde Enerji Verimlilik Potansiyeli ve İyileştirme Çalışmaları

Energy Efficiency Potential Analysis and Improvement Studies in Glass Industry

 İrem DÜZDAR *,  Elif AKIN* ve  Tuğçe ÖZDEMİR**

*Düzce University, Industrial Engineering, Duzce, Turkey
akinnelif9@gmail.com , ORCID: 0000-0001-7463-5410
iremduzdar@duzce.edu.tr , ORCID: 0000-0002-7642-8121
**Düzce Cam San. ve Ltd., R&D Department, Duzce, Turkey
tugcee1508@gmail.com , ORCID: 0000-0001-9716-4770

ÖZ

Enerjinin kullanımı nüfus artışı, sanayileşme, gelir artışı ile tüm dünya ülkelerinde artarken, bu kullanım artışı ile birincil enerji kaynaklarımız tükenmekte, enerji maliyetleri artmakta ve doğanın kirlenmesi gibi büyük problemlere yol açmaktadır. Bu problemlerin önüne geçmek amacıyla gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler enerji verimliliği konusuna çok fazla önem vermektedir. Tüm dünyada enerjinin yoğun olarak kullanıldığı sektörlerin başında sanayi gelmektedir. Bu çalışmada ise float cam üretimi yapan bir işletmede enerji verimliliği ve maliyetleri üzerinde durulmuştur. İşletmenin 2022 yılındaki Kasım ayına kadar olan üretim ve enerji tüketim verileri regresyon analizi yöntemi ile standart denklem ve hedef denklem oluşturularak enerji tasarruf potansiyeli incelenmiştir. İşletmenin tasarruf potansiyeli 7594,7 TEP/yıl olarak bulunmuştur. 2022 yılı için tasarrufun mali değeri 17,334 €/yıl olarak hesaplanmıştır. İşletmedeki yapılacak iyileştirme çalışmalarının mali katkısı incelendiğinde ise banyo alt kasa değişimi ile 403.737 €, aydınlatma değişimi ile ise 8.851 € tasarrufu sağlanacağı belirlenmiştir.

Anahtar sözcükler: Enerji Verimliliği, Verimlilik, Maliyet Analizi, Regresyon, Enerji Tasarruf Potansiyeli

Abstract

While the use of energy is increasing in all countries of the world with population growth, industrialization and income increase, this increase in use leads to major problems such as depletion of our primary energy resources, increase in energy costs and pollution of nature. In order to prevent these problems, developed and developing countries attach great importance to energy efficiency. Industry is one of the leading sectors where energy is used intensively all over the world. This study focuses on energy efficiency and costs in a float glass manufacturing company. The production and energy consumption data of the enterprise until November 2022 are analyzed by regression analysis method by creating standard equation and target equation and energy saving potential is analyzed. The saving potential of the enterprise was found to be 7594.7 TOE/year. For the year 2022, the financial value of the savings was calculated as 17,334 €/year. When the financial contribution of the improvement works to be carried out in the enterprise is analyzed, it is determined that 403.737 €, will be

saved with the replacement of the bathroom bottom case and 8.851 € will be saved with the lighting replacement.

Key words: Energy Efficiency, Efficiency, Cost Analysis, Regression, Energy Saving Potential

1. Giriş

Ülkelerin toplumsal olarak gelişmesini sağlayan unsurlarının başında enerjinin kullanımı gelmektedir. Enerji hem günlük yaşamımız için hem de enerji ve sanayi ürünlerinin üretilmesi için en önemli yaşamsal girdilerden birisidir. Hayatın devamlılığı için enerjiyi kesinti yaşamadan, güvenli, zamanında, temiz ve düşük fiyatlı yollardan temin etmek tüm dünya ülkeleri için en önemli konulardan birisidir [1].

Ancak gelecek yıllarda dünyada kullanılan başlıca enerji kaynakları olan doğal gaz, kömür ve petrol rezervlerinin zamanla azalacağı ve bununla birlikte fiyatlarının yükseleceği öngörülebilir bir gerçektir. Bu nedenle gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin önceliği yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, enerji maliyetlerini düşük tutmak, enerjiyi verimli kullanabilmek için enerji tasarruf çalışmalarına önem vermektir [2].

Enerji verimliliği; enerjinin üretilmesi, iletilmesi ve dağıtılması için yapılan tüm çalışmaları kapsamaktadır. Yapılan işin kalitesinde herhangi bir azalma olmadan, daha az enerji tüketilerek işin yapılması anlamına gelmektedir. Enerji verimliliği çalışmaları, ekonomik olarak büyüme ve sosyal kalkınma hedeflerinin sürdürülebilir olması ile birbiriyle ilişkilidir, ayrıca doğaya verilen zararları da minimum düzeye indirmeye çalıştığı için, önemle dikkat edilmesi gereken konuların başındadır [3].

Enerji verimliliği ile:

- Fosil kaynakların hızla tükenmesi,
- Alternatif ve yeni enerji kaynaklarının maliyetinin yüksek olması,
- Artan enerji talebi dolayısı ile enerji fiyatlarının artışı,
- Kullanılan yerli enerji kaynaklarının ithal bağımlılığın önüne geçememesi,
- İklim değişikliklerine yol açması,

- Enerji üretildiğinde ortaya çıkan gazların hem insan sağlığı hem de çevreye zarar vermesi

Gibi tüm dünyaya zarar veren sorunların önüne geçmek mümkündür [4].

Dünyada tüketilen enerjinin büyük bir kısmı ise sanayi sektöründe tüketilmektedir. Bundan kaynaklı enerji verimlilik çalışmalarında en çok yoğunlaşılması gereken alan sanayi sektörüdür. Gelişmiş ülkelerde de enerji tasarrufu çalışmaları özellikle sanayi sektöründe yoğunlaşmaya başlamıştır. Çalışmaların bu alanda artmasının birtakım sebepleri vardır. Bunlar:

- Enerjide tasarruf edilebilme potansiyeli, örneğin konut sektöründen daha az olsa da bu tasarruf çalışmaları daha az maliyetle gerçekleştirilebilmektedir ve enerji yatırım ortalama üç sene de geri ödeme süresini doldurmaktadır.
- Sanayideki enerji verimlilik çalışmaları, genellikle sanayi sektöründe modernleşme ve sektörde rekabet koşullarının gelişmesinde etkin bir rol oynamaktadır.
- Enerji muhasebesi ve tüketim maliyetlerinin hesaplanabilirliği, diğer sektörlere oranla sanayide daha profesyonelce bilinen bir konudur [5].

Bu çalışmada, float cam üretim sektöründe faaliyet gösteren Düzce Cam'da enerji kaynağı olarak kullanılan GES ve ORC sistemleri incelenmiştir. Atık ısı kazanımlı ORC sistemi ve işletme çatısının uygun olan kısımlarına kurulan güneş enerji sistemi ile tüm işletmede kullanılan enerjinin bir kısmı bu sistemlerden karşılanmaktadır. Sanayi işletmesinde 2022 Kasım ayına kadar olan enerji tüketimi, işletmede kullanılan enerji kaynakları incelenmiştir. İşletmenin üretim miktarı ve enerji tüketim miktarı verileri incelenerek regresyon analizi ile enerji tasarruf potansiyeli tespit edilmiştir. İşletmede enerji ile ilgili yapılan çalışmalar incelenerek sağladıkları mali katkı bulunmuştur. Projedeki amaç işletmedeki enerji verimliliğine katkı sağlayabilmektir.

2. Literatür Araştırması

Çalışmanın bu bölümünde literatür incelenerek enerji verimliliği konusunda yapılan çalışmalara değinilecektir. Kıyılmaz ve arkadaşları (2021), bu çalışmada gıda sektöründe faaliyetini sürdüren dondurma tesisinde enerji etüdü çalışması yapılarak enerji yönetiminde yapılabilecek iyileştirme olanakları ve verimlilik artırıcı projelerden bahsedilmiştir. Etüt çalışmasıyla tesisin enerji tüketim kaynakları ve maliyetleri verilerine ulaşılmış, yıllık enerji tüketimi ve SET değerleri karşılaştırılmıştır. Yapılan etüt çalışmasıyla kısa zamanda geri dönüş alınabilecek üç nokta bulunmuş ve öncelikle bu alanlarda çalışma yapılması önerilmiştir. Bu üç verimlilik artırıcı projeye yılda 1 GW'a yakın enerji tasarrufu sağlandığını söylemektedirler. Bu tasarrufla beraber 1200733 kg CO₂ salınımı önüne geçilecektir [6].

Turgut (2008), bu çalışmada Denizli ilinde faaliyet gösteren altı tekstil fabrikasında gerçekleştirilmiştir. Her bir fabrikanın tesis bilgilerine, kullanılan makinalara, iş akış semalarına, buhar kazanı özellikleri, analiz sonuçlarına ve baca gazı ölçüm sonuçlarına ulaşılmıştır. Ardından regresyon analiziyle bu fabrikaları gruplayarak üretim ve enerji tüketim ilişkisi incelenmiştir. Bu altı fabrikanın baca gazı analizleri sonucunda

yapılacak verimlilik oranı bulunmuş ve yıllık TL bazında enerji tasarruf imkânı bulunmuştur [7].

Söğüt ve arkadaşları (2019), bu çalışmada tekstilde kullanılan boyalar konusunda üretim gerçekleştiren bir işletmenin enerji verimlilik potansiyeli değerlendirilmiştir. İşletmede enerji taraması yapılarak toplam enerji tüketim dağılımları incelenmiştir. Verimlilik değerlendirilmesi için ise iki yöntem kullanılmıştır. Üretim üzerinden regresyon analizine bağlı tasarruf %28,03 çıkmıştır, histograma ile hedef enerji tüketimi ise %13,51 olarak bulunmuştur [8].

Akkurt ve Taşdemir (2021), bu çalışmada muhtelif altyapı ürünleri üreten bir işletmede enerji etüt çalışması yapılmıştır. İşletmenin son üç yılın enerji tüketim miktarı ve maliyet verileri alınmıştır. Bu veriler ton eşdeğer petrol (TEP) değerine dönüştürülmüştür. İşletmenin enerji tasarruf potansiyelinin belirlenmesi için standart denklem ve hedef denklem bulunmuştur [9].

Yüksel (2020), çalışmasını petro- kimya fabrikasında enerji verimliliği etüdü yapmıştır. İşletmenin 2015-2017 yıllarına ait enerji tüketimi ve maliyeti verileri toplanmış. Üretim ile enerji arasındaki ilişkiyi incelenmiş ve enerji tasarrufu yapılabilecek noktaları belirlemiştir. Enerji verimliliği artırıcı projeler geliştirilmiş ve geri ödeme sürelerini hesaplamıştır [10].

Işık ve Akan (2018), çalışma kürk-süet üretimi gerçekleştiren bir işletmede enerji tasarruf projelerine yardımcı olmak amacıyla gerçekleştirilmiştir. İşletmenin 2016 yılı enerji taraması yapılmıştır. Kullanılan enerji kaynaklarının enerji tüketim ve maliyet değerleri, üretim adedi verileri toplanmıştır. İşletmenin enerji verimliliği ve performansını inceleyebilmek için Spesifik Enerji Tüketimi (SET) yöntemi kullanılmıştır. Standart ve hedef eğrileri bulunarak enerji tüketim değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu verilere göre tasarrufun 2017 yılı için yaklaşık 180000 TL olacağını söylemişlerdir [11].

Söğüt ve Oktay (2006), bu çalışma çimento üretim sektöründe olan bir işletmede enerji taraması yapmış ve yapılan enerji taraması ile mevcut enerji tasarruf projelerine katkı sağlamayı hedeflemişlerdir. Fabrikanın 2004 yılına ait üretim ve enerji tüketim verileri incelenmiştir. Regresyon analizi ile tüketim eğrisi elde edilmiş ardından tüketim eğrisinin altında kalan noktalar ile hedeflenen eğri elde edilmiştir. Hesaplanan değerler ile Kümülatif Toplam Değerler (CUSUM) grafiği çizilmiştir. İşletmenin 2005 yılı hedef enerji tüketimine ulaşması için önerilerde bulunulmuştur [12].

Çakal (2006), çalışma Tekirdağ'da tarım makinesi imalatı yapan 3 firmada enerji yönetimi incelenmiştir. Bu firmalarda enerji yönetimi ile ilgili çalışma yapılmamıştır. 2 işletmenin son 5 yılına, 1 işletmenin ise son 4 yılına ait elektrik tüketim değerleri ve 3 işletmenin 2005 yılı için üretim değerleri incelenmiştir. Enerji tüketim miktarı- üretilen tarım makinesi adedi arasındaki ilişkiler, enerji tüketim miktarı- üretilen tarım makinesi ağırlığı arasındaki ilişkiler, SET değerleri incelenmiştir. İşletmelerin elektrik tüketimine göre en yüksek enerji tüketimini Firma-3, en düşük enerji tüketimini ise Firma-2 yapmaktadır [2].

CO₂ emisyonunu önleme hedeflerinden yararlanmak için enerji verimliliği iyileştirmesinin devreye girdiği yerde enerjinin verimli kullanımı yoluyla enerji israfının azaltılması, iklim değişikliğiyle enerji talebi yönlü kanallardan mücadele etmenin etkili bir yolu olabilir [13].

Cam imalatında enerji verimliliğinin artırılmasına çeşitli yönlerden yaklaşılmalıdır. Güçlü, kurumsal çapta bir enerji yönetimi programı ile tesis, operasyonlar, çevre, sağlık ve

güvenlik ve yönetim personelini içerecektir. Enerji tasarruflu motorların kullanımı ve basınçlı hava sistemlerinin optimizasyonu gibi teknolojilerdeki enerji verimliliği iyileştirmeleri, enerji tasarrufu için iyi fırsatlar sunmaktadır. Proses atık ısı geri kazanımını en üst düzeye çıkarmak gibi sistem tasarımını ve operasyonlarını optimize etmek de enerji kullanımında önemli azalmalara yol açabilir [14].

Üretimde çoğu işlemin yüksek sıcaklık ve basınç koşulları altında gerçekleştiği ürünlerde, süreçler arasındaki ısı transferinin yönetimi ve optimizasyonu, genel enerji verimliliğini artırmanın anahtarıdır [15].

Atık ısı geri kazanımı (WHR), aynı miktarda yakıt ve aynı miktarda sera gazı emisyonu ile mevcut gücü artırmaya izin verdiği için genel enerji verimliliğini iyileştirmek için uygun bir çözüm olabilir. Egzozlardan atık ısı geri kazanımı, süper kritik koşullarda karbondioksitin çalışma sıvısı olduğu Organik Rankine Çevrimleri (ORC) gibi daha ilginç ve daha yenilikçi çözümler için olanaklar sunuyor. ORC sistemleri, öncelikle ısı kaynağı sıcaklığının 100 °C ile 400 °C arasında olması durumunda, atık ısı geri kazanımı için geçerli bir teknik çözümdür. Reale ve ark. (2023) tarafından yapılan çalışmada bileşen sayısı açısından artan bir karmaşıklığa sahip ancak aynı zamanda artan bir verimlilikle altı farklı WHR düzeni ele alınmış ve incelenmiştir. Bunlardan beşi süper kritik CO₂ (sCO₂) gaz türbinlerini temel alırken, altıncısı daha karmaşık bir sCO₂ GT-ORC kademeli düzenidir. Genel net verimlilik, Basit atık ısı geri kazanımı şeması durumunda yaklaşık %45'e ve hibrit sistemde yaklaşık %49'a kadar yükseldiği sonuçlarda görülmüştür [16].

3. Materyal ve Yöntem

Üretilen enerjinin büyük bir kısmı sanayi sektöründe tüketilmektedir. Bu nedenle enerji verimlilik çalışmalarda yoğunlaşılması gereken sektördür.

Çalışma, float cam üretimi yapan bir işletmede gerçekleştirilmiştir. 2022 Kasım ayına kadar olan enerji tüketim ve üretim verileri arasındaki ilişki incelenerek tasarruf potansiyeli bulunmuştur. Bu çalışmada toplanan verilere bağlı olarak regresyon analizi ile enerji tasarruf potansiyeli tespit edilmiştir.

Enerji tüketimi standartı, mevcut enerji tüketimli, hedef enerji tüketimi ve enerji performans indeksi ile tanımlanmaktadır. Enerji tüketimi, birçok nedene bağlı olarak haftalık veya aylık değişebilmektedir. Bu faktörler, Spesifik Değişkenler ve Kontrol Edilebilir Değişkenlerdir. Spesifik değişkenler; işletmenin belirli bir bölümünde üretim adedine göre enerji ihtiyacı belirlenir. Enerji ihtiyacının bulunabilmesi için standart denklemler bu değişkenlerde kullanılır. İşletme çalışmaları, sistemin kontrol edilmesi, üretimin planlanması ve bakım standardı gibi değişkenler kontrol edilebilir değişkenlerdir. Enerji tüketimini minimum seviyeye düşürebilmek için değişkenler yönetim tarafından belirlenmektedir.

3.1. Standart Denklem Tipleri

$$E = a \quad (1)$$

a sabittir. Denklem 1 de enerjinin kullanımı hep sabittir. Spesifik değişken bulunmamaktadır. Enerji tüketimi ile üretim birbirinde bağımsızdır. Üretim miktarı ne kadar olursa olsun makinalar maksimum kapasiteli çalışmalıdır. Bu durumda standart denklem geçmiş verilerin ortalamasıdır [2].

$$E = a + bP \quad (2)$$

Denklem 2'de ise a ve b sabit değerlerdir. P üretimi ifade eden spesifik değişkendir. Enerji tüketimi ve üretim arasında bir ilişki vardır. Standart denklem regresyon analizi ile bulunabilir [2].

$$E = a + bP1 + cP2 + dP3 + \dots \quad (3)$$

a, b, c, d sabittir. P1, P2 ve P3 spesifik değişkendir. Denklem 3'te enerjinin tüketimi farklı sayılarda spesifik değişkenlere bağlıdır ve bunlar üretim, hava, çalışma süreleri olabilir. Standart denklemi bulmak için, çoklu lineer regresyon ile gerçekleştirilen istatistik analizi kullanılabilir gibi, bilgisayar programı ile de hesaplanabilmektedir [2].

Veriler ile bulunan standart denklemlerden sonra bu doğru altında kalan veriler ile tekrar bir denklem bulunur. Bu hedef denklemdir. Bu hedef denklem standartla denklem ile aynı formda olan bir denklemdir. Standart ve hedef denklem karşılaştırmasıyla iyileştirme incelenmektedir [2].

Performans değerlendirmesi için ise hedef enerji kullanımı ve mevcut tüketilen enerji değerleri karşılaştırılmalıdır. Bunu yapmak için ise Spesifik enerji tüketim (SET) değerleri bulunmalıdır. SET değeri, birim ürünün için tüketilen enerji miktarı demektir [17].

$$SET = \frac{\text{Enerji Tüketimi (Enerji Birimi)}}{\text{Üretim (Üretim Birimi)}} \quad (4)$$

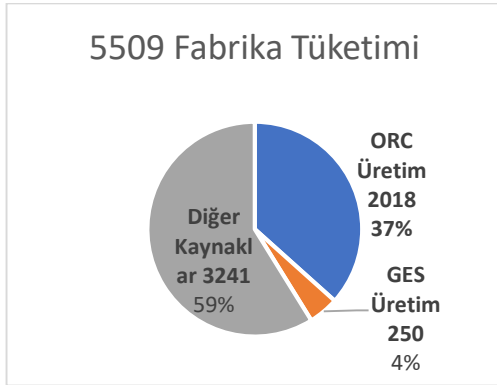
Spesifik enerji tüketimi (SET) değeri, herhangi bir koşulun fabrikadaki üretime olan etkisini gözlemlene açısından oldukça önemlidir. Denklem 4'ün değeri büyür ise performans düşmüştür ve enerji tüketim oranının gereksiz olarak artmış olduğunu göstermektedir [17].

4. Bulgular ve Tartışma

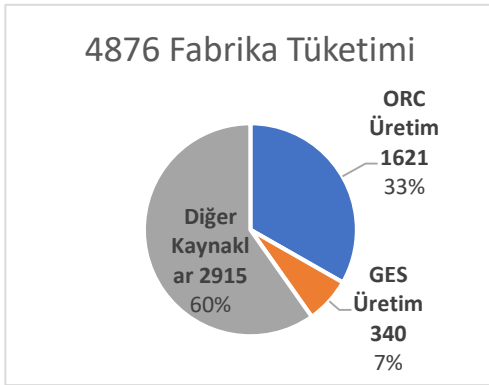
Araştırma, float cam üretim sektöründe faaliyet gösteren Düzce Cam'da gerçekleştirilmiştir. Düzce Cam 1 ve Düzce Cam 2 isimli iki üretim hattına sahiptir. Düz cam, füme cam, lamine cam ve ayna üretimi yapılmaktadır. İşletmede enerjinin ana kullanımını üretim hattında gerçekleştirmektedir. Yüksek sıcaklıklarda üretim yapılan endüstriyel fırınlar, işletmelerde yakıt kullanımında ve atmosfere verdiği zararlar nedenleri ile mümkün olduğunca etkin ve verimli olarak kullanılması gerekmektedir. İşletme incelendiğinde enerji kaynağı olarak ORC ve GES (Güneş Enerjisi Sistemi) kullanıldığı görülmüştür. İşletmede ORC sistemi 2019 yılından bu yana faaliyete göstermekte, GES sistemi ise Eylül ayı itibarı ile bu yıl faaliyete geçmiştir. Araştırmada 2022 enerji verileri incelenmiştir.

GES sisteminin faaliyete geçmesiyle iki aylık enerji üretim yüzdeleri Şekil 1 ve Şekil 2'de görülmektedir;

Şekil 1. Eylül ayı enerji verileri



Şekil 2. Ekim ayı enerji verileri



4.1 Veri Toplanması

İşletmenin enerji tasarruf potansiyelinin incelenmesi için enerji tüketim-üretim arasındaki ilişki regresyon analizi ile tespit edilecektir. 2022 Kasım ayına kadar olan enerji tüketim ve üretilen camın m^2 cinsinden verileri Tablo 1 ve Tablo 2’de görülmektedir. M^2 cinsinden alınmasının sebebi cam adet sayımı yapılmamış veriler m^2 cinsinden tutulmuştur.

Tablo 1. 2022 yılının ekim ayına kadar olan fabrika net enerji tüketimi(kWh).

| Ay | Tüketilen Net Enerji |
|---------|----------------------|
| Ocak | 5164 |
| Şubat | 4871 |
| Mart | 5412 |
| Nisan | 5293 |
| Mayıs | 5270 |
| Haziran | 5038 |
| Temmuz | 4946 |
| Ağustos | 5445 |
| Eylül | 4876 |
| Ekim | 5509 |

Tablo 2. M^2 cinsinden toplam üretilen cam miktarı.

| Ay | Toplam M^2 |
|---------|---------------|
| Ocak | 2.896.462,57 |
| Şubat | 2.791.764,48 |
| Mart | 2.922.225,14 |
| Nisan | 2.353.291,53 |
| Mayıs | 2.873.624,73 |
| Haziran | 2.752.797,61 |
| Temmuz | 2.193.709,06 |
| Ağustos | 2.154.069,24 |
| Eylül | 2.442.667,24 |
| Ekim | 4.228.715,82 |
| Toplam | 27.609.327,42 |

4.2. Enerji Tüketim-Üretim Arasındaki İlişkinin İncelenmesi

Tablo 1 ve Tablo 2 verileri kullanılarak enerji tüketim miktarı ile üretilen cam arasındaki ilişkinin tespiti için bağımlı ve bağımsız değişkenler belirlendi ve regresyon doğrusu denklemi bulunacaktır.

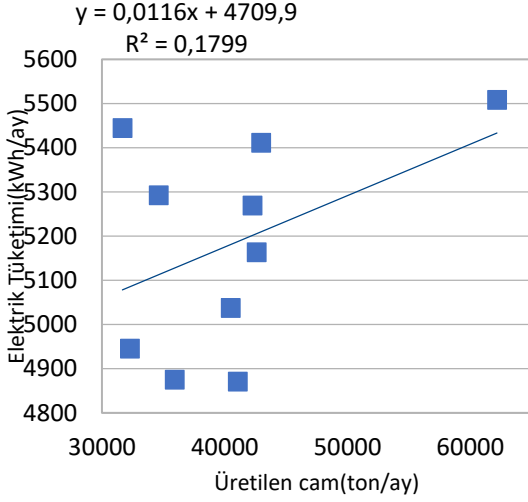
Öncelikle işletmeden m^2 cinsinde alınan veriler ton hesabına çevrilmiştir.

Tablo 3. Enerji tüketim- üretim verileri.

| Ay | X | Y |
|---------|-------|------|
| Ocak | 42577 | 5164 |
| Şubat | 41038 | 4871 |
| Mart | 42956 | 5412 |
| Nisan | 34593 | 5293 |
| Mayıs | 42242 | 5270 |
| Haziran | 40466 | 5038 |
| Temmuz | 32247 | 4946 |
| Ağustos | 31664 | 5445 |
| Eylül | 35907 | 4876 |
| Ekim | 62162 | 5509 |

Tablo 3’te X ile üretim miktarı (ton/Ay) olarak ifade edilirken Y ile Toplam enerji tüketimi (kWh) ifade edilmektedir. Elektrik tüketimi bağımlı değişken (y), üretilen cam ise bağımsız değişkendir(x). Regresyon eğrisi temsil ettiği noktalara mümkün olduğunca yakın mesafeden geçmeye çalışmalıdır. Yani tüm noktaların eğriye olan mesafesi

hesaplanır ve toplam uzaklığı en küçük olan regresyon doğrusu olmaktadır. Bütün noktalar doğru üzerinde olsaydı mükemmel bir regresyon eğrisi olurdu ama bu mümkün değildir.



Şekil 3. Enerji tüketimi ile üretilen cam arasındaki ilişkinin regresyon doğrusu ve denklemi.

Şekil 3 'te belirlilik katsayısının 0.18 çıkması işletmenin 2022 Kasım ayına kadar enerji tüketimindeki değişimin %18'inin üretilen cam ile açıklanmaktadır.

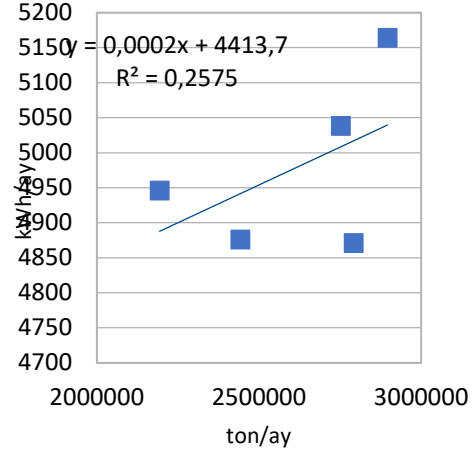
4.3. Standart Denkleme Bağlı Hedef Denklemin Tespit Edilmesi

Standart denklem belirlendikten sonra hedef denklem de belirlenmelidir. Hedef denklem de standartla aynı formda bir denklemdir. O bölümün performansındaki iyileşmeyi göstermektedir.

Hedef denklemin oluşturulması için bağımlı ve bağımsız değişkenler değişmektedir. Standart regresyon doğrusunda eğim altında kalan noktalar işletmenin üretimine bakıldığında enerji tüketiminin en düşük olduğu yerlerdir. Bu noktadaki değerler firmanın şu anki koşullarında sağladığı en iyi enerji tüketim değerleridir. Firmanın tasarruf potansiyelini bulmak amacı ile standart doğrunun altında kalan noktaların verileri Tablo 4'te verilmiştir. Bu veriler kullanılarak hedef denklem ve doğru oluşturulur.

Tablo 4. Standart doğrunun altında kalan veriler.

| X | Y |
|-------|------|
| 42577 | 5164 |
| 41038 | 4871 |
| 40466 | 5038 |
| 32247 | 4946 |
| 35907 | 4876 |

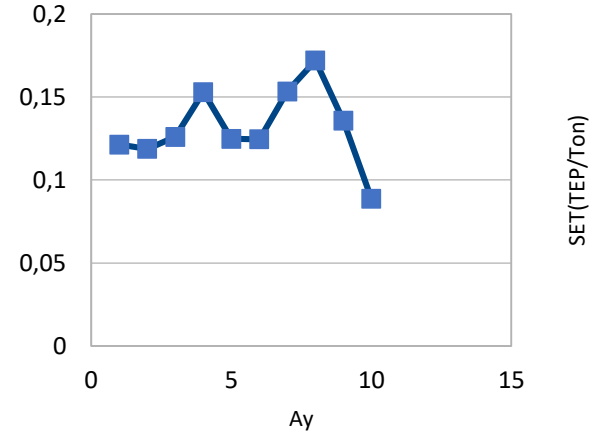


Şekil 4. Enerji tüketimi ile üretilen cam arasındaki ilişkinin hedef doğrusu.

Şekil 4'te regresyon uyumluluk katsayısı R^2 0,26 olarak bulunmuştur. Belirlilik katsayısı 0.26 çıkması işletmenin 2022 Kasım ayına kadar enerji tüketimi değişiminin %26'sının üretilen cam ile açıklanmaktadır.

4.4. SET Değerlerinin Bulunması

Denklemlerle bulunan formül ile aylık SET değerleri Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Aylara göre SET değerleri.

SET değeri en düşük 0,08 TEP/ton ile Ekim ayı olarak bulunmuştur. Bu durum birim üretim gerçekleştirmek için enerji tüketiminin performans açısından en iyi olduğu zaman aralığını göstermektedir. 0,017 TEP/ton değeri ile ağustos ayı ise enerji tüketim performansında en kötü olan zaman aralığını göstermektedir.

Tablo 5. Aylara göre hedef iyileştirme potansiyeli değerleri.

| Ay | Üretim (Ton) | Toplam Enerji Tüketimi (TEP) | Hedef (TEP) | TEP | € |
|---------|--------------|------------------------------|-------------|------|---------|
| Ocak | 42.577 | 5.164 | 4.423 | 741 | 169,424 |
| Şubat | 41.038 | 4.871 | 4.423 | 448 | 102,466 |
| Mart | 42.956 | 5.412 | 4.423 | 989 | 226,156 |
| Nisan | 34.593 | 5.293 | 4.422 | 871 | 199,331 |
| Mayıs | 42.242 | 5.270 | 4.423 | 847 | 199,679 |
| Haziran | 40.466 | 5.038 | 4.423 | 615 | 140,698 |
| Temmuz | 32.247 | 4.946 | 4.421 | 525 | 120,092 |
| Ağustos | 31.664 | 5.445 | 4.421 | 1024 | 234,275 |
| Eylül | 35.907 | 4.876 | 4.422 | 454 | 103,854 |
| Ekim | 62.162 | 5.509 | 4.428 | 1081 | 247,379 |

Tablo 5'te hedef denklemden faydalanarak işletmede üretilen camın ton miktarına göre hedef enerji tüketim miktarları TEP olarak hesaplanmıştır. Toplam enerji tüketimi TEP değerleri ve hedef TEP değerleri arasında oluşan fark, firmanın ay bazında tasarruf potansiyelini vermektedir. Bulunan aylık tasarruf potansiyellerinin toplamı ise 7594,7 TEP olup işletmenin yıllık tasarruf potansiyelini göstermektedir. 2022 Aralık ayı için birim enerjinin maliyeti 0,229 €'dur. Yıllık tasarruf potansiyeli ve birim enerji maliyetinin çarpılması ile işletmenin 2022 yılı kasım ayına kadar olan değerlere göre 17.373 €/Yıl tasarruf potansiyeline sahip olduğu görülmüştür.

4.5. Banyo Alt Kasa Fanları Frekans İvertörü Revizyonu

Düzce Cam 1 no'lu float cam hattında banyo bölümünde kalay banyosunun alt kasını soğutmak için 132 kW gücünde 3 adet fan motoru kullanılmaktadır. Bu fanlar soft starter ile çalıştırılmaktaydı. Frekans inverteri değişimine gitmekteki amaç ihtiyaca göre fan motorlarının frekanslarını değiştirerek hava debisini ayarlamaktır. Bu sayede aynı iş için daha az elektrik tüketimi gerçekleşmektedir. Telemecanique ATS48C250 model soft starter'lar yerine üç adet ABB ACS800-04-0165-3 model frekans inverteri devreye alınmıştır.

Tablo 6. Toplam tasarruf miktarı.

| Fan No | Tasarruf Miktarı (kWh) | Elektrik Birim Fiyatı (€) | Tasarruf Miktarı (€) |
|--------|------------------------|---------------------------|----------------------|
| Fan 1 | 763616 | 0,228 | 174.682 |
| Fan 2 | 745264 | 0,228 | 170.484 |
| Fan 3 | 398640 | 0,228 | 91.191 |

| | | | |
|--------|---------|-------|---------|
| TOPLAM | 1907520 | 0,228 | 436.357 |
|--------|---------|-------|---------|

Aralık 2022 için elektrik kWh fiyatı 0,228 €'dur. Tasarruf miktarları ve elektrik birim fiyatı çarpımı sonucu tasarrufun mali değeri bulunmaktadır.

Tablo 6'da 2013'ten 2022'ye kadarki geçen 9 senedeki toplam tasarruf miktarı 1.907.520 kWh olduğu görülmektedir.

Günümüz elektrik birim fiyatına göre maddi kazanım 436.357 € olmaktadır.

Bir adet frekans inverterinin maliyeti ise günümüz fiyatıyla 10.874 €'dur. Yıllık tasarruf miktarına göre geri ödeme süresi hesaplandığında yatırımın 246 günde kendisini geri ödediği sonucuna Tablo 7'de ulaşılmaktadır.

Tablo 7. İyileştirmenin geri ödeme süresi.

| Fan No | Frekans İvertörü Maliyeti (€) | Yıllık Tasarruf Miktarı (€) | Geri Ödeme Süresi (Yıl) | Geri Ödeme Süresi (Gün) |
|--------|-------------------------------|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Fan 1 | 10.874 | 19.409 | 0,56 | 204 |
| Fan 2 | 10.874 | 18.942 | 0,57 | 210 |
| Fan 3 | 10.874 | 10.132 | 1,07 | 392 |
| TOPLAM | 32.622 | 48.483 | 0,67 | 246 |

Maddi kazanımdan iyileştirme yatırımının maliyetini çıkardığımızda işletmenin 403.736 € net kazancı vardır.

4.6. Aydınlatma Değişimi

Kesim hatları ve Banyo-2 altındaki floresan armatürler sökülerek LED armatür dönüşümüne gidilmiştir. Eski mevcut 2x58 watt etanj armatürler yerine 1x36 W IP65 bant armatür tercih edilmiştir. IP65 LED armatürler tozlu ortamda daha uzun süre çalışmaktadır ve su geçirmez özelliğe sahiptir.

Tablo 8. Konveyör ve banyo alt LED armatür dönüşümleri.

| Konveyörler ve Banyo Altı LED armatür dönüşümleri | | | | | | |
|---------------------------------------------------|------------|------|------------|------------|------|------------|
| Bölge | Eski Durum | | | Yeni Durum | | |
| | Güç watt | Adet | Toplam Güç | Güç watt | Adet | Toplam Güç |
| B1 | 116 | 11 | 1,276 | 36 | 11 | 0,396 |
| B2 | 116 | 5 | 0,58 | 36 | 5 | 0,18 |
| B3 | 116 | 4 | 0,464 | 36 | 4 | 0,144 |
| B4 | 116 | 4 | 0,464 | 36 | 4 | 0,144 |

5. Sonuç

| | | | | | | |
|----|-----|----|--------------|----|----|--------------|
| B4 | 116 | 1 | 0,116 | 72 | 1 | 0,072 |
| B1 | 116 | 9 | 1,044 | 36 | 9 | 0,324 |
| B2 | 116 | 8 | 0,928 | 36 | 8 | 0,288 |
| B3 | 116 | | 0 | | | 0 |
| B4 | 116 | 1 | 0,116 | 36 | 1 | 0,036 |
| B4 | 116 | 1 | 0,116 | 72 | 1 | 0,072 |
| B5 | 116 | | 0 | | | 0 |
| B2 | 116 | 17 | 1,972 | 36 | 17 | 0,612 |
| | | | 7,076 | | | 2,268 |

Tablo 8’de eski ve yeni armatürlerin saatlik harcadıkları güç miktarları bulunmaktadır. Sürekli çalışma durumu göz önüne alındığında toplam saatlik tasarruf miktarı $7,076 - 1,008 = 4,808$ kWh olmaktadır.

Tablo 9. Aydınlatma sisteminden sağlanan tasarruf miktarları.

| | Tasarruf kWh | Elektrik kWh fiyatı | Tasarruf (€) |
|---------|--------------|---------------------|--------------|
| Saatlik | 4,808 | 4,4516 | 1,099 |
| Günlük | 115,392 | 4,4516 | 26,396 |
| Aylık | 3461,76 | 4,4516 | 791,899 |
| Yıllık | 42118,08 | 4,4516 | 9.634 |

Tablo 9’da ise yıllık tasarruf miktarı 42.118 kWh olarak hesaplanmıştır. Günümüz elektrik birim fiyatına göre maddi kazanım 9.634 € olmuştur.

Tablo 10. İyileştirmenin geri ödeme süresi.

| | LED Armatür Maliyeti (€) | Yıllık Tasarruf Miktarı (€) | Geri Ödeme Süresi (Yıl) | Geri Ödeme Süresi (Gün) |
|-------------|--------------------------|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|
| LED Armatür | 783,658 | 9.634 | 0,0813368 | 29,69 |

Projenin geri ödeme süresi Tablo 10’da 30 gün olduğu görülmektedir. Armatür maliyeti de çıkarıldığında net kazanç 8.851 €’dur.

Bu çalışma fabrikanın mevcut tasarruf çalışmalarına katkı sağlamak amacıyla 2022 yılı Kasım ayına kadar olan enerji verileri ile enerji verimliliği çalışmasını kapsamaktadır. Aylık üretilen cam ve enerji tüketim verilerine bağlı standart denklem oluşturulmuştur. Standart doğrunun altında kalan veriler ile hedef denklem belirlenmiştir. Hedef denklemde firmanın aylık olarak yaptığı üretime bağlı hedef enerji tüketim miktarları TEP olarak hesaplanmıştır. Aylık TEP değerleri ile hedef TEP değerleri arasında oluşan fark işletmenin aylık tasarruf potansiyelini vermektedir. İşletmenin toplam tasarruf potansiyeli 7594,7 TEP/yıl olarak hesaplanmıştır. Enerji tasarruf potansiyeli 2022 yılı için bir TEP enerjinin maliyetine göre 17.374 €/yıl olarak hesaplanmıştır.

İşletmede gerçekleştirilen iyileştirmeler incelendiğinde banyo alt kasa fanları frekans invertörü revizyonu ve aydınlatma değişimi projeleri incelenmiştir. Banyo alt kasa değişimi ile 403.736 €, aydınlatma değişimi ile ise 8.851 € tasarrufu sağlanacağı belirlenmiştir.

Enerji tasarrufu yaparak işletmede üretim maliyetlerini düşürülebilir, ülke enerji ihtiyacını azaltıp dışa bağımlılığı azalabilir ve çevre kirliliğinin önüne geçebiliriz. Bunun için enerji tasarrufunu sanayi sektörü gibi yoğun enerji tüketimi olan alanlarda yapmak oldukça önemlidir.

6. Kaynaklar

- [1]. Pamir ve Necdet, 2005. “Enerji Politikaları ve Küresel Gelişmeler”, Küreselleşmenin Enerji Sektöründe Yapısal Değişim Programı ve Enerji Politikaları, Elektrik Mühendisleri Odası, 5. Enerji Sempozyumu Bildiriler Kitabı, s.67
- [2]. Çakal, 2006. Tarım Makinaları İmalatında Enerji Yönetimi Üzerine Bir Araştırma, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi
- [3]. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 1995. “Sanayi Kuruluşlarının Enerji Tüketiminde Verimliliğin Arttırılması için Alacakları Önlemler Hakkında Yönetmelik”
- [4]. Elektrik Mühendisleri Odası; İzmir Şubesi, Ege Bölgesi Enerji Forumu Bildiri Kitabı, İzmir, Mart 2007, s.73
- [5]. Kavak K., 2005. Dünyada ve Türkiye’de Enerji Verimliliği ve Türk Sanayiinde Enerji Verimliliğinin İncelenmesi, Uzmanlık Tezi, İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü
- [6]. Kıyılmaz ve ark, Sanayide Enerji Yönetimi Sistemi için Bir Gıda Tesisinin Enerji Verimliliğinin İyileştirilmesi, International Journal of Pure and Applied Sciences, 7(1):51-62 (2021)
- [7]. Çınar, 2008. Tekstil Sanayisinde Enerji Yönetimi ve Enerji Verimlilik Analizi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri

Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli

[8]. Söğüt ve ark, 2019. Bir Tekstil İşletmesinin Enerji Tüketimi ve Verimlilik Analizi, 14. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı, sf. 1790-1801, 17-20 Nisan

[9]. Akkurt ve Taşdemir, 2020. Muhtelif Altyapı Ürünleri Üreten Bir Döküm Fabrikasının Enerji Etüdü, Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

[10]. Yüksel, 2020. Bir Petro-Kimya Fabrikasının Enerji Verimliliği Etüdü, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

[11]. Işık ve Akan, Bir Kürk – Süt Üretim Fabrikasının Spesifik Enerji Tüketim Yöntemi ile Enerji Tasarruf Potansiyelinin Araştırılması, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Sayı 12, S. 22-26, Nisan 2018

[12]. Söğüt ve Oktay, 2006. Sanayi Sektöründe Enerji Taramasının Enerji Verimliliğine Etkisi ve Bir Uygulama

[13]. Trotta, G., 2020. Assessing energy efficiency improvements and related energy security and climate benefits in Finland: An ex post multi-sectoral decomposition analysis. Energy Economics, 86, p.104640.

[14]. Worrell, E., Galitsky, C. and Price, L., 2008. Energy efficiency improvement and cost saving opportunities for cement making. LBNL-54036-Revision. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California, March.

[15]. Worrell, E. and Galitsky, C., 2005. Energy efficiency improvement and cost saving opportunities for petroleum refineries.

[16]. Reale, F., Calabria, R. and Massoli, P., 2023. Performance Analysis of WHR Systems for Marine Applications Based on sCO₂ Gas Turbine and ORC. Energies, 16(11), p.4320.

[17]. Bozkurt, 2008. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Enerji Verimliliği Açısından Değerlendirilmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Özgeçmişler



İrem Düzdar, 2006 yılında İstanbul Ticaret Üniversitesi'nden endüstri mühendisliği Yüksek Lisans derecesini, 2015 yılında Marmara Üniversitesi Endüstri Mühendisliği doktora derecesini almıştır. İstanbul Ticaret Üniversitesi'nde Avrupa Birliği 6. Çerçeve kapsamında genç araştırmacı olarak görev yapmıştır. Daha sonra İstanbul'daki çeşitli vakıf üniversitelerinin endüstri mühendisliği bölümlerinde 7 yıl öğretim görevlisi olarak görev yapmıştır. 2015 yılından bu yana Düzce Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde görev yapmaktadır. 2023 yılında Üniversiteler Arası Kurul tarafından Nicel Karar Yöntemleri alanında Doçent ünvanını almıştır. Başlıca araştırma alanları arasında endüstriyel uygulamalar ve enerji alanlarında verimlilik, kalite iyileştirme, veri madenciliği ve karar verme yöntemleri yer almaktadır.



Tuğçe Özdemir Cihan, 2018 yılında Afyon Kocatepe Üniversitesi'nden Malzeme Bilimi ve Mühendisliği lisans derecesini almış, 2022 yılında Düzce Üniversitesi'nde Disiplinlerarası Tezli Yüksek Lisans programına başlamıştır. Kariyerine 2016 yılında Tatçelik'te stajyer olarak başlamış ve ardından Erdemir'de 2. Sıcak Haddehane Mühendisliği stajını tamamlamıştır. 2019 yılında Model Granit ve Mermer İmalat Sanayi Ticaret Limited Şirketi'nde Ar-Ge Mühendisi olarak çalışmıştır. 2020-2021 yıllarında Pharma Pazarlama Gıda Kozmetik İç ve Dış Ticaret Anonim Şirketi'nde Seramik Mühendisi olarak görev yapmış, müşteri taleplerine göre seramik ürünlerin Ar-Ge çalışmalarını yürütmüştür. 2021-2022 yıllarında MF Seramik İmalat Pazarlama Sanayi Ticaret Limited Şirketi'nde Ar-Ge ve İşletme Uzmanı olarak çalışmış ve çeşitli seramik ürünlerinin geliştirilmesinde rol almıştır. 2022-2023 yıllarında Düzce Cam Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi'nde Ar-Ge Mühendisi ve Proje Yöneticisi olarak çalışmış, enerji yönetimi ve verimlilik projeleri üzerinde çalışmıştır. Düzce Cam San. ve Tic. A.Ş. Düzce'de bulunan fabrikasında AR-GE Merkezi oluşum aşamasında ki süreçleri takip ederek, yapılmakta olan projelerin yönetim sürecini ele almıştır. Aynı zamanda Enerji Yönetim Biriminde üyeliği bulunmaktadır. 2023 Kasım ayından itibaren Ar-Ge ve Teknokent Serbest Muhasebeci Mali Müşavirlik Limited Şirketi'nde Proje Uzmanı olarak devam etmiştir. Teknoloji ve Sanayi Kuruluşları için Ar-Ge, Tasarım, Yatırım ve İhracat Destekleri Danışmanlık, Teknokent süreçleri, Eğitim Hizmetleri ve Proje Yönetimi ve Hibe/Fon Kaynakları Eğitim hizmetleri konusunda danışmanlık vermiştir. 2024 Mayıs ayından itibaren ATEL Teknoloji ve Savunma Sanayi A.Ş. firmasında Ar-Ge proje mühendisi olarak devam etmektedir. Başlıca araştırma alanları arasında malzeme bilimi, kompozit malzemeler, seramik üretim süreçleri, Ar-Ge Merkezi Faaliyetleri ve enerji verimliliği yer almaktadır.



Elif Akın, 2023 yılında Düzce Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümünden mezun olmuştur. Üniversite hayatı boyunca iki staj görevi gerçekleştirmiştir. İlk stajını cam endüstrisinde Ar-Ge bölümünde gerçekleştirerek lisans bitirme tezini yazmıştır. İkinci stajını bir otomotiv yan sanayi firmasında üretim, kalite ve üretim planlama departmanlarında görev alarak gerçekleştirmiştir. 2023 yılından itibaren Kocaeli'nde bulunan bir ambalaj firmasında üretim planlama mühendisi olarak görev yapmaktadır. Günlük ve haftalık üretimin planlanması, malzeme ihtiyaç planının oluşturulması ve raporlanması, makine verimliliklerinin korunması ve raporlanması, üretim fire oranlarının raporlanması görevlerini üstlenmektedir.