



**T.C.**  
**NECMETTİN ERBAKAN**  
**ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**YILLIK ENERJİ TÜKETİMİ 1.000 TEP ÜZERİ  
BİR SANAYİ İŞLETMESİNİN ENERJİ ETÜDÜ**

**Bekir ÇANKAYA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Temmuz - 2022**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## **DECLARATION PAGE**

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Bekir ÇANKAYA

Tarih: 28.07.2022

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

## YILLIK ENERJİ TÜKETİMİ 1.000 TEP ÜZERİ BİR SANAYİ İŞLETMESİNİN ENERJİ ETÜDÜ

**Bekir ÇANKAYA**

**Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Fatih AYDIN**

**2022, 56 Sayfa**

**Jüri**

**Dr. Öğr. Üyesi Fatih AYDIN**

**Prof. Dr. Hidayet OĞUZ**

**Dr. Öğr. Üyesi Mahmut ÜNALDI**

Ülkemiz enerjide %70 oranında dışa bağımlı bir ülkedir. Cari açığımızın büyük bir kısmını enerji ithalatı oluşturmaktadır. Enerjide dışa bağımlı olduğumuz için yeni enerji kaynakları bulmak kadar, tükettiğimiz enerjiyi de verimli kullanmak çok önemlidir. Ülkemizde konut ve sanayi sektöründe enerji verimlilik potansiyeli oldukça yüksektir. Enerjide ortak birim olarak TEP (Ton Eşdeğer Petrol) kullanılmaktadır. TEP bir ton petrolün yakılması sonucu açığa çıkan enerjidir. 1 TEP 10,000,000 kcal değerine eşittir. Tüm enerji birimleri TEP birimine dönüştürülebilir. Yıllık enerji tüketimi 1000 TEP üstü endüstriyel işletmelerde 4 yılda bir enerji etüdü yapılması zorunludur. Çalışmamızda yıllık enerji tüketimi 1000 TEP üstü bir sanayi tesisinde enerji etüdü yapılmış, tesisin 3 yıllık enerji tüketimi ve enerji maliyeti ayrıntılı bir şekilde incelenmiş, enerji verimlilik potansiyeli araştırılmış, enerji verimliliğini artıracak ve enerji maliyetini azaltacak önerilerde bulunulmuştur. Etüdü yapılan tesisin üretim ile enerji tüketimi arasındaki ilişki incelenerek regresyon analizi yapılarak enerji denklemi oluşturulmuş ve Spesifik Enerji Tüketimi hesaplanmıştır. Yapılan enerji etüdü sonucunda işletmeye önerilen verimlilik artırıcı projeler ile yıllık 128 TEP enerji tasarrufu ve yaklaşık 2,135,000 TL mali tasarruf sağlanabilmektedir. Projelerin toplam yatırım maliyeti yaklaşık 3,000,000 TL'dir. Ayrıca önerilen verimlilik artırıcı projeler ile yıllık 175.52 Ton CO<sub>2</sub> salınımı engellenecektir.

**Anahtar Kelimeler:** Enerji, Enerji Etüdü, Enerji Verimliliği, Enerji Tasarrufu.

## **ABSTRACT**

### **MS THESIS**

# **ENERGY AUDIT OF AN INDUSTRIAL ENTERPRISE WITH ANNUAL CONSUMPTION ABOVE 1.000 TOE**

**Bekir ÇANKAYA**

## **THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN ENERGY SYSTEMS ENGINEERING**

**Advisor: Dr. Fatih Aydın**

**2022, 56 Pages**

**Jury**

**Dr. Fatih AYDIN**

**Prof. Dr. Hidayet OĞUZ**

**Dr. Mahmut ÜNALDI**

Our country is a country that is 70% dependent on foreign energy. A large part of our current account deficit consists of energy imports. Since we are dependent on foreign energy, it is very important to use the energy we consume efficiently as well as to find new energy sources. The energy efficiency potential is quite high in the residential and industrial sectors in our country. TOE (Tonne of Oil Equivalent) is used as a common unit in energy. TOE is the energy released as a result of burning one ton of oil. 1 TOE is equal to 10,000,000 kcal. All energy units can be converted to TOE units. It is obligatory to conduct an energy audit every 4 years in industrial enterprises with an annual energy consumption of more than 1000 TOE. In our study, an energy study was conducted in an industrial facility with an annual energy consumption of more than 1000 TOE, the 3-year energy consumption and energy cost of the facility were examined in detail, the energy efficiency potential was investigated, and suggestions were made to increase energy efficiency and reduce energy costs. A regression analysis was made by examining the relationship between production and energy consumption of the facility that was studied, the energy equation was created and the Specific Energy Consumption was calculated. As a result of the energy study, 128 TOE energy savings and financial savings of approximately 2,135,000 TL can be achieved annually with the efficiency increasing projects proposed to the facility. The total investment cost of the projects is approximately 3,000,000 TL. In addition, annual 175.52 tons of CO<sub>2</sub> emissions will be prevented with the proposed productivity-enhancing projects.

**Keywords:** Energy, Energy Study, Energy Efficiency, Energy Saving

## ÖNSÖZ

Bu tez çalışması Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans programında hazırlanmıştır. Çalışmada “Yıllık Enerji Tüketimi 1.000 TEP Üzeri Bir Sanayi İşletmesinin Enerji Etüdü” ile ilgili uygulamalar araştırılmıştır.

Tez çalışmamda beni yönlendirerek yardımını eksik etmeyen danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Fatih AYDIN ‘a, maddi ve manevi desteğini hiç esirgemeyen, bu güne gelmemde her türlü fedakârlığı yapan anneme, babama ve tüm aileme teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Bekir ÇANKAYA  
KONYA-2022

## İÇİNDEKİLER

|   |   |
|---|---|
| <b>ÖZET .....</b>   | <b>iv</b>                               |
| <b>ABSTRACT.....</b>  | <b>v</b>                                |
| <b>ÖNSÖZ .....</b>  | <b>vi</b>                               |
| <b>İÇİNDEKİLER .....</b>  | <b>vii</b>                              |
| <b>SİMGELER VE KISALTMALAR .....</b>                                  | <b>viii</b>                             |
| <b>1. GİRİŞ .....</b>   | <b>1</b>                                |
| 1.1. Enerji Verimliliği.....  | 3                                       |
| 1.1.1. Dünya’da Enerji Verimliliği .....                              | 4                                       |
| 1.1.2. Türkiye’de Enerji Verimliliği .....                            | 4                                       |
| <b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....</b>                                    | <b>8</b>                                |
| <b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>                                     | <b>12</b>                               |
| 3.1. Çalışmanın Amacı.....  | 12                                      |
| 3.2. Çalışmanın Kapsamı .....   | 12                                      |
| 3.3. Etüt Çalışmasında Kullanılan Cihazlar ve Alınan Ölçümler .....   | 13                                      |
| 3.3.1. Enerji Analizörü.....  | 13                                      |
| 3.3.2. Termal Kamera .....  | 14                                      |
| 3.3.3. Luxmetre .....   | 15                                      |
| 3.4. Referans Değerler Tablosu .....                                  | 16                                      |
| <b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA .....</b>                       | <b>17</b>                               |
| 4.1. Enerji Yönetimi.....   | 17                                      |
| 4.1.1. Endüstriyel İşletmenin Enerji Tüketiminin İncelenmesi .....    | 17                                      |
| 4.1.2. Üretim – Tüketim Analizi .....                                 | 25                                      |
| 4.2. Basınçlı Hava Sistemlerinin İncelenmesi .....                    | 34                                      |
| 4.2.1. Ünite ve Sistem Tarifi.....                                    | 34                                      |
| 4.2.2. Yapılan Ölçümler ve/veya Alınan Değerler .....                 | 35                                      |
| 4.2.3. Hesaplamalar ve Değerlendirmeler .....                         | 36                                      |
| 4.2.4. Öneriler, Enerji Tasarruf İmkanları ve Miktarları .....        | 38                                      |
| 4.3. Termal Kayıpların İncelenmesi .....                              | 39                                      |
| 4.3.1. Yalıtımsız Boru ve Yalıtımsız Vanalarda Isı Kaybı Hesabı ..... | 42                                      |
| 4.4. Aydınlatma Sisteminin incelenmesi .....                          | 44                                      |
| <b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>                                  | <b>50</b>                               |
| <b>6. KAYNAKLAR .....</b>   | <b>52</b>                               |
| <b>EKLER .....</b>  | <b>55</b>                               |
| <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>   | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

|                 |  |
|-----------------|--|
| "               | : inç  |
| \$              | : Dolar  |
| %               | : Yüzde  |
| €               | : Euro   |
| °C              | : Derece   |
| µm              | : Mikrometre   |
| ABD             | : Amerika Birleşik Devletleri                          |
| Bar             | : Basınç birimi  |
| cal             | : kalori   |
| cm              | : Santimetre   |
| CO <sub>2</sub> | : Karbon dioksit                                       |
| COP             | : Klimada verimlilik göstergesi (Performans Katsayısı) |
| dk              | : dakika   |
| DN              | : Diameter Nominal (Nominal Çap)                       |
| EFF1            | : Yüksek Verimli Motor                                 |
| EFF2            | : Standart Verimli Motor                               |
| EFF3            | : Düşük Verimli Motor                                  |
| EİGM            | : Enerji İşleri Genel Müdürlüğü                        |
| EnYS            | : Enerji Yönetim Sistemi                               |
| EVD             | : Enerji Verimlilik ve Danışmanlık                     |
| g               | : Gram   |
| Hz              | : Hertz  |
| IE1             | : Standart Verimli Motor (eski standartlara göre EFF2) |
| IE2             | : Yüksek Verimli Motor (eski standartlara göre EFF1)   |
| IE3             | : Çok Yüksek Verimli Motor                             |
| IE4             | : Süper yüksek Verimli Motor                           |
| IEA             | : Uluslararası Enerji Ajansı                           |
| ISO             | : International Organization for Standardization       |
| kB              | : kilobyte   |
| kcal            | : kilo kalori  |
| kcal/h          | : kilokalori / saat                                    |

|                    |                                    |
|--------------------|------------------------------------|
| kW                 | : kilowatt                         |
| kWh                | : kilowatt saat                    |
| kWh/m <sup>2</sup> | : kiloWatt / metrekare             |
| kWh/yıl            | : kiloWatt saat / yıl              |
| l                  | : Litre                            |
| l/dk               | : Litre / dakika                   |
| m <sup>2</sup>     | : metrekare                        |
| m <sup>3</sup>     | : metreküp                         |
| m <sup>3</sup> /dk | : metreküp / dakika                |
| MB                 | : Megabyte                         |
| mm                 | : milimetre                        |
| MWh                | : Mega Watt Saat                   |
| nZES               | : Neredeyse Sıfır Enerji           |
| R <sup>2</sup>     | : Regresyon Uyumluluk Katsayısı    |
| SET                | : Spesifik Enerji Tüketimi         |
| Sm <sup>3</sup>    | : Standart Metreküp                |
| TEP                | : Ton Eşdeğer Petrol               |
| TL                 | : Türk Lirası                      |
| TL/TEP             | : Türk Lirası / Ton Eşdeğer Petrol |
| VAP                | : Verim Artırıcı Proje             |

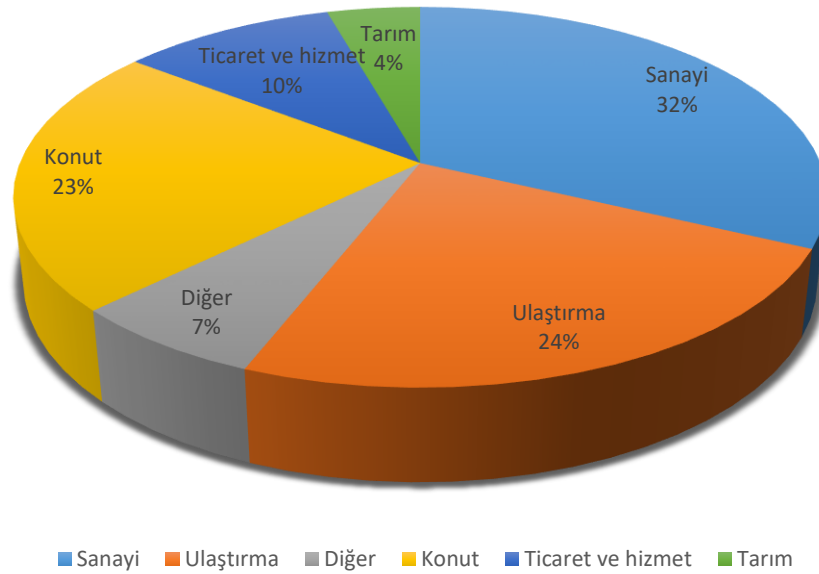
## 1. GİRİŞ

Temel anlamda enerji, iş yapabilme yeteneğidir. Doğrudan ölçülemeyen, fiziğin temel büyüklüklerindedir. Max Plank enerjiyi “bir sistemin kendisi dışında etkinlik üretme yeteneği” ifadesi ile tanımlamıştır. Enerji farklı biçimlerde ortaya çıkabilir veya kullanılabilir. Enerji yaygın olarak; mekanik (kinetik ve potansiyel), elektrik, ısı, kimyasal, manyetik ve nükleer enerji biçiminde ortaya çıkar veya kullanılır. Sistem iş yaparken bu enerji türlerinden bir kısmını veya tamamını kullanabilir. Enerjide ortak bir birim olarak “Ton Eşdeğer Petrol” kullanılır (Kıyılmaz, 2019).

TEP (Ton Eşdeğer Petrol) enerji kaynaklarının tek bir birimde ifade edilmesini sağlayan ve enerji, üretim ve tüketim hesaplarında kullanılan önemli bir birimdir. TEP bir ton petrolün yakılması sonucu oluşan enerjiyi tanımlar. 1 TEP 10,000,000 kcal’ye ve yaklaşık 11,630 MWh değerine eşittir. TEP dönüşüm formülü Denklem 1.1’de verilmiştir.

$$TEP = \frac{\text{Tüketim miktarı (verilen birimde)} \times \text{Isıl değer}}{10000000 \text{ kcal}} \quad (1.1)$$

Enerji İşleri Genel Müdürlüğü (EİGM) İstatistik verilerine göre; Türkiye’de en yüksek enerji tüketimi %32 ile sanayi sektöründedir. Sanayi sektörünü %24 ile ulaştırma, %23 ile konut, %10 ile ticaret ve hizmet sektörleri takip etmektedir. Enerji tüketiminde en fazla yere sahip olan sanayi sektöründe enerji verimlilik çalışmaları Türkiye’de enerji verimliliğine önemli katkı sağlayacaktır (Şekil1.1) (Anonim, 2022)



**Şekil 1.1.** 2020 Ulusal Enerji Denge Tablosu (Anonim, 2022)

Enerji; sanayi, ulaşım, madencilik ve ticari binalarda çok önemli bir role sahiptir (Sitorus et al., 2020). Enerjinin kaliteli, güvenli, devamlı ve çevreye duyarlı bir şekilde elde edilmesi, insanların refah düzeylerini ve yaşam seviyelerini arttıracaktır. Ülkelerin ekonomik olarak büyüebilmeleri için devamlı ve sürekli üretim yapmaları gerekir. Bu sebeple, üretim için önemli bir gereksinim olan enerjinin ucuz olması ve güvenle sağlanması gerekir (Haydaroğlu, 2006).

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde nüfus artışı, ekonomik büyüme, yaşam standartlarındaki ve binaların içinde geçirilen zamandaki artış nedeniyle enerji tüketiminde sürekli bir artış söz konusudur. Uluslararası Enerji Ajansına (IEA) göre; 2040 yılına kadar küresel enerji talebi mevcut tüketime göre %30, küresel elektrik talebi ise %60 artacak ve toplam nüfus 9 milyarı aşacaktır (Al-Badi and Al-Saadi, 2020). Dolayısıyla, gelecek nesiller için enerjiyi etkin kullanmak ve enerji tasarrufuna önem vermek çok önemlidir (Balan and Yashvanth, 2020).

Günümüzde, enerji taleplerinin büyük bir kısmını karşılayan fosil yakıtların tüketimleri hızlı bir şekilde artmaktadır. Ekonomisi hızlı gelişen ülkelerin fosil yakıt tüketim talepleri daha fazladır. Fakat fosil yakıtların rezervleri aynı oranda artmamaktadır. Enerjiye karşı talep sabit kalsa bile, fosil yakıt rezervleri sınırlı olduğundan, yakın zamanda tükeneceği tahmin edilmektedir (Yıldız ve ark., 2018). Fosil kaynaklı yakıtların hızlı bir şekilde tüketiliyor olması, ülkemizin enerji alanında %70 oranında dışarıya bağımlı olması, enerji üretim ve tüketimi sırasında ortaya çıkan sera

gazı salınımı iklim değişikliğine ve küresel ısınmaya neden olması gibi sebeplerle enerji üretimi ve enerji tüketiminde enerji verimliliğinin önemi daha da artmaktadır (Karyeyen ve ark., 2012).

### **1.1. Enerji Verimliliği**

Enerji verimliliği, 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanun’unda “Binalarda yaşam standardı ve hizmet kalitesini, endüstriyel işletmelerde ise üretim kalitesi ile miktarını düşürmeden, birim veya ürün miktarı başına enerji tüketiminin azaltılmasıdır” şekilde tanımlanmaktadır (Anonim, 2007).

Sanayide enerji verimliliği, üretim kalitesini ve üretim miktarını düşürmeden, refah seviyesini ve ekonomik kalkınmayı engellemeden, enerji tüketimini en aza indirmektir (Uzun ve Değirmen, 2018). Başka bir ifadeyle enerji verimliliği, üretimi azaltmadan buhar, hava, ısı ve gaz gibi enerji kullanımlarında enerji kayıplarını engellemek ve ileri teknolojik ekipmanlar kullanarak çeşitli atık enerjilerin geri kazanımları gibi etkinliği yükseltici ve enerji ihtiyacını azaltıcı önlemler bütünü olarak izah edilebilir (Tekkol, 2019).

Gelişmiş ülkelerin çoğunun ülke politikasında enerji verimliliği önemli bir yere sahiptir. Enerji verimliliği, ticari ve endüstriyel rekabeti ve enerji güvenliğini artırır. Ayrıca CO<sub>2</sub> salınımını azaltarak çevre kirliliğini de azaltır. Enerji verimliliği ülkemiz için çok önemli olup hem ekonomimizin sürdürülebilir büyümesini sağlayacak hem de sektörel rekabeti yükseltecektir. Dünyadaki birincil enerji kaynakları hızla tükenmektedir ve yeni enerji kaynakları aranmaktadır. Bu yönüyle enerji verimliliğini bir enerji kaynağı olarak değerlendirebiliriz. Yapılan çalışmalarda ülkemizde hem sanayide hem de konutta büyük enerji verimlilik potansiyelleri bulunmaktadır (Yıldız ve ark.,2018).

Bazı endüstriyel işletmelerde gerçekte gerekli olan enerjiden daha fazla enerji kullanılmakta ve enerjinin bir kısmı da boşa harcanmaktadır. Bunun nedeni eski, verimsiz ekipmanların ve üretim sürecinde eski teknolojilerin kullanılmasıdır. Enerji tasarrufu ve enerjinin verimli kullanılması çok önemlidir. Verimli ekipman kullanılmasının amacı, yakıttan olası tüm enerjiyi kullanmaktır. Bu, daha yüksek üretkenliğe yol açar ve sadece para tasarrufu sağlamaz. Aynı zamanda ekipmanın ömrünü ve güvenliğini de etkiler. Çevre kirliliğini azaltır. Dünya çapında, ülkelere ve sektöre özgü analizler, sanayi sektöründe önemli enerji verimliliği iyileştirme fırsatlarının bulunduğunu göstermektedir. Bunların çoğu düşük maliyetlidir. (Muhammad et al., 2020).

### 1.1.1. Dünya’da Enerji Verimliliği

Sanayi devriminden bu yana dünyada ülkeler enerji kaynaklarına sahip olmak için birbirleri ile rekabet etmektedirler, bu rekabet sonucunda dünyada enerji savaşları görülmektedir. Ekonomik olarak büyük öneme sahip olan enerji, dünya siyasetini yönlendirmektedir. Fosil yakıtların bulunduğu bölgeler genelde siyasi olarak hep gergin bölgelerdir (Yüksel, 2020).

1973 yılında dünyada yaşanan petrol kriziyle, enerji fiyatlarında büyük dalgalanmalar olmuştur. Bu fiyat dalgalanmalarını kontrol altına alabilmek ve sürdürülebilir kalkınmayı sağlamak için sürdürülebilir enerjiye ihtiyaç duyulmuştur. Sürdürülebilir enerji sağlamak ve enerjide dışa bağımlılığı düşürmek için yenilenebilir enerji ve enerji verimliliği üzerine yoğun çalışmalar yapılmaktadır (Haydaroğlu, 2006). Dünyada enerji verimlilik çalışmalarında en aktif olan ve somut sonuç alan ülkelerin başında ABD gelmektedir. 1973 yılındaki petrol krizinden sonra ABD ekonomisi %126 büyüyken enerji tüketimi yalnızca %30 artmıştır (Küçükyağlıoğlu, 2020).

Dünyada enerji kaynaklarının azalması, dünya nüfusunun ve sanayileşmenin artması enerjinin verimli kullanılmasının önemini artırmıştır. Enerjiyi verimli kullanmak için yapılan çalışmalar önemli hale gelmiştir. Enerji verimliliğini artırmak, fosil yakıtlara bağımlılığı azaltacak ve enerji arz güvenliğini sağlayacaktır. Dünya genelinde enerji verimlilik kültürü oluşturulmalı ve sürekli iyileştirme sağlanmalıdır. 1980’li yıllarda iklim değişikliği nedeniyle enerji ve çevre birlikte incelenmeye başlamıştır (Koçak, 2020).

### 1.1.2. Türkiye’de Enerji Verimliliği

Enerji verimliliği konusunda Türkiye’de uzun yıllardır çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar sonucunda enerji verimliliği hakkında kanun ve yönetmelikler oluşturulmuştur. Yürürlüğe giren bazı yönetmelik ve kanunlar yayınlanma tarihlerine göre aşağıda sıralanmıştır.

- **2 Mayıs 2007** - Enerji Verimliliği Kanunu, Kanun No: 5627
- **09 Ekim 2008** - Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği, Sayı: 27019
- **5 Aralık 2008** - Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği, Sayı: 27075
- **27 Ekim 2011** - Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik, Sayı: 28097

27 Ekim 2011 tarihli ve 28097 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan “Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik” in 9. maddesinde endüstriyel işletmelerde ve binalarda enerji yöneticisi görevlendirilmesi ve enerji yönetim birimi kurulmasıyla ilgili hükümler bulunmaktadır. “Yıllık toplam enerji tüketimi bin TEP ve üzeri olan endüstriyel işletmelerde, üst yönetim çalışanlar arasından enerji yöneticisi sertifikasına sahip birisini enerji yöneticisi olarak görevlendirir. Çalışanları arasından görevlendirmenin mümkün olmadığı hallerde, EVD şirketleriyle sözleşme yapılmak suretiyle hizmet alınır.” Diğer bir hüküm ise binalarda enerji yöneticisi görevlendirilmesiyle alakalıdır. Bu hüküm de şu şekildedir; “ Toplam inşaat alanı en az 20,000 m<sup>2</sup> veya yıllık toplam enerji tüketimi 500 TEP ve üzeri olan ticari binaları ve hizmet binaları ile toplam inşaat alanı en az 10,000 m<sup>2</sup> veya yıllık toplam enerji tüketimi 250 TEP ve üzeri olan kamu kesimi binalarında çalışanları arasından enerji yöneticisi sertifikasına sahip birisini enerji yöneticisi olarak görevlendirir. Çalışanları arasından görevlendirmenin mümkün olmadığı hallerde, enerji yöneticileri veya EVD şirketleriyle ile sözleşme yapılmak suretiyle hizmet alınır. Bu şekilde enerji yöneticisi sertifikası sahibi bir kişi tarafından verilebilecek hizmet, üç bina ile sınırlıdır.” Enerji yönetim birimi kurma zorunluluğu olan işletmeler, kamu kesimi dışında kalan ve yıllık toplam enerji tüketimleri 50,000 TEP ve üzeri olan endüstriyel işletmelerdir. Aynı yönetmeliğin 8. maddesinde enerji yöneticisi bulundurması zorunlu olan; yükümlü kamu binaları, ticari ve hizmet binaları, elektrik üretim tesisleri ile endüstriyel işletmeler ve enerji yönetim birimi kurmakla yükümlü organize sanayi bölgeleri ile endüstriyel işletmelere ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi belgesi alma zorunluluğu getirilmiştir.

27 Ekim 2011 tarihli ve 28097 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan “Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik” in 11. maddesinde enerji yöneticisi eğitimleri hakkında hükümler bulunmaktadır. Buna göre enerji yöneticiliği eğitimine katılabilmek için mühendislik alanında veya teknik eğitim fakültelerinin makine, elektrik, mekatronik veya elektrik-elektronik bölümlerinde en az lisans düzeyinde eğitim almış olmak gerekmektedir. Bakanlığın yetkilendirmiş olduğu kurumlardan gerekli eğitimi aldıktan sonra bakanlığın düzenlediği merkezi sınavda başarılı olarak enerji yöneticilik sertifikasını almaya hak kazanır.

27 Ekim 2011 tarihli ve 28097 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan “Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik” in 10. maddesinde enerji verimliliğini artırıcı önlemler hakkında hükümler bulunmaktadır. Buna göre yıllık toplam enerji tüketimi 1000 TEP ve üzeri olan

endüstriyel işletmeler 4 yılda bir EVD şirketlerine etüt yaptırır veya çalışanları arasında sanayi etüt-proje sertifikasına sahip personel bulunması durumunda etüdü kendi yapar. Toplam inşaat alanı 20,000 m<sup>2</sup> veya yıllık toplam enerji tüketimi 500 TEP'in üzerinde olan ticari binalar ve hizmet binaları her 7 yılda bir EVD şirketlerine etüt yaptırır veya çalışanları arasında bina etüt-proje sertifikasına sahip personel bulunması durumunda etüdü kendi yapar.

27 Ekim 2011 tarihli ve 28097 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan “Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik” in 30. maddesinde kamu kesiminde enerji verimliliğini artırıcı önlemler hakkında hükümler bulunmaktadır. Buna göre Enerji yöneticisi görevlendirmekle yükümlü kamu binalarında etüt yaptırılması zorunludur. Bu etütler kamu binasının bağlı olduğu kurum ve kuruluşlar tarafından EVD şirketlerine yaptırılır veya çalışanları arasında bina etüt-proje sertifikasına sahip personel bulunması durumunda kurum ve kuruluşların kendisi yapar. Bu etütler her yedi yılda bir yenilenir. 3 yılın altında geri ödeme süresi olan projeler etüdün tamamlanmasını takip eden en geç dört yıl içerisinde uygulanır ve uygulama sonuçları Bakanlığa gönderilir (Anonim, 2011).

2 Mayıs 2007 tarihli 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanununun 8. maddesinde Verim Artırıcı Projelerin (VAP) proje bedelleri en fazla 1,000,000 TL olarak belirlemiş ve destek oranı %20 olarak belirlenmiştir (Anonim, 2007).

Proje bedeli limiti en fazla beş katına kadar, destek oranı ise en fazla iki katına kadar çıkarma yetkisi Cumhurbaşkanına verilmiştir. 13.3.2019 tarihli ve 819 Sayılı Cumhurbaşkanı kararıyla proje bedeli 1,000,000 TL'den 5,000,000 TL'ye çıkarılmış ve destek oranı ise %20'den % 30 'a çıkarılmıştır (Anonim, 2019).

27 Ekim 2011 tarihli ve 28097 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan “Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik” in ilgi maddelerine göre VAP destekleri hakkında şu bilgiler bulunmaktadır. VAP desteklerinden yararlanmak isteyen endüstriyel işletmeler EVD şirketlerine hazırlattıkları projeleri herhangi bir döneme tabi olmaksızın Enerji Bakanlığına sunarlar. VAP desteğine başvuru yapacak işletmenin ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemine sahip olması veya bu sistemi kurmaya başlamış olması gerekmektedir. Yıllık enerji tüketimi 500 ile 1000 TEP arasında olan endüstriyel işletmeler VAP desteğine başvurabilmesi için ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemine sahip olmalı veya sistemi kurmaya başlamış olmalıdır. Başvurular aynı endüstriyel işletme için azami beş proje ile sınırlıdır. Endüstriyel işletmelerin daha önce destekleme kararı alınmış ve uygulaması devam eden projeleri bu

sayıya dâhildir. Ancak, uygulamasının tamamlandığı Bakanlığa bildirilen projeler bu sayıya dâhil değildir. VAP desteğine kabul edilen projeler, başlangıç tarihinden itibaren başlayarak iki yıl içinde uygulanır. İki yıl içinde projesini uygulamayan veya uygulandığını süresi içinde Bakanlığa bildirmeyen endüstriyel işletmelere destek ödemesi yapılmaz. Enerji kazancının projedeki miktarının yüzde doksanınin altında gerçekleştiği tespit edilen proje veya proje bileşenleri desteklenmez. Başvurusu kabul edilmiş, değerlendirilmiş ve desteklenmesi kararlaştırılmış olsa dahi, ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi belgesine sahip olunmadıkça destek ödemesi yapılmaz (Anonim, 2011).



## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

**Hadra 2018**, çalışmasında Çubuk Haddehanesinde enerji etüdü yapmıştır. Bu etüt kapsamında Çubuk Haddehanesinde tav fırınında yüzey izolasyon kontrolleri, tav fırını baca gazı ve tav fırını soğutma suyunda, kompresörlerde, basınçlı hava hatlarında, pompalarda, tav fırını yakma hava fanında ve hidrolik motorlarda enerji ölçümleri yapmış ve ölçüm sonuçlarını değerlendirerek ve gerekli hesapları yaparak verimsizlikler tespit etmiştir. Bu verimsizliklerin giderilmesi için projeler oluşturmuştur. Bu projelerin uygulanması durumunda yıllık 1,767,120 kWh enerji tasarrufu ve 441,780 TL maddi tasarruf sağlanacağını öngörmüştür. Projelerin ortalama geri dönüş süresini 1.26 yıl olarak hesaplamıştır. Ayrıca projelerin hayata geçirilmesi sonucunda yıllık CO<sub>2</sub> salınımının 1030 ton azalacağını öngörmüştür.

**Tosun 2018**, çalışmasında kamu kurumlarını ilgilendiren enerji mevzuatını özetlemiş, kamu kurumlarında uygulanabilecek etüt formu ve Kalorifer Yakma Talimatı oluşturmuştur. Enerji Yönetim Sistemi kurulabilmesi için ve Verimlilik Artırıcı Projeler (VAP) hazırlamak için örnek şablonlar oluşturmuştur. Çalışmasında Konya ili Selçuklu Belediye Hizmet Binasında Enerji Etüdü yapmış, Enerji Yönetim Sistemi kurarak enerji el kitabı oluşturmuştur. 2015, 2016 ve 2017 yıllarına ait binanın enerji giderlerinde toplamda %78 oranında tasarruf yapılabileceğini öngörmüş ve bunu VAP projesi olarak hazırlamıştır.

**Yıldız ve diğerleri 2018**, çalışmasında sanayide enerji verimliliği konusunda geniş bilgiler vermiştir. Ayrıca Türkiye’de sanayide yapılmış enerji verimlilik çalışmaları örneklerine yer vermiştir. Yapılan uygulamaları, uygulama maliyetini, uygulama sonucunda oluşacak enerji verimliliklerini tablo haline getirmiş ve durum değerlendirmesinde bulunmuştur.

**Taşdemir 2019**, çalışmasında muhtelif alt yapı ürünleri üreten bir döküm fabrikasında detaylı enerji etüdü gerçekleştirmiştir. Yaptığı incelemelerde enerjinin boşa harcandığı kaynakları, verimli çalışmayan ekipmanları ve kaçak gerçekleşen enerji noktalarını tespit etmiştir. Eksiklerin giderilmesi yönelik enerjinin verimli kullanımı hakkında öneri ve projeler ortaya koymuştur. Bu projelerin uygulanması durumunda yıllık 23.16 TEP (Ton Eşdeğer Petrol) enerji tasarrufu ve 63,286 TL maddi tasarruf sağlayacağını öngörmüştür. Projeler uygulanması durumunda yıllık 126.76 ton CO<sub>2</sub> salınımının azalacağını öngörmektedir.

**Toköz ve Özgün 2019**, atık ısı geri kazanım sistemleri üzerine daha önce yapılan çalışmalarını sınıflandırarak incelemişlerdir. Örnek bir vaka çalışmasında, doğalgaz yakıtlı bir kazanın, baca gazı ısı geri kazanım potansiyelini araştırmışlardır ve atık baca gazı ısılarından yararlanarak ısı geri kazanım sistemi tasarlamışlardır. Tasarladıkları sistemin, ısı transfer analizleri, enerji analizleri, enerji maliyet analizlerini yapmışlardır. 15 yıllık ekonomik ömrü boyunca Net Bugünkü Değer metodu ile 1,121,410 TL yatık tasarrufu olacağını öngörmüşlerdir.

**Al-Badi ve Al-Sadi 2020**, Umman'da DesginBuilder programını kullanarak bir binada enerji tasarruf potansiyelini hesaplamışlardır. Duvarlarda ve çatıda ısı yalıtımı yapılması, yüksek performanslı camlama, dış gölgeleme, aydınlatmada daha verimli olan LED lambaların kullanılması ve enerji tasarruflu klima gibi çeşitli enerji verimliliği önlemleri uygulandığında, toplam enerji tüketiminde %37 azalma olacağını öngörmüşlerdir. 6 kW fotovoltaik sistem kurarak ve güneş enerjili su ısıtıcısı sistemi ekleyerek yıllık tüketimi yarıdan fazla azaltabileceğini öngörmüşlerdir.

**Attia ve diğerleri 2020**, Bu çalışmada, Belçika genelinde çeşitli bölgelerde bulunan otuza yakın Neredeyse Sıfır Enerji Okulunun (nZES) enerji kullanım yoğunluğu ve enerji kullanım dağılımı dört yıllık bir ölçüm verilerine göre tahmin etmişler ve karşılaştırılmışlardır (2015–2018). EnergyPlus yazılımı kullanılarak iki temsili referans modeli oluşturulmuşlar ve kalibre etmişlerdir. Oluşturulan her iki referans modelin, Belçika'da 2015 ve 2018 yılları arasında inşa edilen neredeyse Sıfır Enerji Okullarının enerji performansını değerlendirmede iyi bir geçerliliğe sahip olduğunu görmüşlerdir. Modeller güvenilir ve tutarlıdır, ayrıca gelecekteki bina enerji modelleyicileri ve uzmanları tarafından da kullanılabilir.

**Doğmuş 2020**, çalışmasında tarımsal sulamada kullanılan suyun büyük kısmının yer altı sularından sağlanan Konya ili, Çumra İlçesinde yer alan Alibeyhüyüğü Bölgesinin pompaj sistemlerini incelemiştir. Bu bölgede sulamada enerji kullanımını araştırmış, enerji verimliliği açısından mevcut durumu ve sulama sistemlerinin revizyonu ile verimliliği artırmayı amaçlamıştır. İhtiyaçtan fazla kapasiteli motor ve pompalar tercih edilmesi, kullanım alanı dikkate alınmadan sabit hız ve frekansta pompa kullanılması gibi yanlış kullanımların önüne geçilerek, verimli pompa ve ekipmanlar kullanılarak enerji maliyetlerinin azaltılmasını hedeflemiştir. Bölgede seçilen örnek bir sulama sisteminde yapılacak iyileştirmeler ve revizyonlar sonucunda %20 oranında elektrik enerjisinden tasarruf sağlanabileceğini öngörmüştür.

**Muhammad ve diğeri 2020**, Nijerya'nın Kano eyaletinde bir tabakhane şirketinde enerji denetimi ve yönetimi hakkında çalışma yapmışlardır. Tabakhane şirketinin enerji tüketim modelini oluşturmak için 5 yıllık süre boyunca (2012-2016) yakıt tüketimini, elektrik faturalarını incelemişler ve enerji denetim sonuçlarını raporlamışlardır. Ayrıca, enerji son kullanıcılarının tüketimini ve şirketin performansını değerlendirmek için enerji modelleme sistemi olan Energy Quick Energy Simulation Tool (eQUEST) programını kullanmışlardır. Yıllık elektrik enerjisi tüketiminin %97.63'ü şebekeden, %2.37 ise dizel güç jeneratöründen sağlandığını tespit etmişlerdir. Enerji modelleme ve simülasyon sonuçlarına göre yıllık enerji kullanımının %27'si klimada, %2'si havalandırma fanında, %39'u fabrika makinelerinde, %4'ü heat rejectionda, %2'si pompa ve yardımcı ekipmanlarda ve %26'sı da aydınlatmada kullanıldığını tespit etmişlerdir.

**Sitorus ve diğeri 2020**, çalışmada Endonezya'da bulunan Pertamina TBBM Krueng Raya ofis binasında enerji denetimi yapmışlardır. Binanın elektrik enerjisi kullanımı 42,617 kWh/yıl, inşaat alanının 259.18 m<sup>2</sup> olduğu tespit etmişlerdir. Binanın enerji tüketim yoğunluğu yıllık 164.43 kWh/m<sup>2</sup> olarak hesaplamışlardır. İnceleme sonunda; klimaların COP (performans) değerlerini koruması için düzenli bakımının yapılmasını, oda sıcaklığının 23°C – 25°C aralığına sabitlenmesini önermişlerdir.

**Ruşen ve Çevik 2020**, çalışmalarında Karaman ilindeki bir gıda fabrikasında enerji verimlilik çalışması yapmışlardır. Çalışma kapsamında, fabrikada detaylı enerji ölçümleri yaparak fabrikanın enerji verimlilik potansiyelini ortaya koymuşlardır. Yaptıkları incelemelerde termal kayıpların yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Yalıtım sistemi uygulaması sonucu sistemin geri ödeme süresinin 0.25 yıl olduğunu ve uygulama sonrası ısı kaybını %89 oranında azalacağını öngörmüşlerdir. Kazan sistemlerinde brülör ayarının yapılması ile kazan veriminin %5.2 oranında artacağını tespit etmişlerdir.

**Bayraktar 2021**, çalışmasında genel olarak enerjinin en yoğun olarak kullanıldığı maden sektöründe enerji verimliliği konusunu araştırmıştır. Örnek bir maden işletmesinde enerji verimliliği ölçümleri gerçekleştirmiş, enerji verimlilik projeleri oluşturmuş, bu projelerin tasarruf miktarlarını ve geri ödeme sürelerini hesaplamıştır. Hava kaçaklarından yıllık yaklaşık 150,000 kWh enerji kaybı olduğunu ve kaçakların giderilmesiyle yıllık yaklaşık 87,000 TL mali kazanç sağlanacağını öngörmüştür. Sıcak yağ kazanında yanma ayarının yapılmasıyla yaklaşık 55,000 kWh/yıl enerji tasarrufu sağlanacağını hesaplamıştır. Yüksek verimli fan kanatları sayesinde hava debisinde

herhangi bir kayıp yaşanmadan fan güç tüketimlerinde en az %10 oranında düşüş sağlanabileceğini tespit etmiştir. Buna göre fan kanatlarının daha verimli fan kanatlarıyla değiştirilmesiyle yaklaşık 173,000 kWh/yıl enerji tasarrufu sağlanacağını öngörmüştür.

**Günay 2021**, çalışmasında ticari bir bina olan otel işletmesinde detaylı bir enerji etüdü yapmıştır. Enerji tasarrufu potansiyeli belirlemiş, enerji verimliliğinin artırılmasına ve enerji tüketiminin maliyetlerinin azaltılmasına yönelik alınabilecek önlemler tespit etmiştir ve öneriler sunmuştur. Sıcak su hatlarında termal kamera ile ölçümler yapmış ve tesisatta yalıtımsız ekipmanlar tespit etmiştir. Bu ekipmanların ısı yalıtımı yapıldığında enerji tüketiminde % 17 azalma olacağını hesaplamıştır. İşletmedeki verim sınıfı düşük motorların verim sınıfı yüksek motorlarla değişimiyle % 6 ile %7 arasında motor verimlerinin artacağını tespit etmiştir. İşletmede bulunan verimsiz ampullerin verimli led armatürlerle değiştirilmesiyle yıllık yaklaşık 19,160 kWh elektrik enerjisinden tasarruf edileceğini hesaplamıştır.

**Kıyılmaz ve diğerleri 2021**, çalışmalarında gıda sektöründe faaliyet gösteren bir dondurma fabrikasında ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi (EnYS) uygulamışlar ve enerji etüdü yapmışlardır. Çalışma kapsamında iki yıllık enerji tüketimi ile enerji maliyetlerini belirlemişler, enerji yönetimi konusunda işletmenin bulunduğu nokta ve yapılacak iyileştirmeleri incelemişler, enerji tasarrufu konusunda alınacak önlemleri, yapılabilecek verimlilik artırıcı uygulamaları ve projeleri araştırmışlardır. İncelemeler sonucunda 473 TEP enerji tasarruf edilebileceğini ve bu tasarruf edilen enerji ile yıllık 1.200 Ton karbon salınımının engelleneceğini öngörmüşlerdir.

**Kocabaş 2021**, çalışmasında bir tekstil fabrikasında distilasyon prosesinde kullanılmakta olan buhar kazanındaki kayıpları ayrıntılı bir şekilde irdelemiş ve bu kayıpları; proses kayıpları, kazan kayıpları ve dağıtım kayıpları olarak üç ana başlıkta incelemiştir. Her bir kayıp türünü ayrı ayrı hesaplamış ve kazan verimini %80 olarak hesaplamıştır. Kayıpların azaltılması ve verimin artırılması için kalite/süreç iyileştirmesi yönteminden faydalanmıştır. Sistemde iyileştirme önerilerinde bulunmuş, bu önerilerin ekonomik analizlerini yapmış ve geri ödeme süresini hesaplamıştır. Önerilen iyileştirmeler kazanda uygulandığı zaman kazan veriminin %96'ya yükseleceğini, yakıtta %16.8 oranında tasarruf sağlanıp 587 ton CO<sub>2</sub> salınımının önüne geçileceğini öngörmüştür.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Enerji tüketiminin önemli bir kısmını oluşturan sanayide enerji verimliliği konusu altındaki araştırmamızda, örnek bir sanayi tesisinde detaylı enerji etüdü yapılmıştır. Tez çalışmasında tesiste enerji verimliliği potansiyelleri belirlenmiş, üretim ile enerji tüketimi arasındaki ilişki gözlemlenip tesisin Spesifik Enerji Tüketimi (SET) hesaplanmış, enerji tüketimi ve enerji maliyetlerinin azaltılması için öneriler sunulmuştur.

Tez çalışması kapsamında, yıllık enerji tüketimi 1,000 TEP üstü olan bir gıda işletmesinde Haziran 2022’de enerji verimlilik ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

#### 3.1. Çalışmanın Amacı

Enerjinin verimli kullanılabilmesi için ölçme, analiz etme ve tasarruf noktaları belirleme en önemli adımlardır. Enerji etütleri bu bağlamda endüstriyel işletmelerin atacakları ilk adım olmalıdır. Yapılan etüt çalışmasında işletmenin enerji verimlilik potansiyelini çıkarmak, işletmenin Spesifik Enerji Tüketimini artıracak enerji verimlilik projeleri ortaya koyup enerji maliyetlerini azaltmak amaçlanmıştır.

#### 3.2. Çalışmanın Kapsamı

Çalışma kapsamında:

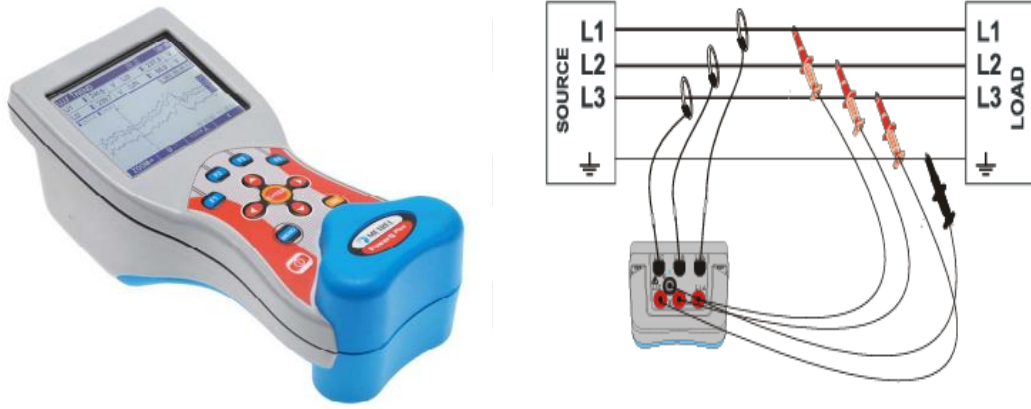
- İşletmenin 2018 - 2019 ve 2020 yıllarındaki enerji tüketimi ve enerji maliyetleri ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir.
- İşletmenin 2018 - 2019 ve 2020 yıllarındaki üretim ve enerji tüketim değerleri ayrıntılı bir şekilde incelenmiş, arasındaki bağlantı araştırılmış, Spesifik Enerji Tüketimleri belirlenmiştir.
- İşletmenin 2018 - 2019 ve 2020 yıllarında üretim ile enerji tüketimi arasındaki ilişkisi incelenmiş, regresyon analizi yapılarak enerji denklemi oluşturulmuştur.
- İşletmedeki basınçlı hava sistemleri ve kompresörlerin atık ısıları incelenmiştir.
- İşletme genelinde termal taraması yapılmış ve ısı yalıtımı olmayan noktalara yalıtım önerilerinde bulunulmuştur.
- İşletmedeki verimsiz aydınlatma sistemleri incelenmiş ve yerlerine verimli aydınlatma sistemleri olan LED armatürler önerilmiştir.

### 3.3. Etüt Çalışmasında Kullanılan Cihazlar ve Alınan Ölçümler

Etüt çalışmasında kullanılan cihazlar aşağıda verilmiştir.

#### 3.3.1. Enerji Analizörü

Enerji etüdü yapılan sanayi tesisinde, kompresörlerin elektrik tüketimi Metrel marka MI2492 model enerji analizörüyle ölçülmüştür. Enerji analizörünün halka şeklindeki akım probaları ölçüm yapılacak cihazın besleme kablosuna kabloya herhangi bir müdahale yapmadan kablonun üstünden takılır. Üç fazlı sistemlerde üç halka ayrı ayrı üç faza da takılır. Timsah ağızlı gerilim probaları ise cihazın besleme barasına takılır. Şekil 3.1’de enerji analizörünün resmi ve enerji analizörünü bağlantı şeması verilmiştir. Çizelge 3.1’de ise enerji analizörünün teknik bilgileri verilmiştir.



Şekil 3.1. Enerji Analizörü ve Bağlantı Şekli

Çizelge 3.1. Enerji Analizörü Teknik Bilgi (Metrel, 2013)

| Özellik           | Birim          | Değer          |
|-------------------|----------------|----------------|
| Harici DC Besleme | Volt           | 12             |
|                   | mili amper     | 400            |
| Pil Ömrü          | Saat           | 12             |
| Harmonik          | Derece         | 50             |
| Hafıza            | 8              | MB             |
| Boyut             | Y x G x U (mm) | 220 x 115 x 90 |
| Ağırlık           | gr             | 650            |
| Ekran             | LCD, 160 X 160 |                |
| Yazılım           | Power Q        |                |

### 3.3.2. Termal Kamera

Enerji etüdü yapılan sanayi tesisinde, termal kayıpların belirlenmesi için Testo marka 875-1i model termal kamera cihazı kullanılmıştır. Şekil 3.2’de termal kamera, Çizelge 3.2’de termal kameranın teknik özellikleri sunulmuştur.



Şekil 3.2. Termal Kamera

Çizelge 3.2. Termal Kamera Teknik Bilgi (Testo, 2012 a)

| Özellik                   | Birim                       | Değer           |
|---------------------------|-----------------------------|-----------------|
| Sıcaklık                  | Çalışır Halde (°C)          | -15 ile 40      |
|                           | Depolama (°C)               | -30 ile 60      |
| Hava Nemi Nem             | %                           | 20 ile 80       |
| Ekran                     | 3.7 " LCD, 320 x 240 piksel |                 |
| Ölçüm Sıcaklığı           | °C                          | -20 ile +350    |
| Yazılım                   | IR Soft PC                  |                 |
| Çalışma Süresi ( Pil)     | Saat                        | 4               |
| Boyut                     | Y x G x U (mm)              | 152 x 108 x 262 |
| Ağırlık                   | g                           | 900             |
| Doğruluk                  | °C                          | ± 2 °C veya % 2 |
| Görüntü yenileme hızı     | Hz                          | 9 ile 33        |
| Isı Duyarlılığı           | 30 °C hedef sıcaklığında    | <0.05           |
| Kızılötesi Spektrum Bandı | µm                          | 8 ile 14        |
| Minimum Odak Mesafesi     | cm                          | 40              |

### 3.3.3. Luxmetre

Enerji etüdü yapılan sanayi tesisinde, tesis genelinde verimsiz aydınlatma armatürlerinin aydınlatma şiddetini ölçmek için Testo marka 540 Luxmetre kullanılmıştır. Şekil 3.3’de Testo 540 Luxmetre, Çizelge 3.3’de Luxmetrenin teknik özellikleri sunulmuştur.



Şekil 3.3. Luxmetre

Çizelge 3.3. Luxmetre Teknik Bilgi (Testo, 2012 b)

| Özellik       | Birim                  | Değer         |
|---------------|------------------------|---------------|
| Sıcaklık      | Çalışma sıcaklığı (°C) | 0 ile 50      |
|               | Depolama (°C)          | -40 ile 70    |
| Boyut         | Y x G x U (mm)         | 133 x 46 x 25 |
| Pil Ömrü      | Saat                   | 200           |
| Ölçüm hızı    | Saniye                 | 0.5           |
| Ağırlık       | g                      | 95            |
| Ölçüm Aralığı | Lux                    | 0 ile 100000  |
| Çözünürlük    | 1 Lux                  |               |

### 3.4. Referans Değerler Tablosu

Çizelge 3.4’de hesaplamalarda kullanılan referans değerler tablosu görülmektedir.

Çizelge 3.4. Referans Değerler Tablosu

| Miktar | Birim                    | Değerler   | Birim               |
|--------|--------------------------|------------|---------------------|
| 1      | TEP                      | 10,000,000 | kCal                |
| 1      | kWh                      | 860        | kCal                |
| 1      | m <sup>3</sup> Doğalgaz  | 8,250      | kCal                |
| 1      | m <sup>3</sup> Doğalgaz  | 0.215      | kg CO <sub>2</sub>  |
| 1      | kWh Elektrik             | 0.535      | kg CO <sub>2</sub>  |
| 1      | kWh Elektrik             | 2.10       | TL/kWh              |
| 1      | Sm <sup>3</sup> Doğalgaz | 12.30      | TL/ Sm <sup>3</sup> |
| 1      | USD                      | 16.7       | TL                  |
| 1      | EUR                      | 17.5       | TL                  |

## 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

### 4.1. Enerji Yönetimi

Enerji etüdü yapılan işletmenin yıllık enerji tüketimi 1000 TEP üstü olduğu için enerji yöneticisi buldurması, ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi kurması ve dört yılda bir enerji etüdü yaptırması zorunludur. İşletme daha önceki yıllarda zorunlu enerji etüdü yaptırmıştır. İşletmede enerji yöneticisi bulunmakta ve işletme ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi bulunmaktadır.

#### 4.1.1. Endüstriyel İşletmenin Enerji Tüketiminin İncelenmesi

Enerji etüdü yapılan işletmenin üç yıllık (2018 – 2019 – 2020) enerji tüketimi ve enerji maliyetleri incelenmiştir. Enerji etüdü yapılan işletmenin 2018 yılı elektrik tüketimi ve maliyeti Çizelge 4.1’te verilmiştir.

Çizelge 4.1. Endüstriyel İşletmenin 2018 Yılı Elektrik Tüketimi ve Maliyetleri

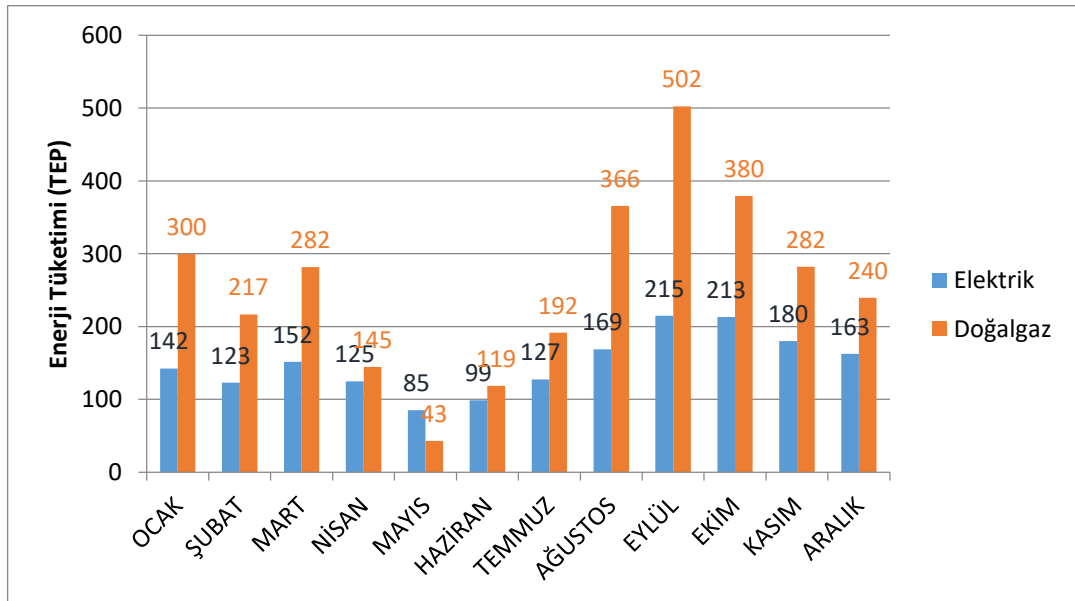
| AYLAR           | Elektrik Tüketimi |              | Maliyet (TL)     |
|-----------------|-------------------|--------------|------------------|
|                 | (kWh)             | TEP          |                  |
| <b>OCAK</b>     | 1,655,716         | 142          | 561,355          |
| <b>ŞUBAT</b>    | 1,430,297         | 123          | 485,202          |
| <b>MART</b>     | 1,762,072         | 152          | 597,751          |
| <b>NİSAN</b>    | 1,449,667         | 125          | 505,670          |
| <b>MAYIS</b>    | 992,542           | 85           | 346,216          |
| <b>HAZİRAN</b>  | 1,151,666         | 99           | 401,722          |
| <b>TEMMUZ</b>   | 1,481,357         | 127          | 608,082          |
| <b>AĞUSTOS</b>  | 1,962,277         | 169          | 780,293          |
| <b>EYLÜL</b>    | 2,497,406         | 215          | 1,108,283        |
| <b>EKİM</b>     | 2,478,634         | 213          | 1,305,833        |
| <b>KASIM</b>    | 2,096,885         | 180          | 1,103,278        |
| <b>ARALIK</b>   | 1,890,559         | 163          | 1,015,571        |
| <b>TOPLAM</b>   | <b>20,849,077</b> | <b>1,793</b> | <b>8,819,256</b> |
| <b>ORTALAMA</b> | <b>1,974,344</b>  | <b>149</b>   | <b>734,938</b>   |

Enerji etüdü yapılan işletmenin 2018 yılı doğalgaz tüketimi ve maliyeti Çizelge 4.2’te verilmiştir.

Çizelge 4.2. Endüstriyel İşletmenin 2018 Yılı Doğalgaz Tüketimi ve Maliyetleri

| AYLAR           | Doğalgaz Tüketimi |              | Maliyet (TL)     |
|-----------------|-------------------|--------------|------------------|
|                 | Sm <sup>3</sup>   | TEP          |                  |
| OCAK            | 363,340           | 300          | 352,854          |
| ŞUBAT           | 262,616           | 217          | 255,037          |
| MART            | 341,399           | 282          | 331,546          |
| NİSAN           | 175,306           | 145          | 186,299          |
| MAYIS           | 52,020            | 43           | 56,121           |
| HAZİRAN         | 144,008           | 119          | 153,039          |
| TEMMUZ          | 232,253           | 192          | 246,817          |
| AĞUSTOS         | 443,142           | 366          | 535,177          |
| EYLÜL           | 608,960           | 502          | 836,080          |
| EKİM            | 460,039           | 380          | 746,156          |
| KASIM           | 341,905           | 282          | 554,549          |
| ARALIK          | 290,498           | 240          | 471,171          |
| <b>TOPLAM</b>   | <b>3,715,486</b>  | <b>3,065</b> | <b>4,724,847</b> |
| <b>ORTALAMA</b> | <b>309,624</b>    | <b>255</b>   | <b>393,737</b>   |

Şekil 4.1’de işletmenin 2018 yılı aylık enerji tüketimlerinin grafiği verilmiştir. Bütün aylarda doğalgaz tüketimi, elektrik tüketiminden yaklaşık iki kat yüksek olduğu görülmektedir.



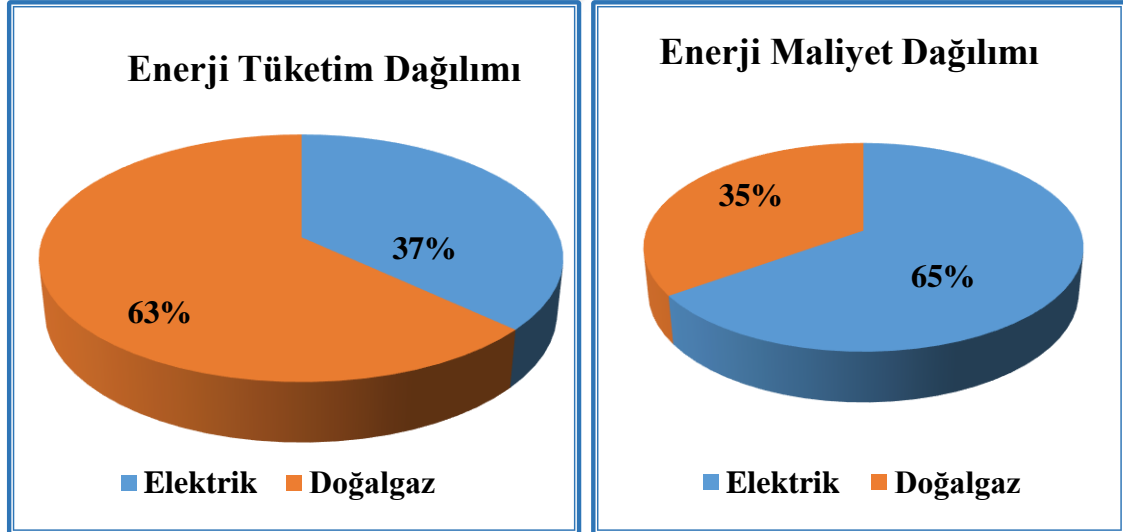
Şekil 4.1. Endüstriyel İşletmenin 2018 Yılı Aylık Enerji Tüketimi

Çizelge 4.3’de işletmenin 2018 yılı yıllık enerji tüketimi ve maliyetler bilgileri verilmiştir.

**Çizelge 4.3. 2018 Yılı Yıllık Enerji Tüketimi ve Maliyet Bilgileri**

| Enerji Türü | Tüketim    |       |       |          | Maliyet    |          | Birim Maliyet |
|-------------|------------|-------|-------|----------|------------|----------|---------------|
|             | Miktar     | Birim | TEP   | % Toplam | TL         | % Toplam | TL/TEP        |
| Elektrik    | 20,849,077 | kWh   | 1,793 | 37       | 8,819,256  | 65       | 4,919         |
| Doğalgaz    | 3,715,486  | Sm3   | 3,065 | 63       | 4,724,847  | 35       | 1,541         |
| Toplam      | -          | -     | 4,858 | 100      | 13,544,104 | 100      | -             |

2018 yılında işletmede toplam 4,858 TEP enerji tüketimi gerçekleşmiştir. Enerji Tüketiminin % 63’ü doğalgaz olurken, % 37’si elektrik enerjisi olmuştur. Doğalgaz tüketimi daha fazla olmasına rağmen enerji maliyetinin % 35’ini doğalgaz, % 65’i elektrik oluşturmaktadır. Bunun sebebi elektriğin birim enerji maliyetinin (TL/TEP) doğalgazın birim enerji maliyetinden yüksek olmasıdır. Şekil 4.2’de işletmenin 2019 yılı yıllık elektrik tüketimi ve maliyet dağılımı grafiği verilmiştir.



**Şekil 4.2. 2018 Yılı Tesis Enerji Tüketimi ve Maliyet Dağılımı**

Çizelge 4.4’de işletmenin 2019 yılı yıllık enerji tüketimi ve maliyetleri verilmiştir.

Çizelge 4.4. Endüstriyel İşletmenin 2019 Yılı Elektrik Tüketimi ve Maliyetleri

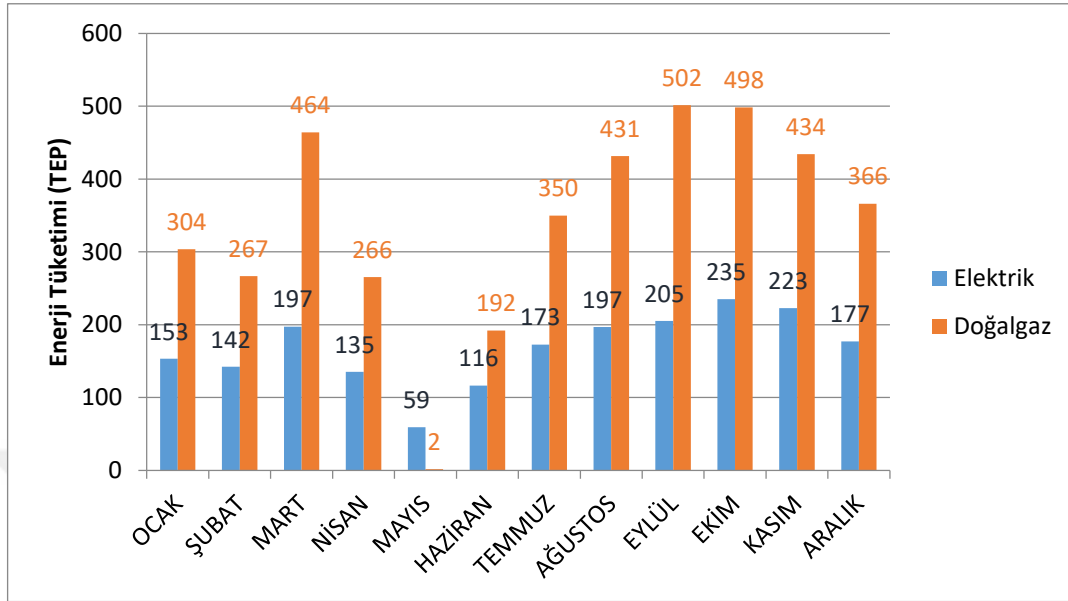
| AYLAR           | Elektrik Tüketimi |              | Maliyet (TL)      |
|-----------------|-------------------|--------------|-------------------|
|                 | (kWh)             | TEP          |                   |
| OCAK            | 1,782,618         | 153          | 785,486           |
| ŞUBAT           | 1,653,310         | 142          | 877,796           |
| MART            | 2,295,638         | 197          | 1,192,384         |
| NİSAN           | 1,571,757         | 135          | 753,244           |
| MAYIS           | 687,456           | 59           | 436,713           |
| HAZİRAN         | 1,352,836         | 116          | 801,836           |
| TEMMUZ          | 2,008,580         | 173          | 1,171,948         |
| AĞUSTOS         | 2,289,561         | 197          | 1,340,174         |
| EYLÜL           | 2,388,311         | 205          | 1,314,292         |
| EKİM            | 2,734,844         | 235          | 1,555,945         |
| KASIM           | 2,589,880         | 223          | 1,492,135         |
| ARALIK          | 2,058,986         | 177          | 1,137,784         |
| <b>TOPLAM</b>   | <b>23,413,776</b> | <b>2,014</b> | <b>12,859,739</b> |
| <b>ORTALAMA</b> | <b>1,951,148</b>  | <b>168</b>   | <b>1,071,645</b>  |

Enerji etüdü yapılan işletmenin 2019 yılı doğalgaz tüketimi ve maliyeti Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5. Endüstriyel İşletmenin 2019 Yılı Doğalgaz Tüketimi ve Maliyetleri

| AYLAR           | Doğalgaz Tüketimi |              | Maliyet (TL)     |
|-----------------|-------------------|--------------|------------------|
|                 | Sm <sup>3</sup>   | TEP          |                  |
| OCAK            | 368,233           | 304          | 597,253          |
| ŞUBAT           | 323,071           | 267          | 524,003          |
| MART            | 562,544           | 464          | 912,413          |
| NİSAN           | 321,915           | 266          | 522,128          |
| MAYIS           | 2,199             | 2            | 3,566            |
| HAZİRAN         | 232,865           | 192          | 377,694          |
| TEMMUZ          | 424,149           | 350          | 687,945          |
| AĞUSTOS         | 522,869           | 431          | 970,518          |
| EYLÜL           | 608,067           | 502          | 1,128,657        |
| EKİM            | 603,961           | 498          | 1,121,037        |
| KASIM           | 526,446           | 434          | 977,157          |
| ARALIK          | 443,991           | 366          | 824,110          |
| <b>TOPLAM</b>   | <b>4,940,311</b>  | <b>4,076</b> | <b>8,646,482</b> |
| <b>ORTALAMA</b> | <b>411,693</b>    | <b>340</b>   | <b>720,540</b>   |

Şekil 4.3’de işletmenin 2019 yılı aylık enerji tüketimlerinin grafiği verilmiştir. Bütün aylarda doğalgaz tüketimi, elektrik tüketiminden fazladır.



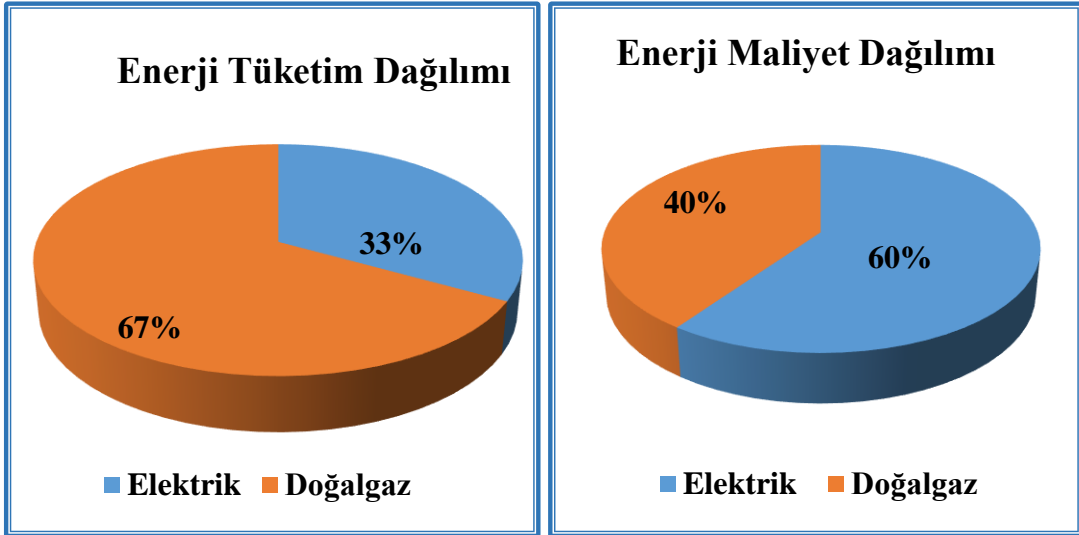
Şekil 4.3. Endüstriyel İşletmenin 2019 Yılı Aylık Enerji Tüketimi

Çizelge 4.6’da işletmenin 2019 yılı yıllık enerji tüketimi ve maliyet bilgileri verilmiştir.

Çizelge 4.6. 2019 Yılı Yıllık Enerji Tüketimi ve Maliyet Bilgileri

| Enerji Türü | Tüketim    |                 |       |          | Maliyet    |          | Birim Maliyet |
|-------------|------------|-----------------|-------|----------|------------|----------|---------------|
|             | Miktar     | Birim           | TEP   | % Toplam | TL         | % Toplam | TL/TEP        |
| Elektrik    | 23,413,776 | kWh             | 2,014 | 33       | 12,859,739 | 60       | 6,386         |
| Doğalgaz    | 4,940,311  | Sm <sup>3</sup> | 4,076 | 67       | 8,646,482  | 40       | 2,121         |
| Toplam      | -          | -               | 6,089 | 100      | 21,506,220 | 100      | -             |

2019 yılında işletmede toplam 6,089 TEP enerji tüketimi gerçekleşmiştir. 2019 yılında 2018 yılına göre enerji tüketimi %25 artmıştır. 2019 yılı enerji tüketiminin % 67’si doğalgaz olurken, % 33’ü elektrik enerjisi olmuştur. Doğalgaz tüketimi daha fazla olmasına rağmen enerji maliyetinin % 40’ını doğalgaz, % 60’ını elektrik oluşturmaktadır. Şekil 4.4’de işletmenin 2019 yılı yıllık elektrik tüketimi ve maliyet dağılımı grafiği verilmiştir.



Şekil 4.4. 2019 Yılı Tesis Enerji Tüketimi ve Maliyet Dağılımı

Çizelge 4.7’de işletmenin 2020 yılı yıllık enerji tüketimi ve maliyetleri verilmiştir.

Çizelge 4.7. Endüstriyel İşletmenin 2020 Yılı Elektrik Tüketimi ve Maliyetleri

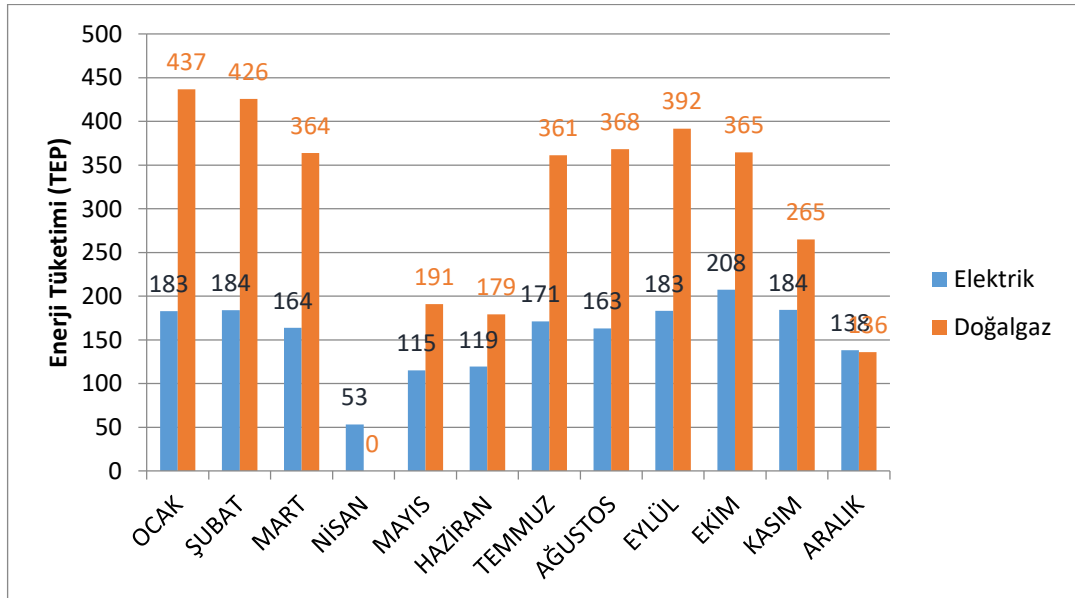
| AYLAR           | Elektrik Tüketimi |              | Maliyet (TL)      |
|-----------------|-------------------|--------------|-------------------|
|                 | (kWh)             | TEP          |                   |
| OCAK            | 2,128,702         | 183          | 1,066,598         |
| ŞUBAT           | 2,140,428         | 184          | 1,090,305         |
| MART            | 1,906,166         | 164          | 916,085           |
| NİSAN           | 619,778           | 53           | 427,431           |
| MAYIS           | 1,337,837         | 115          | 756,653           |
| HAZİRAN         | 1,389,021         | 119          | 806,164           |
| TEMMUZ          | 1,991,987         | 171          | 1,018,597         |
| AĞUSTOS         | 1,898,598         | 163          | 1,025,350         |
| EYLÜL           | 2,132,624         | 183          | 1,125,209         |
| EKİM            | 2,413,400         | 208          | 1,358,495         |
| KASIM           | 2,142,784         | 184          | 1,116,740         |
| ARALIK          | 1,607,815         | 138          | 839,177           |
| <b>TOPLAM</b>   | <b>21,709,140</b> | <b>1,867</b> | <b>11,546,805</b> |
| <b>ORTALAMA</b> | <b>1,809,095</b>  | <b>156</b>   | <b>962,234</b>    |

Enerji etüdü yapılan işletmenin 2020 yılı doğalgaz tüketimi ve maliyeti Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Endüstriyel İşletmenin 2020 Yılı Doğalgaz Tüketimi ve Maliyetleri

| AYLAR           | Doğalgaz Tüketimi |              | Maliyet (TL)     |
|-----------------|-------------------|--------------|------------------|
|                 | Sm <sup>3</sup>   | TEP          |                  |
| OCAK            | 529,664           | 437          | 833,157          |
| ŞUBAT           | 516,275           | 426          | 812,096          |
| MART            | 441,254           | 364          | 694,088          |
| NİSAN           | 0                 | 0            | 0                |
| MAYIS           | 231,743           | 191          | 364,531          |
| HAZİRAN         | 217,268           | 179          | 341,759          |
| TEMMUZ          | 437,772           | 361          | 622,949          |
| AĞUSTOS         | 446,295           | 368          | 621,510          |
| EYLÜL           | 475,038           | 392          | 675,978          |
| EKİM            | 441,974           | 365          | 628,929          |
| KASIM           | 321,215           | 265          | 457,089          |
| ARALIK          | 165,018           | 136          | 234,818          |
| <b>TOPLAM</b>   | <b>4,223,514</b>  | <b>3,484</b> | <b>6,286,904</b> |
| <b>ORTALAMA</b> | <b>351,960</b>    | <b>290</b>   | <b>523,909</b>   |

Şekil 4.5'te işletmenin 2020 yılı aylık enerji tüketimlerinin grafiği verilmiştir. Bütün aylarda doğalgaz tüketimi, elektrik tüketiminden fazladır.



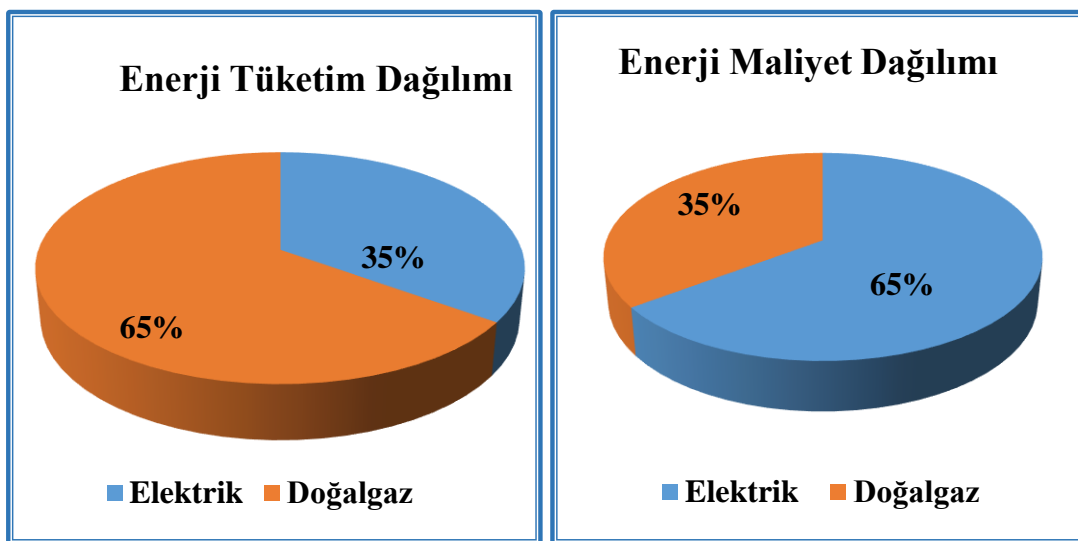
Şekil 4.5. Endüstriyel İşletmenin 2020 Yılı Aylık Enerji Tüketimi

Çizelge 4.9'da işletmenin 2020 yılı yıllık enerji tüketimi ve maliyet bilgileri verilmiştir.

**Çizelge 4.9.** 2020 Yılı Yıllık Enerji Tüketimi ve Maliyet Bilgileri

| Enerji Türü | Tüketim    |                 |       |          | Maliyet    |          | Birim Maliyet |
|-------------|------------|-----------------|-------|----------|------------|----------|---------------|
|             | Miktar     | Birim           | TEP   | % Toplam | TL         | % Toplam | TL/TEP        |
| Elektrik    | 21,709,140 | kWh             | 1,867 | 35       | 11,546,805 | 65       | 6,185         |
| Doğalgaz    | 4,223,514  | Sm <sup>3</sup> | 3,484 | 65       | 6,286,904  | 35       | 1,804         |
| Toplam      | -          | -               | 5,351 | 100      | 17,833,709 | 100      | -             |

2020 yılında işletmede toplam 5,351 TEP enerji tüketimi gerçekleşmiştir. 2020 yılı Enerji tüketimi 2018 yılına %14 artmış, 2019 yılına göre ise %17 azalmıştır. Enerji Tüketiminin % 65'i doğalgaz olurken, % 35'i elektrik enerjisi olmuştur. Doğalgaz tüketimi daha fazla olmasına rağmen enerji maliyetinin % 35'ini doğalgaz, % 65'i elektrik oluşturmaktadır. Bunun sebebi elektriğin birim enerji maliyetinin (TL/TEP) doğalgazın birim enerji maliyetinden yüksek olmasıdır. Son aylarda enerjiye üst üste gelen zamlar, işletmenin giderlerinde enerji giderinin payını daha fazla artırmaktadır. Bu nedenle enerjide yapılacak tasarruf ve verimlilik çalışmaları, birim ürün başına enerji tüketimini azaltacaktır. Enerji tüketiminin azalmasıyla; en büyük girdi maliyetlerinden biri olan enerji maliyetleri de azalacaktır. Şekil 4.6'da işletmenin 2020 yılı yıllık elektrik tüketimi ve maliyet dağılımı grafiği verilmiştir.



**Şekil 4.6.** 2020 Yılı Tesis Enerji Tüketimi ve Maliyet Dağılımı

#### 4.1.2. Üretim – Tüketim Analizi

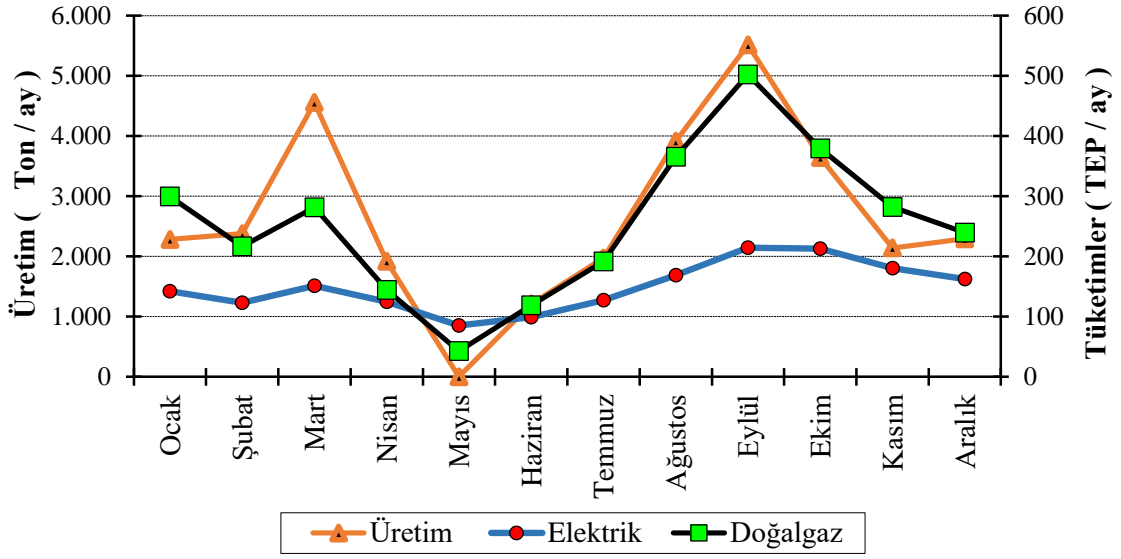
Tüketimle birlikte üretimdeki değişmelerin de dikkate alınması gerekir ve bunun için her aya ait "Spesifik Enerji Tüketimi" (SET) hesaplanmalıdır. Spesifik enerji tüketimi, bir birim ürün elde etmek için kullanılan enerji miktarıdır. Eğer Spesifik Enerji Tüketimi azaltılırsa, aynı miktarda ürünü üretmek için daha az enerji kullanılacaktır. Diğer bir deyişle enerji verimliliği artacaktır. Endüstriyel işletmenin üç yıllık (2018 – 2019 – 2020) üretim – tüketim analizi yapılmıştır.

Çizelge 4.10'da işletmenin 2018 yılı aylık toplam enerji tüketimi ve üretim değerleri verilmiştir.

**Çizelge 4.10.** 2018 Yılı Aylık Enerji Tüketimi ve Üretim Değerleri

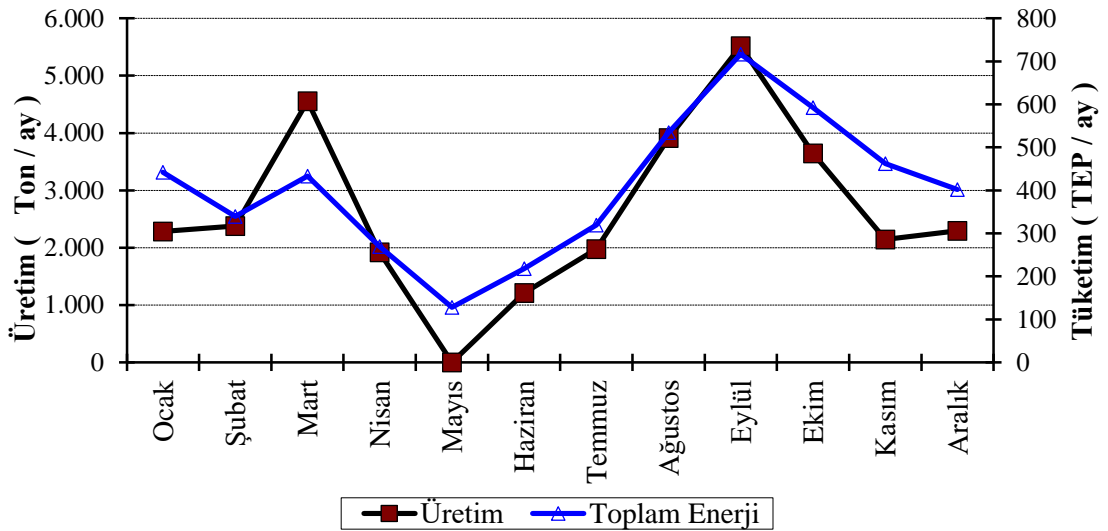
| Aylar           | Üretim (Ton)  | Enerji Tüketimi (TEP) |
|-----------------|---------------|-----------------------|
| Ocak            | 2,283         | 442                   |
| Şubat           | 2,378         | 340                   |
| Mart            | 4,557         | 433                   |
| Nisan           | 1,920         | 269                   |
| Mayıs           | 0             | 128                   |
| Haziran         | 1,211         | 218                   |
| Temmuz          | 1,975         | 319                   |
| Ağustos         | 3,915         | 534                   |
| Eylül           | 5,518         | 717                   |
| Ekim            | 3,644         | 593                   |
| Kasım           | 2,142         | 462                   |
| Aralık          | 2,293         | 402                   |
| <b>Toplam</b>   | <b>31,836</b> | <b>4,858</b>          |
| <b>Ortalama</b> | <b>2,653</b>  | <b>405</b>            |

Şekil 4.7'de işletmenin 2018 yılı üretim ile elektrik ve doğal gaz tüketiminin aylara göre dağılımı verilmiştir. Doğalgaz tüketimi mayıs ayı hariç bütün aylarda elektrik tüketiminden fazla olduğu gözlemlenmiştir. 2018 yılı mayıs ayında işletme revizyona girdiğinden üretim yapılmamıştır.



Şekil 4.7. 2018 Yılı Üretim ve Enerji Tüketimlerinin Aylara Göre Dağılımı

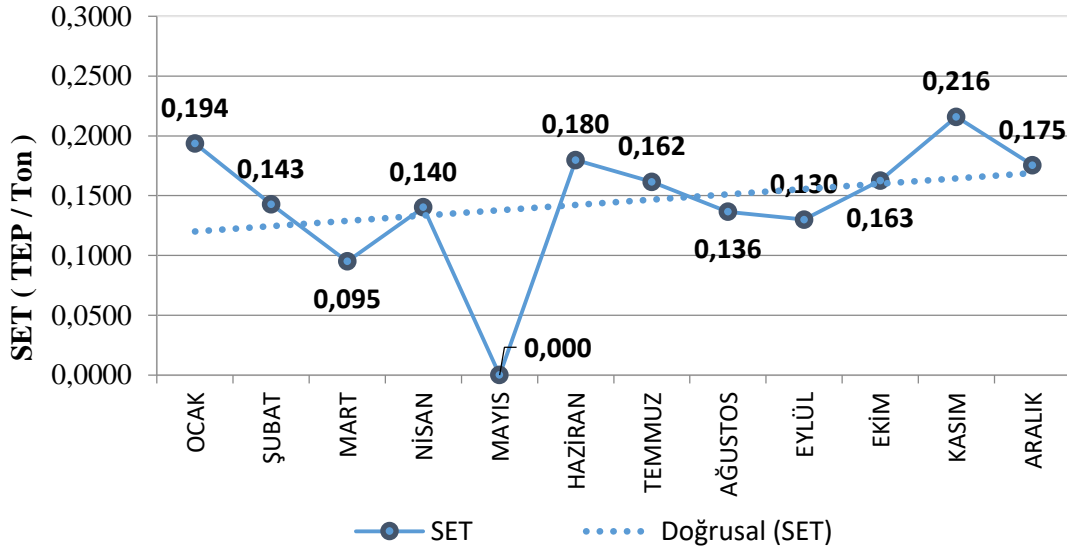
Şekil 4.8'de işletmenin 2018 yılı üretim ve toplam enerji tüketimlerinin aylara göre dağılımı verilmiştir. Üretim ile enerji tüketimi şubat ve aralık ayları haricinde eş zamanlı hareket etmektedirler.



Şekil 4.8. 2018 Yılı Üretim ve Toplam Enerji Tüketiminin Aylara Göre Dağılımı

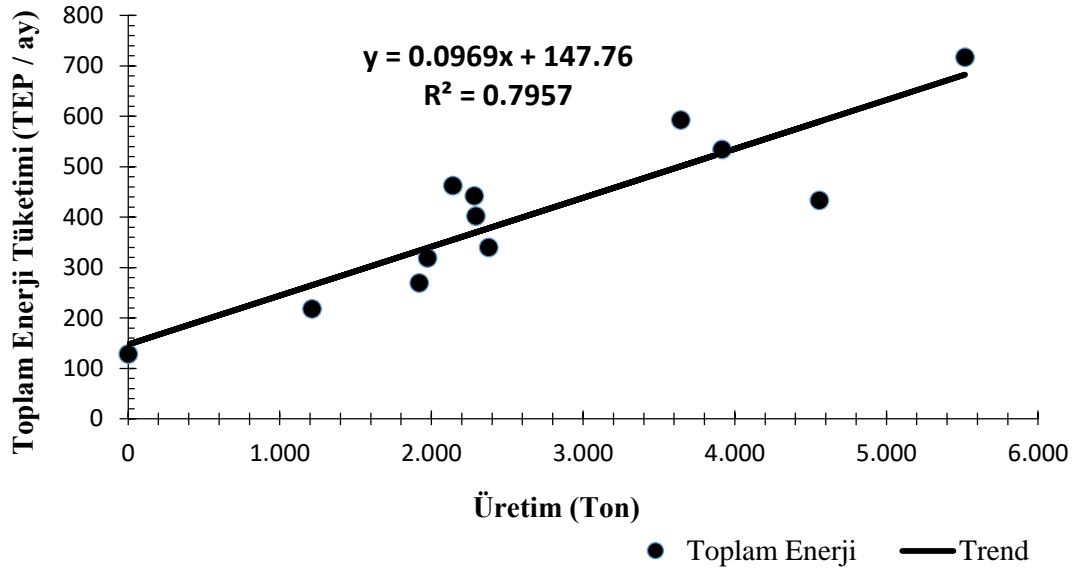
Şekil 4.9'da işletmenin 2018 yılı aylık Spesifik Enerji Tüketimi verilmiştir. İşletmede 2018 yılında 31,836 Ton ürün üretimine karşılık 4,858 TEP enerji harcanmıştır. Yıl içinde ortalama 1 ton ürün üretmek için 0.153 TEP enerji harcanmıştır ancak 1 Ton

ürün başına harcanan enerji aylık olarak değişiklik göstermektedir. SET değerinin aylara göre değişiklik göstermesinin başlıca nedenleri; aylık üretim değerlerinin değişmesi, mevsim şartlarının değişmesi, bazı aylarda verimsiz çalıştırmaların yapılması, arızaların olması gibi sebeplerdir.



Şekil 4.9. 2018 Yılı Aylık Spesifik Enerji Tüketimi

Şekil 4.10'da işletmenin 2018 yılı Üretim – Tüketim Trend (regresyon analizi) grafiği verilmiştir. Üretim ve tüketim değerleri analiz edilerek trend grafiği oluşturulmuştur. Üretim ile tüketim arasındaki ilişkiyi ifade eden enerji denklemiyle üretim değerlerine karşılık işletmenin enerji gereksinimi hesaplanabilir. İşletmenin aylık üretim ve aylık enerji tüketim verileri kullanılarak 2018 yılı için regresyon analizi yapılmış ve enerji denkleminin,  $Y = 0.0969 x + 147.76$  olduğu tespit edilmiştir. Oluşturulan doğru grafiğinin altında kalan alan ve değerler en iyi verime sahip olan enerji tüketimlerini göstermekte ve işletmenin daha verimli çalıştığı aylara karşılık gelmektedir. Doğrunun üstünde kalan noktalarda işletmenin verimsiz çalıştığı ayları göstermektedir. Regresyon uyumluluk katsayısı ( $R^2$  değeri) 1 değerine ne kadar yakınsa oluşturulan denklemin doğruluğu o kadar yüksektir. Yani  $R^2$  değerinin 1 değerine yakın olması, gerçekleşen enerji tüketimi ile net üretim miktarı arasındaki ilişkinin güçlü olduğunu gösterir. 2018 yılı için oluşturulan standart denklemin  $R^2$  değeri 0.79 olarak hesaplanmıştır. Bu değer 1 değerine yakındır. Yani denklemin güvenilirliği yüksektir.

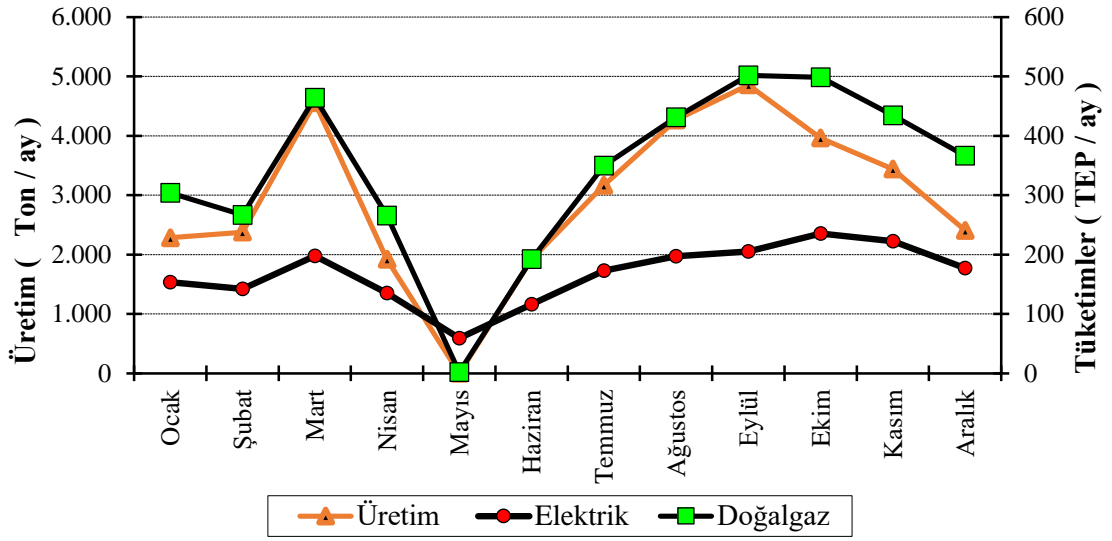


Çizelge 4.11’de işletmenin 2019 yılı aylık toplam enerji tüketimi ve üretim değerleri verilmiştir.

**Çizelge 4.11. 2019 Yılı Aylık Enerji Tüketimi ve Üretim Değerleri**

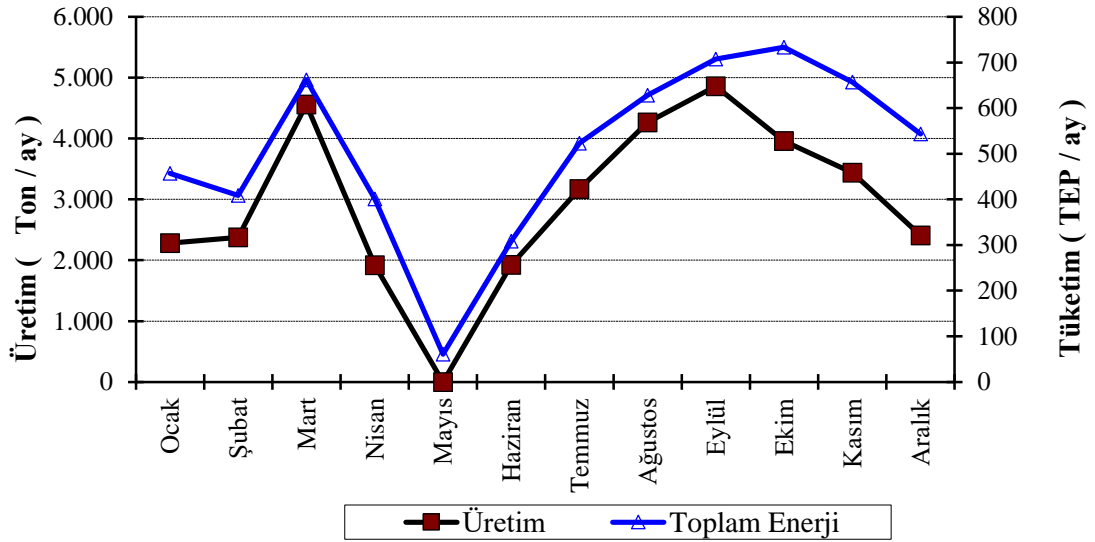
| Aylar           | Üretim (Ton)  | Enerji Tüketimi (TEP) |
|-----------------|---------------|-----------------------|
| Ocak            | 2,283         | 457                   |
| Şubat           | 2,378         | 409                   |
| Mart            | 4,557         | 662                   |
| Nisan           | 1,920         | 401                   |
| Mayıs           | 0             | 61                    |
| Haziran         | 1,924         | 308                   |
| Temmuz          | 3,168         | 523                   |
| Ağustos         | 4,266         | 628                   |
| Eylül           | 4,857         | 707                   |
| Ekim            | 3,961         | 733                   |
| Kasım           | 3,438         | 657                   |
| Aralık          | 2,407         | 543                   |
| <b>Toplam</b>   | <b>35,158</b> | <b>6,089</b>          |
| <b>Ortalama</b> | <b>2,930</b>  | <b>507</b>            |

Şekil 4.11’de işletmenin 2019 yılı üretim ile elektrik ve doğal gaz tüketiminin aylara göre dağılımı verilmiştir. Doğalgaz tüketimi mayıs ayı hariç bütün aylarda elektrik tüketiminden fazla olduğu gözlemlenmiştir. 2019 yılı mayıs ayında işletme revizyona girdiğinden üretim yapılmamıştır.



Şekil 4.11. 2019 Yılı Üretim ve Enerji Tüketimlerinin Aylara Göre Dağılımı

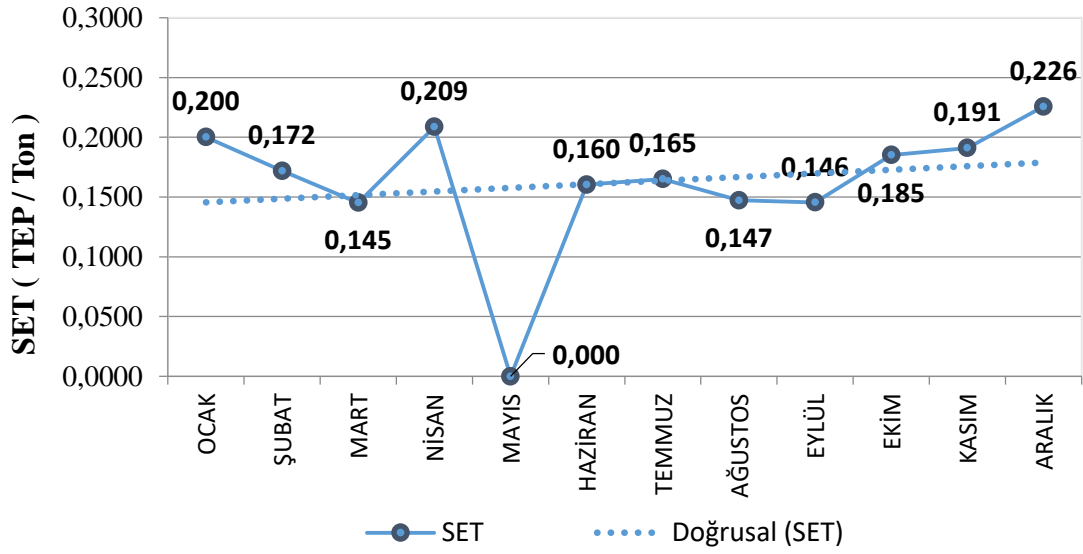
Şekil 4.12’de işletmenin 2019 yılı üretim ve toplam enerji tüketimlerinin aylara göre dağılımı verilmiştir. Üretim ile enerji tüketimi şubat ayı hariç eş zamanlı hareket ettiği görülmektedir.



Şekil 4.12. 2019 Yılı Üretim ve Toplam Enerji Tüketiminin Aylara Göre Dağılımı

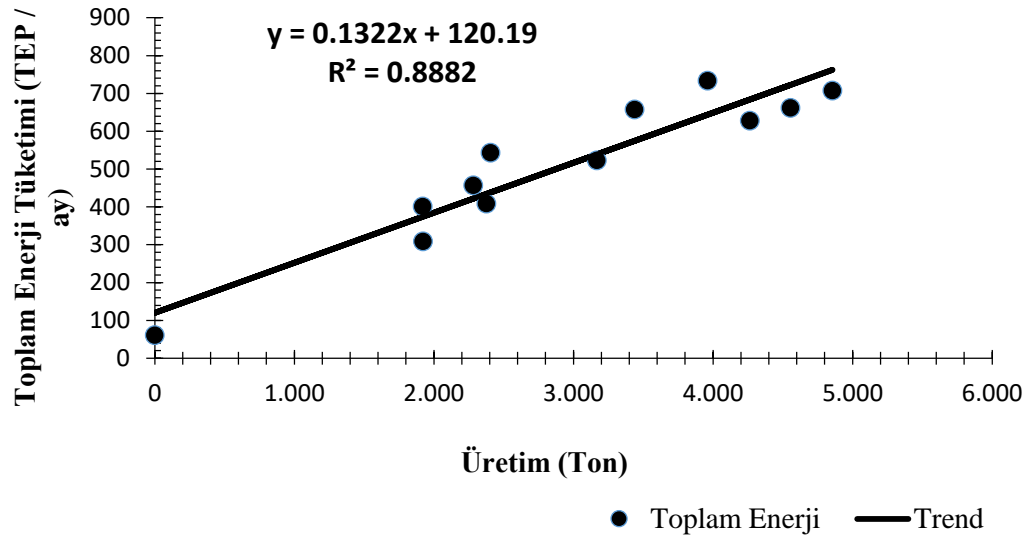
Şekil 4.13’te işletmenin 2019 yılı aylık Spesifik Enerji Tüketimi verilmiştir. İşletmede 2019 yılında 35,158 Ton ürün üretimine karşılık 6,089 TEP enerji harcanmıştır. Yıl içinde ortalama 1 ton üretim için 0.173 TEP enerji harcanmıştır ancak 1 Ton ürün

başına harcanan enerji aylık olarak değişiklik göstermektedir. 2019 yılında işletmenin Spesifik Enerji Tüketimi (SET) 2018 yılına göre %13 artmıştır.



Şekil 4.13. 2019 Yılı Aylık Spesifik Enerji Tüketimi

Şekil 4.14'te işletmenin 2019 yılı Üretim – Tüketim Trend (regresyon analizi) grafiği verilmiştir. 2019 yılı için regresyon analizi yapılarak enerji denkleminin,  $Y = 0.1322x + 120.19$  olduğu tespit edilmiştir. Oluşturulan doğru grafiğinin altında kalan alan ve değerler en iyi verime sahip olan enerji tüketimlerini göstermekte ve işletmenin daha verimli çalıştığı aylara karşılık gelmektedir. Doğrunun üstünde kalan noktalarda işletmenin verimsiz çalıştığı ayları göstermektedir. Regresyon uyumluluk katsayısı ( $R^2$  değeri) 1 değerine ne kadar yakınsa oluşturulan denklemin doğruluğu o kadar yüksektir. Yani  $R^2$  değerinin 1 değerine yakın olması, gerçekleşen enerji tüketimi ile net üretim miktarı arasındaki ilişkinin güçlü olduğunu gösterir. 2019 yılı için oluşturulan standart denklemin  $R^2$  değeri 0.88 olarak hesaplanmıştır. Bu değer 1 değerine yakındır. Yani denklemin güvenilirliği yüksektir.



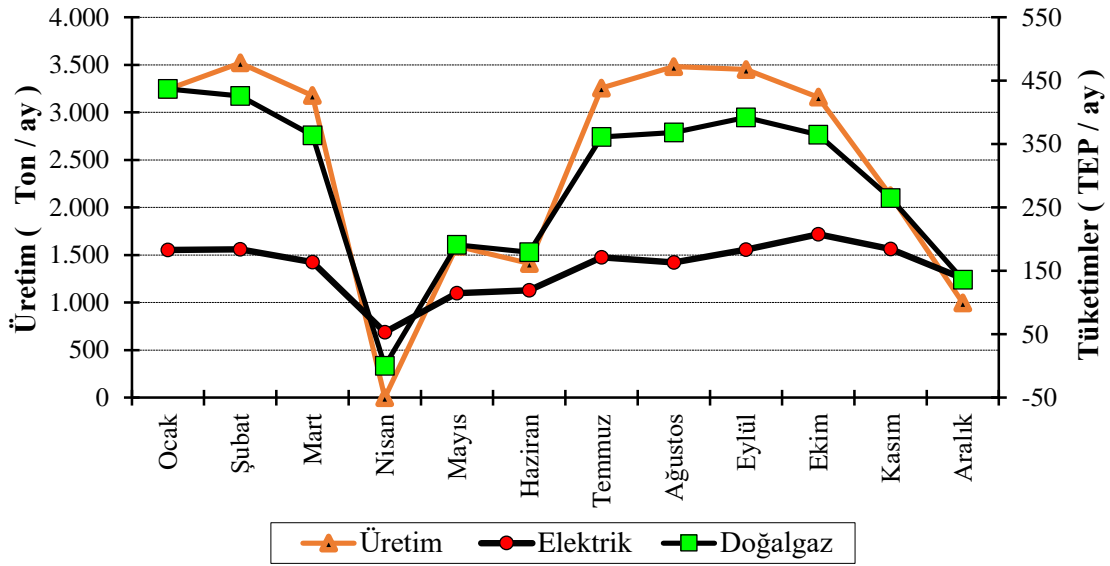
Şekil 4.14. 2019 Yılı Üretim – Tüketim Trend Grafiği

Çizelge 4.12’de işletmenin 2020 yılı aylık toplam enerji tüketimi ve üretim değerleri verilmiştir. 2020 yılı nisan ayında işletme revizyona girdiğinden üretim yapılmamıştır.

Çizelge 4.12. 2020 Yılı Aylık Enerji Tüketimi ve Üretim Değerleri

| Aylar           | Üretim (Ton)  | Enerji Tüketimi (TEP) |
|-----------------|---------------|-----------------------|
| Ocak            | 3,243         | 620                   |
| Şubat           | 3,521         | 610                   |
| Mart            | 3,178         | 528                   |
| Nisan           | 0             | 53                    |
| Mayıs           | 1,593         | 306                   |
| Haziran         | 1,412         | 299                   |
| Temmuz          | 3,256         | 532                   |
| Ağustos         | 3,482         | 531                   |
| Eylül           | 3,452         | 575                   |
| Ekim            | 3,160         | 572                   |
| Kasım           | 2,125         | 449                   |
| Aralık          | 994           | 274                   |
| <b>Toplam</b>   | <b>29,416</b> | <b>5,351</b>          |
| <b>Ortalama</b> | <b>2,451</b>  | <b>446</b>            |

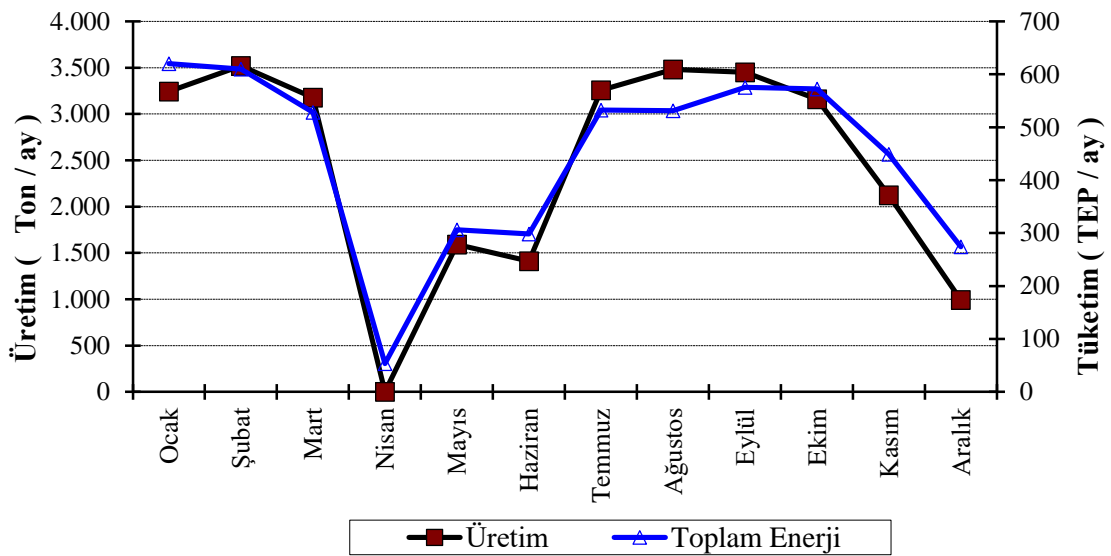
Şekil 4.15’te işletmenin 2020 yılı üretim ile elektrik ve doğal gaz tüketiminin aylara göre dağılımı verilmiştir. Doğalgaz tüketimi mayıs ayı ve aralık ayı hariç bütün aylarda elektrik tüketiminden fazla olduğu gözlemlenmiştir.



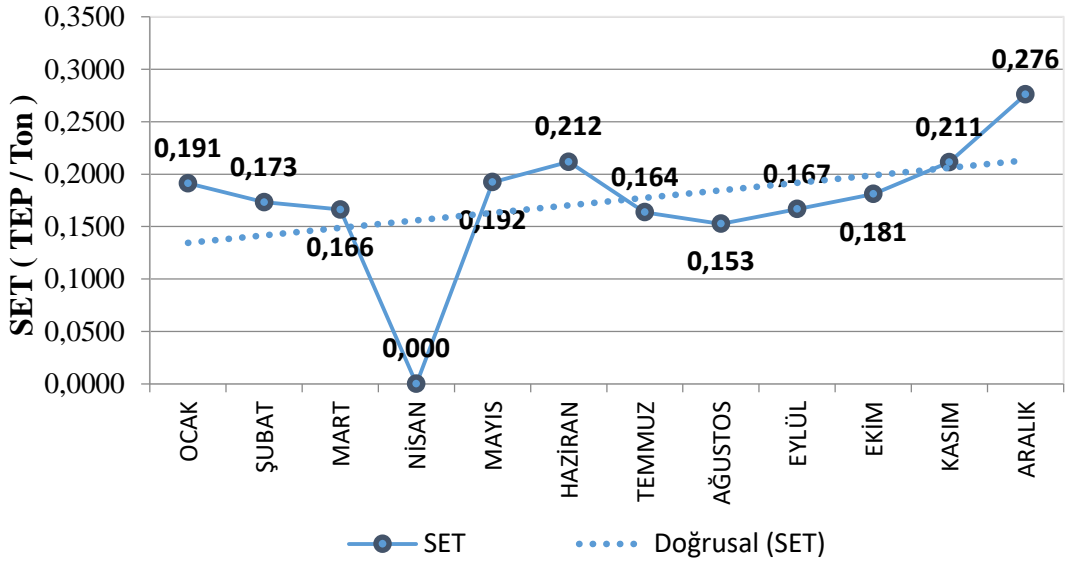
Şekil 4.15. 2020 Yılı Üretim ve Enerji Tüketimlerinin Aylara Göre Dağılımı

Şekil 4.16'da işletmenin 2020 yılı üretim ve toplam enerji tüketimlerinin aylara göre dağılımı verilmiştir. Üretim ile enerji tüketimi şubat, ağustos ve eylül ayları hariç eş zamanlı hareket ettiği görülmektedir.

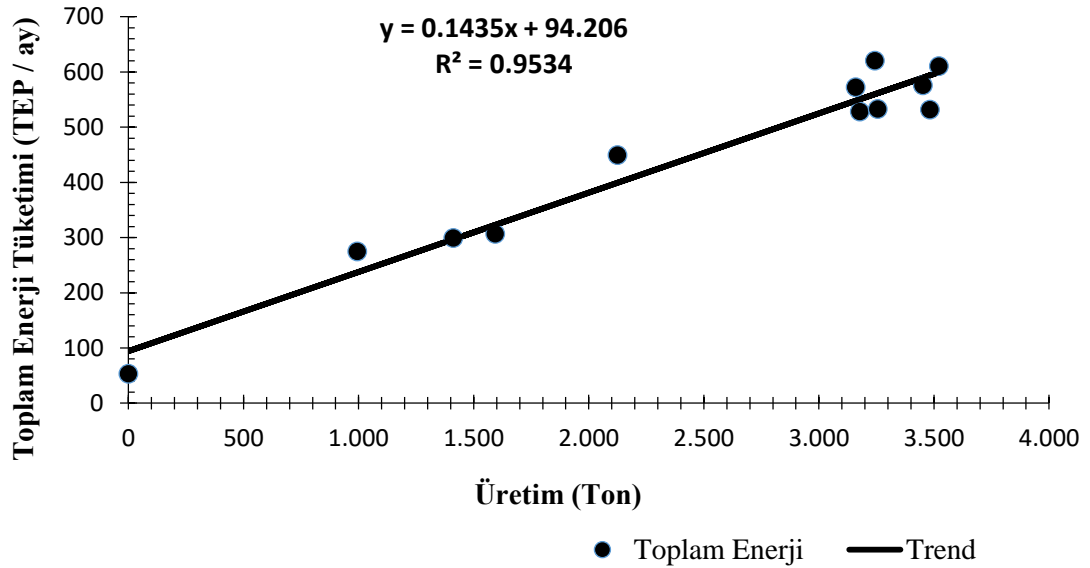
Şekil 4.17'de işletmenin 2020 yılı aylık Spesifik Enerji Tüketimi verilmiştir. İşletmede 2020 yılında 29,416 Ton ürün üretimine karşılık 5,351 TEP enerji harcanmıştır. Yıl içinde ortalama 1 ton ürün üretim için 0.182 TEP enerji harcanmıştır ancak 1 Ton ürün başına harcanan enerji aylık olarak değişiklik göstermektedir. 2020 yılında işletmenin Spesifik Enerji Tüketimi 2019 yılına göre (SET) %5 artmıştır.



Şekil 4.16. 2020 Yılı Üretim ve Toplam Enerji Tüketiminin Aylara Göre Dağılımı



Şekil 4.17. 2020 Yılı Aylık Spesifik Enerji Tüketimi



Şekil 4.18. 2020 Yılı Üretim – Tüketim Trend Grafiği

Şekil 4.18’de İşletmenin 2020 yılı Üretim – Tüketim Trend (regresyon analizi) grafiği verilmiştir. 2020 yılı için regresyon analizi yapılarak enerji denkleminin,  $Y=0.1435x + 94.206$  olduğu tespit edilmiştir. Oluşturulan doğru grafiğinin altında kalan alan ve değerler en iyi verime sahip olan enerji tüketimlerini göstermekte ve işletmenin daha verimli çalıştığı aylara karşılık gelmektedir. Doğrunun üstünde kalan noktalarda işletmenin verimsiz çalıştığı ayları göstermektedir. Regresyon uyumluluk katsayısı ( $R^2$

değeri) 1 değerine ne kadar yakınsa oluşturulan denklemin doğruluğu o kadar yüksektir. Yani  $R^2$  değerinin 1 değerine yakın olması, gerçekleşen enerji tüketimi ile net üretim miktarı arasındaki ilişkinin güçlü olduğunu gösterir. 2020 yılı için oluşturulan standart denklemin  $R^2$  değeri 0.95 olarak hesaplanmıştır. Bu değer 1 değerine yakındır. Yani denklemin güvenilirliği yüksektir.

## 4.2. Basınçlı Hava Sistemlerinin İncelenmesi

### 4.2.1. Ünite ve Sistem Tarifi

Basınçlı hava kompresörleri havanın sıkıştırma oranından dolayı giren enerjinin çok azını faydaya dönüştürebilen cihazlardır. Bu sistemlerin literatürde olması gereken şekilde işletilmesine dikkat edilmelidir. Aksi takdirde işletmeyi ve üretimi olumsuz etkileyerek zaman ve para kaybına yol açabilir. İşletmede Lupamat marka iki adet basınçlı hava kompresörü vardır. Kompresörler birlikte çalışmaktadırlar. İşletme haftada 6 gün 24 saat çalışmaktadır. Şekil 4.19'da Kompresörlerin resimleri bulunmaktadır.



Şekil 4.19. Kompresör 1 ve Kompresör 2

Çizelge 4.13'de kompresörlerin etiket bilgileri verilmiştir.

Çizelge 4.13. Kompresör 1 ve 2 Etiket Değerleri

| Kompresör 1       |                         |
|-------------------|-------------------------|
| Kompresör Markası | Lupamat                 |
| Kompresör Modeli  | LKV 132 DHK PLUS        |
| Çalışma Basıncı   | 10 Bar                  |
| Gücü              | 132 kW                  |
| Hava Debisi       | 20.2 m <sup>3</sup> /dk |
| Hız Sürücü        | Var                     |
| Kompresör 2       |                         |
| Kompresör Markası | Lupamat                 |
| Kompresör Modeli  | 132/13 DDHK PLUS        |
| Çalışma Basıncı   | 13 Bar                  |
| Gücü              | 132 kW                  |
| Hava Debisi       | 18.4 m <sup>3</sup> /dk |
| Hız Sürücü        | Var                     |

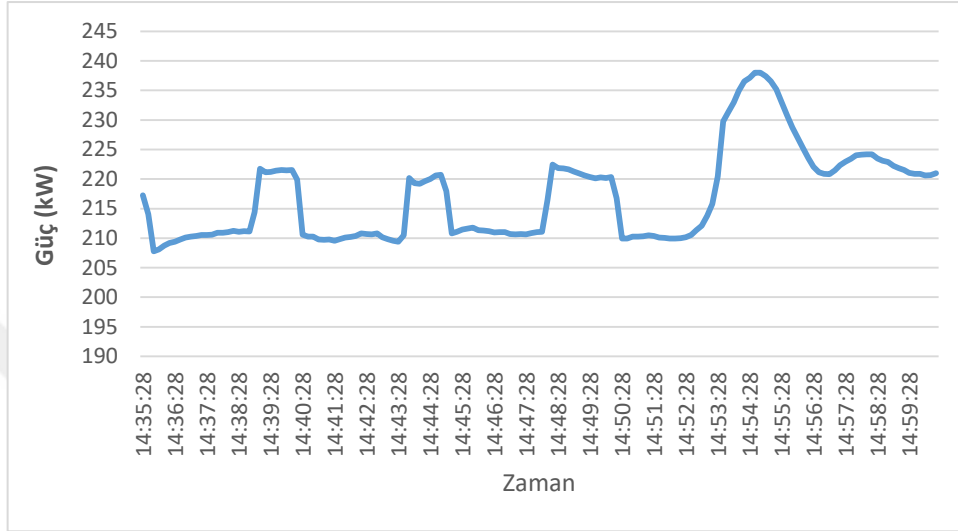
#### 4.2.2. Yapılan Ölçümler ve/veya Alınan Değerler

Saha çalışmalarına öncelikle basınçlı havanın üretiminin yapıldığı kompresörlerin etiket değerleri alınmış, ana dağıtım hatları ve hava tankı incelenmiştir. Atık ısı geri kazanımı için kompresörlerde enerji analizörüyle elektrik güç tüketimi ölçülmüştür. Kompresör 1 ve Kompresör 2'nin enerjisi aynı noktadan beslendiği ve aynı yük ve basınçta çalıştıkları için kompresörlerin güç tüketimi, kompresörleri besleyen ana sigortaya enerji analizörü bağlanarak ölçülmüştür.



Şekil 4.20. Kompresör Enerji Tüketimi Ölçümü

Şekil 4.21’de Kompresörlerin enerji analizörüyle ölçülen güç tüketim sonucu grafik halinde verilmiştir. Kompresörler işletmenin basınçlı hava ihtiyacına göre değişken yüklerde çalışmaktadır. Aşağıdaki grafikte de anlık güç tüketimleri görülmektedir. İşletmenin basınçlı hava ihtiyacı artınca güç tüketimi artmakta azalınca güç tüketimi azalmaktadır.



Şekil 4.21. Kompresör Güç Ölçümü

Çizelge 4.14’de enerji analizörüyle kompresörlerin güç tüketiminin ölçüm sonucu özet olarak verilmiştir.

Çizelge 4.14. Kompresörlerin Güç Tüketimi

|                 | GÜÇ (kW)   |
|-----------------|------------|
| <b>Maksimum</b> | <b>242</b> |
| <b>Ortalama</b> | <b>217</b> |
| <b>Minimum</b>  | <b>220</b> |

İki kompresör toplam saatlik 217 kW güç tüketmektedirler. Tek kompresör ise ortalama saatlik 108 kW güç tüketmektedir. Kompresörlerin ürettiği hava basıncı, kompresör ekranından 9 Bar olduğu gözlemlenmiştir.

#### 4.2.3. Hesaplamalar ve Değerlendirmeler

Kompresörlerin güç tüketimleri enerji analizörü ile ölçülmüş, kompresör hava basıncı değerleri ekran üzerinden alınmıştır. Kompresör performansı Spesifik Enerji

Tüketimi (SET) ile gösterilmektedir. Yani birim hava üretimi için ne kadar enerji harcadığını  $\{kWh/(m^3/dk \text{ hava})\}$  ifade etmektedir. Tesisteki Kompresörlerin 10 Bar basınçta SET değerleri etiket bilgilerine göre hesaplanıp Çizelge 4.15'te verilmiştir.

**Çizelge 4.15.** Kompresörün Etiket SET Değeri

|                      |     |                |
|----------------------|-----|----------------|
| <b>Etiket Debisi</b> | 20  | $m^3/dk$       |
| <b>Etiket Gücü</b>   | 132 | kW             |
| <b>SET</b>           | 6.6 | $kWh/(m^3/dk)$ |
| <b>Basınç</b>        | 10  | Bar            |

#### 4.2.3.1. Basınçlı Hava Tankı Hacim Kontrolü

Kompresör 1 ve Kompresör 2 için 10,000 litrelik ortak bir yaş hava tankı bulunmaktadır. Tank hacmi hesabı yapılırken etiket debisi üzerinden hesap yapılacaktır. Debi iki kompresör içinde 10 Bar basınçta  $20 m^3/dk$  olarak alınmıştır.

Ana formül:

$$V = 9.375 \times Q \quad (4.1)$$

$Q$  = Kompresörün toplam debisi (lt/sn)

$V$  = Depo Hacmi (lt)

$$lt/sn = (m^3/dk) \times (1.000/60) \quad (4.2)$$

İki kompresörde aynı hava tankını beslediği için kompresörün toplam debisi  $40 m^3/dk$  olacaktır. Denklem 4.2 kullanılarak kompresörlerin toplam debisi 666 lt/sn olarak hesaplanır.

Denklem 4.1 kullanılarak depo hacmi aşağıda hesaplanmıştır.

$$V = 9.375 \times 666$$

$$V = 6,244 \text{ lt}$$

İşletmedeki tank hacmi 10,000 lt'dir. Olması gereken tank hacmi 6,244 lt olarak hesaplanmıştır. İşletmenin tank hacmi yeterlidir. Kapasitenin üstünde kullanılacak tank hacmi ile daha büyük yüzeyler elde edileceğinden hava daha fazla dinlenmiş olacak ve hava içerisinde bulunan nem daha fazla yoğuşacaktır. Böylece hava kalitesi artacaktır.

#### 4.2.4. Öneriler, Enerji Tasarruf İmkanları ve Miktarları

İşletmede kullanılan mevcut kompresörler vidalı kompresördür. Kompresörler vida grubunun sürtünmesinden dolayı tüketmiş olduğu enerjinin %95'ini atık ısı olarak atmosfere atılmaktadır. 80 – 90 °C atık ısı bulunmaktadır. Bu atık ısıyı ise geri kazanmak mümkündür. Atık ısı geri kazanım uygulaması ile tüketilen enerjinin %70'ini geri kazanmak pratikte mümkündür.

Kompresörün atık ısı, atık ısı geri kazanım kiti ile suya aktarılacak, sıcak su ile tesis ısıtma ihtiyacı olan yerlerde kullanılacaktır.

Bir kompresör için kompresör atık ısı kazanım hesabı aşağıda verilmiştir.

$$\text{Kazanılacak enerji miktarı} = \text{Kompresör Ortalama Gücü} \times 0,70 \quad (4.3)$$

$$\text{Kazanılacak enerji miktarı} = 108 \times 0,7$$

$$\text{Kazanılacak enerji miktarı} = 76 \text{ kW}$$

$$1 \text{ kW} = 860 \text{ kcal} \quad (4.4)$$

Denklem 4.4'e göre Kazanılan enerji 65,360 kcal/h olarak hesaplanır.

$$\text{Saatlik doğalgaz kazancı} = \text{Kazanılan enerji miktarı} / (8,250 \times \text{kazan verimi}) \quad (4.5)$$

Kazan verimi %90 alınmıştır.

$$\text{Saatlik doğalgaz kazancı} = 65,360 / (8,250 \times 0.9)$$

$$\text{Saatlik doğalgaz kazancı} = 8.8 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Çalışma süresi} = 6,000 \text{ saat} / \text{yıl}$$

$$\text{Yıllık doğalgaz kazancı} = \text{Saatlik doğalgaz kazancı} \times \text{Çalışma süresi} \quad (4.6)$$

$$\text{Yıllık doğalgaz kazancı} = 8.8 \times 6,000$$

$$\text{Yıllık doğalgaz kazancı} = 52,800 \text{ m}^3/\text{yıl}$$

$$\text{Doğalgaz birim fiyatı} = 12.30 \text{ TL}$$

$$\text{Mali Tasarruf} = \text{Enerji Kazancı} \times \text{Birim fiyat} \quad (4.7)$$

$$\text{Yıllık parasal tasarruf} = 52,800 \times 12.30$$

$$\text{Yıllık parasal tasarruf} = 649,000 \text{ TL}$$

Proje yatırım maliyeti 65,000 €'dur. Yatırım maliyetinin TL karşılığı 1,137,500 TL'dir.

$$\text{GES} = \text{Yatırım maliyeti} / \text{Yıllık kazanç} \quad (4.8)$$

$$\text{GES} = 1,137,500 / 649,000$$

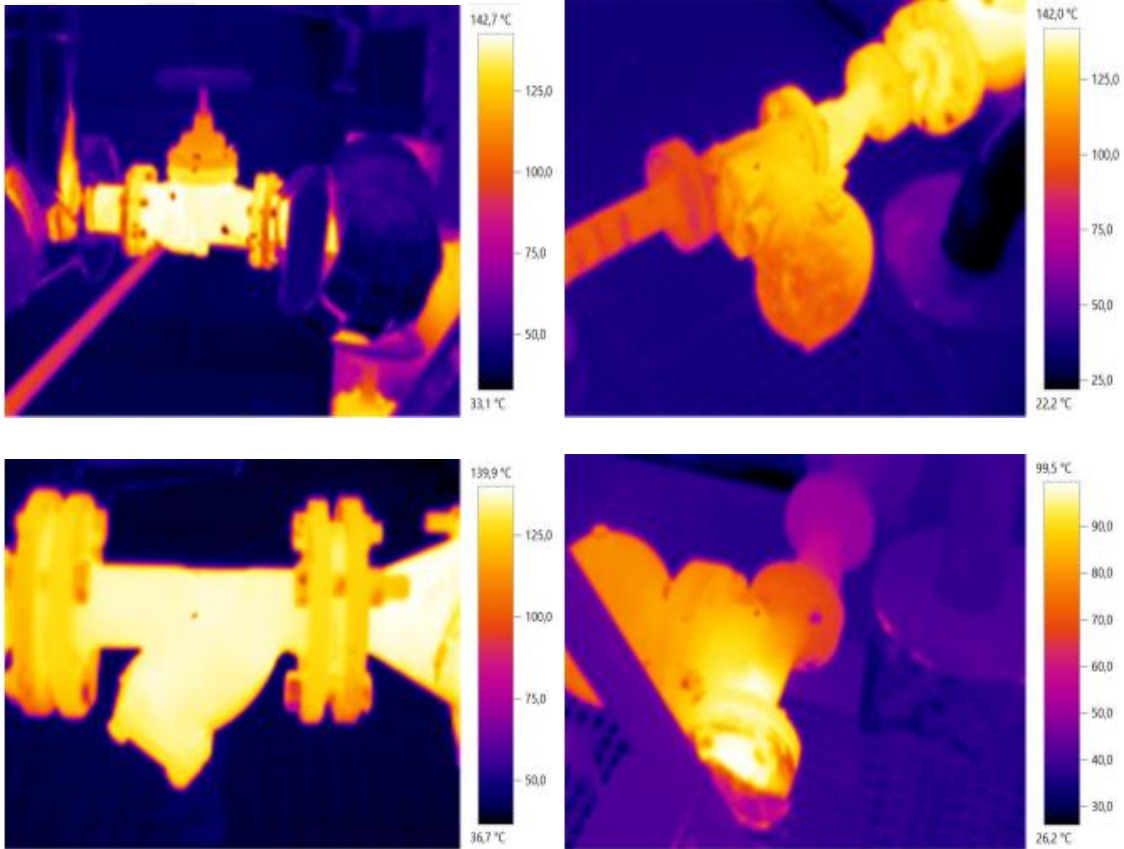
$$\text{GES} = 1.75 \text{ yıl}$$

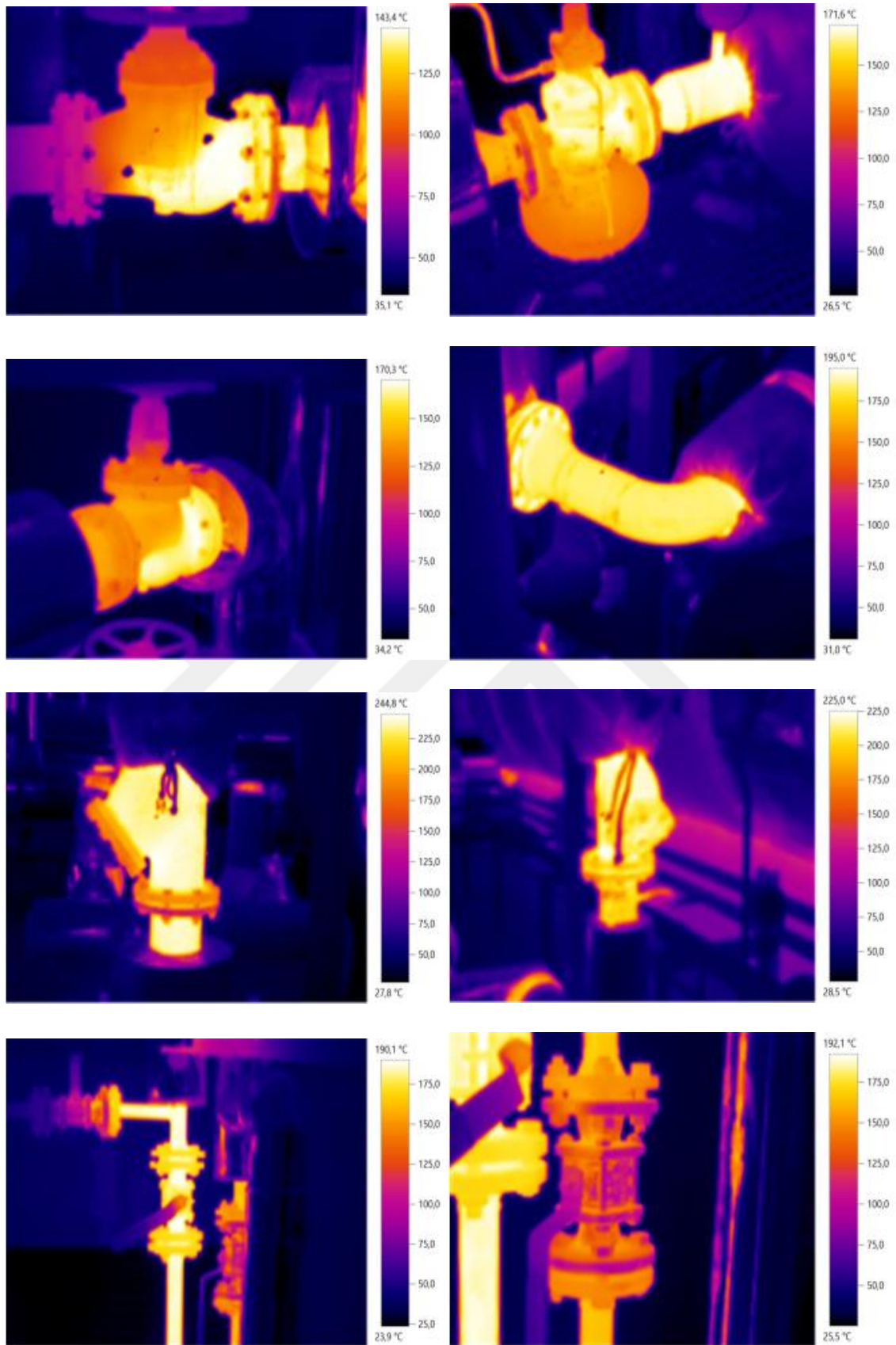
Bir kompresöre atık ısı geri kazanım sistemi kurduğumuz zaman doğalgazdan saatlik 8.8 m<sup>3</sup>, yıllık ise 52,800 m<sup>3</sup> tasarruf elde edilecektir. Proje sonunda yıllık 649,000 TL tasarruf edilecektir. Proje kendini 1.75 yılda geri ödemesi beklenmektedir.

Atık ısı geri kazanım kiti kompresörlere ayrı ayrı uygulanmaktadır. Bu nedenle bir kompresör için atık ısı geri kazanım sistemi hesabı yapılmıştır. Proje iki kompresör içinde uygulanırsa doğalgazdan yıllık 105,600 m<sup>3</sup> tasarruf sağlanacaktır. Mali kazanç ise 1,298,000 TL olacaktır.

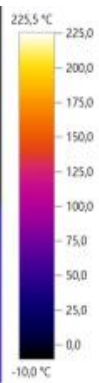
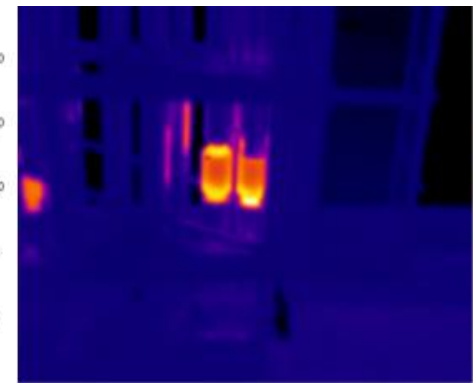
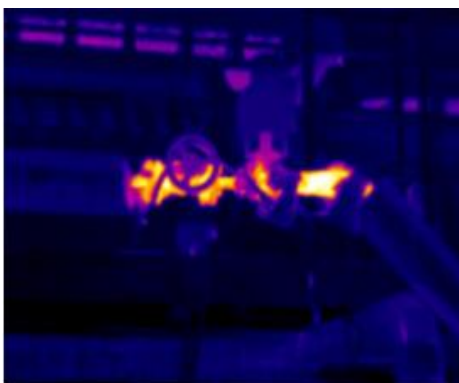
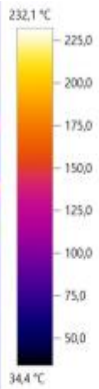
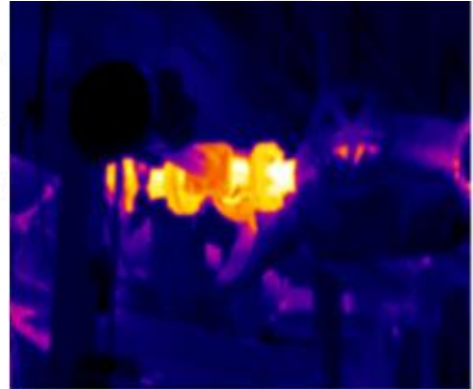
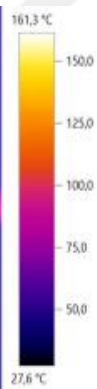
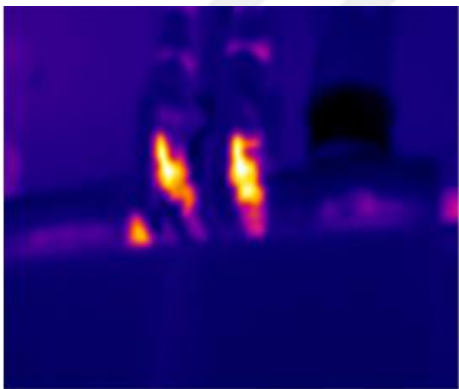
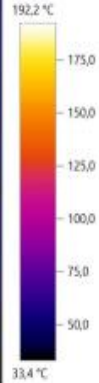
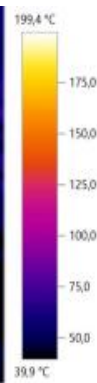
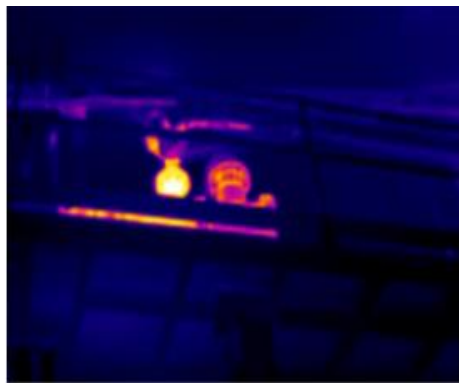
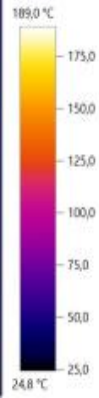
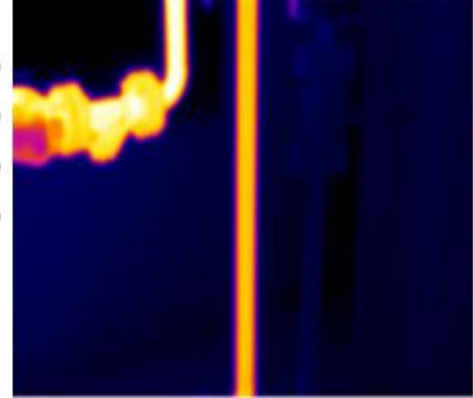
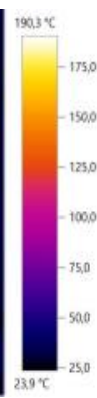
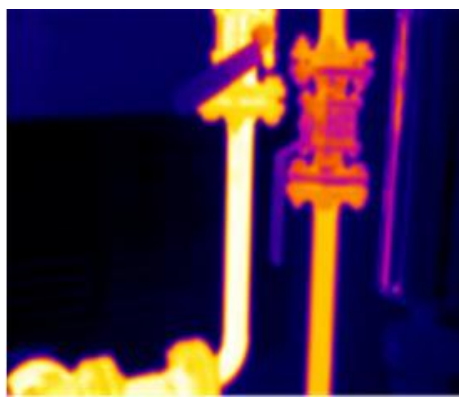
### 4.3. Termal Kayıpların İncelenmesi

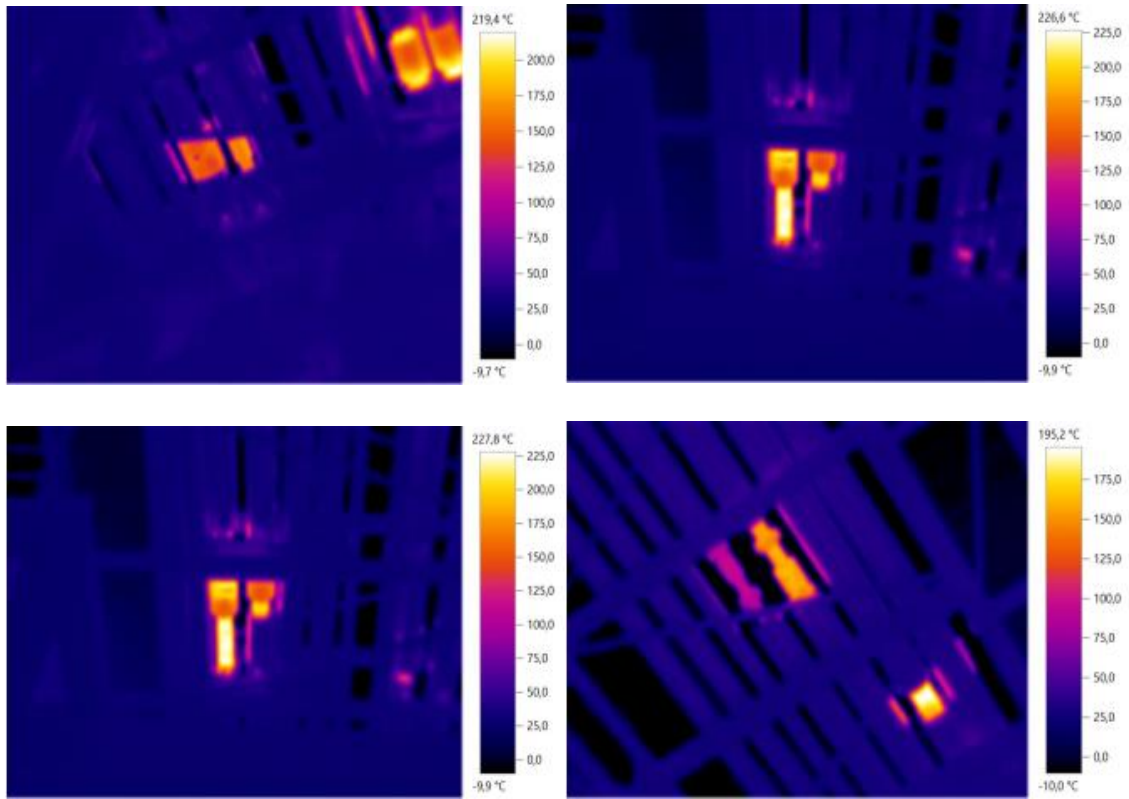
Tesisteki termal yüzeyler, termal kamera ile ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Tesis genelinde termal yalıtımların yapıldığı gözlemlenmiş fakat bazı noktalarda izolasyonsuz vana ve borular tespit edilmiştir. Tespit edilen noktaların termal görüntüleri alınarak aşağıda verilmiştir.





Şekil 4.22. Yalıtımsız Vana ve Yalıtımsız Borular





Şekil 4.23. Yalıtımsız Vana ve Yalıtımsız Borular

#### 4.3.1. Yalıtımsız Boru ve Yalıtımsız Vanalarda Isı Kaybı Hesabı

Tesisatlar da bulunan yalıtımsız boru ve vanalara izolasyon yapılarak ısı kaybı önlenmiş olacaktır. Bağlı bulunduğu boruya flanş ile bağlantı yapılmış yalıtımsız bir vanadan olan ısı kaybı aynı çapta ve yüzey sıcaklığında 2 m uzunluğunda yalıtımsız borudan olan ısı kaybına eş değer alınmıştır.

Mevcut durumdaki ısı kaybı ;

$$Q_{\text{ö}} = (U_c + U_r) \times \pi \times d_1 \times (T_s - T_a) \quad (4.10)$$

$Q_{\text{ö}}$  = Yalıtım öncesi ısı kaybı

$U_c$  = Konveksiyon ile ısı transfer katsayısı (W/m<sup>2</sup>K)

$U_r$  = Radyasyon ile ısı transfer katsayısı (W/m<sup>2</sup>K)

$T_s$  = Yüzey Sıcaklığı (°K)

$T_a$  = Ortam Sıcaklığı (°K)

$d_1$  = Boru Dış Çapı (m)

Yalıtım öncesi ısı kaybını hesaplamak için konveksiyonla ısı transfer katsayısı (Denklem 4.11) radyasyonla ısı transfer katsayısı (Denklem 4.12) hesaplanmıştır.

$$U_c = 1,15x ((T_s - T_a)/d_1)^{0,25} \quad (4.11)$$

$$U_r = 5,67 \times 10^{-8} \times E \times (T_s^2 + T_a^2) \times (T_s + T_a) \quad (4.12)$$

E = Emissivite katsayısı

Emissivite Katsayısı = 0,81

Yalıtım sonrası ısı kaybı;

$$Q_y = (\pi \times (T_s - T_a)) / [(\ln(d_2/d_1)/(2x\lambda)] + [1/U_{so} \times d_2] \quad (4.13)$$

$Q_y$  = Yalıtım sonrası ısı kaybı (W)

$d_1$  = Boru dış çapı (m)

$d_2$  = Yalıtım sonrası dış çapı (m)

$\lambda$  = Yalıtım malzemesinin ısı iletkenliği (W/mK)

$U_{SO}$  = Yüzeysel Isı transfer katsayısı (W/m<sup>2</sup>K)

İşletmedeki yalıtımsız ekipmanlardan olan ısı kaybı ve yalıtım yapıldıktan sonraki ısı kaybı Denklem 4.10 ve Denklem 4.13 kullanılarak hesaplanmış ve Çizelge 4.16'da tablo halinde verilmiştir.

**Çizelge 4.16.** Yalıtımsız Ekipmanların Isı Kaybı ve Yalıtım Sonrası Isı Kayıp Hesabı

| Lokasyon    | ADET | DN  | Vana Sıcaklığı (°C) | Ortam Sıcaklığı (°C) | Uc   | Ur    | Yalıtım Öncesi Isı Kaybı (kcal/h) | Yalıtım Sonrası Isı Kaybı (kcal/h) | Net Tasarruf (kcal/h) |
|-------------|------|-----|---------------------|----------------------|------|-------|-----------------------------------|------------------------------------|-----------------------|
| DN 100 Vana | 1    | 100 | 140                 | 30                   | 6.41 | 8.63  | 1,021                             | 79                                 | 942                   |
| DN 100 Vana | 1    | 100 | 140                 | 30                   | 6.41 | 8.63  | 1,021                             | 79                                 | 942                   |
| DN 40 Vana  | 1    | 40  | 130                 | 30                   | 7.76 | 8.24  | 417                               | 40                                 | 378                   |
| DN 40 Vana  | 1    | 40  | 90                  | 30                   | 6.83 | 6.84  | 214                               | 24                                 | 190                   |
| DN 100 Vana | 1    | 100 | 140                 | 30                   | 6.41 | 8.63  | 1,021                             | 79                                 | 942                   |
| DN 100 Vana | 1    | 100 | 160                 | 30                   | 6.68 | 9.44  | 1,294                             | 93                                 | 1,200                 |
| DN 100 Vana | 1    | 100 | 150                 | 30                   | 6.55 | 9.03  | 1,154                             | 86                                 | 1,068                 |
| DN 100 Boru | 1    | 100 | 180                 | 30                   | 6.92 | 10.31 | 798                               | 54                                 | 744                   |
| DN 150 Boru | 1    | 150 | 230                 | 30                   | 6.75 | 12.76 | 3,548                             | 194                                | 3,354                 |
| DN 100 Vana | 1    | 100 | 200                 | 30                   | 7.14 | 11.25 | 1,930                             | 122                                | 1,808                 |
| DN 32 Vana  | 1    | 32  | 180                 | 30                   | 8.87 | 10.31 | 659                               | 55                                 | 604                   |
| DN 32 Vana  | 1    | 32  | 130                 | 30                   | 8.01 | 8.24  | 372                               | 37                                 | 335                   |
| DN 25 Vana  | 1    | 25  | 188                 | 30                   | 9.52 | 10.68 | 581                               | 51                                 | 530                   |
| DN 25 Vana  | 1    | 25  | 150                 | 30                   | 8.88 | 9.03  | 391                               | 39                                 | 352                   |
| DN 100 Vana | 1    | 100 | 185                 | 30                   | 6.98 | 10.54 | 1,676                             | 111                                | 1,565                 |

|               |   |     |     |    |      |       |               |              |               |
|---------------|---|-----|-----|----|------|-------|---------------|--------------|---------------|
| DN 80 Vana    | 2 | 80  | 170 | 30 | 7.24 | 9.87  | 2,301         | 167          | 2,134         |
| DN 100 Vana   | 1 | 100 | 180 | 30 | 6.92 | 10.31 | 1,596         | 108          | 1,488         |
| DN 25 Vana    | 1 | 25  | 140 | 30 | 8.69 | 8.63  | 347           | 35           | 311           |
| DN 150 Boru   | 1 | 150 | 160 | 30 | 6.06 | 9.44  | 916           | 63           | 853           |
| DN 150 Vana   | 4 | 150 | 150 | 30 | 5.94 | 9.03  | 3,266         | 233          | 3,033         |
| DN 80 Vana    | 2 | 80  | 180 | 30 | 7.37 | 10.31 | 1,274         | 89           | 1,184         |
| DN 25 Boru    | 1 | 25  | 150 | 30 | 8.88 | 9.03  | 978           | 97           | 881           |
| DN 80 Vana    | 1 | 80  | 150 | 30 | 6.97 | 9.03  | 922           | 72           | 850           |
| <b>Toplam</b> |   |     |     |    |      |       | <b>27,694</b> | <b>2,005</b> | <b>25,689</b> |

Yalıtımsız ekipmanlara yalıtım yapılması sonucunda saatlik 25,689 kcal enerji geri kazanılabilir. Saatlik enerji kazancı Denklem 4.5 uygulanarak aşağıda hesaplanmıştır. Kazan verimi %90 alınmıştır.

$$\text{Saatlik doğalgaz kazancı} = 25,689 / (8,250 \times 0.9)$$

$$\text{Saatlik doğalgaz kazancı} = 3.46 \text{ m}^3/\text{h}$$

Yalıtım yapıldıktan sonra yıllık doğalgaz kazancı Denklem 4.6 uygulanarak aşağıda hesaplanmıştır.

$$\text{Yıllık doğalgaz kazancı} = 3.46 \times 6,000$$

$$\text{Yıllık doğalgaz kazancı} = 20,759 \text{ m}^3/\text{yıl}$$

Yalıtım yapıldıktan sonra yıllık mali kazanç Denklem 4.7 uygulanarak aşağıda hesaplanmıştır.

$$\text{Yıllık mali kazanç} = 20,759 \times 12.30$$

$$\text{Yıllık mali kazanç} = 255,333 \text{ TL}$$

Projenin geri ödeme süresi Denklem 4.8 kullanılarak aşağıda hesaplanmıştır.

$$\text{Projenin yatırım tutarı} = 50,000 \text{ TL}$$

$$\text{GÖS} = 50,000 / 255,333$$

$$\text{GÖS} = 0.2 \text{ yıl}$$

İşletmedeki yalıtımsız ekipmanlara ısı yalıtımı yapıldığında yıllık 20,759 m<sup>3</sup> doğalgaz tasarrufu sağlanacaktır. Mali kazanç ise yaklaşık 255,000 TL'dir. Proje geri ödeme süresi bir yılın çok altındadır. Proje kendini yaklaşık 3 ayda geri ödeyebilmektedir.

#### 4.4. Aydınlatma Sisteminin incelenmesi

İşletme içerisinde yeni nesil verimli aydınlatma armatürleri kullanıldığı gibi verimsiz olan eski tip aydınlatma armatürlerde kullanılmaktadır. Ayrıca doğal aydınlatmadan faydalan mahallerde vardır.

İşletme genelinde üretim hattı ve depo kısımlarında 2 X 58 W floresan lambalar, personel ve mühendis odalarında 4 X 18 W floresan lambalar, çevre aydınlatmalarında 1.000 W projektör lambalar bulunmaktadır. Yapılan çalışma kapsamında verimsiz armatürler incelenmiştir. Verimsiz armatürlerin ışık şiddetleri Lux metre ile ölçülmüştür. Şekil 4.24'te 4 X 18 W ve 2 X 58 W floresan lambaların resimleri verilmiştir. Şekil 4.25'te ise tesisin bazı noktalarındaki aydınlatma şiddeti ölçümleri bulunmaktadır.



**Şekil 4.24.** Tesiste Bulunan Bazı Verimsiz Lambalar



Şekil 4.25. Aydınlatma Ölçümleri

İşletmede bulunan verimsiz aydınlatma armatürlerinin bilgileri ve ölçüm sonuçları Çizelge 4.17’de verilmiştir.

Çizelge 4.17. Verimsiz Aydınlatma Armatörleri

| Bölüm              | Adet | Güç (Watt) | Armatür Tipi | Ölçülen Aydınlatma şiddeti (lux) |
|--------------------|------|------------|--------------|----------------------------------|
| Üretim Hattı       | 450  | 2 X58 W    | Florasın     | 130                              |
| Depolar            | 200  | 2 X 58 W   | Florasın     | 150                              |
| Personel Odaları   | 100  | 4 X 18 W   | Florasın     | 160                              |
| Çevre Aydınlatması | 55   | 1000 W     | Projektör    | -                                |

Mevcut kullanılan verimsiz armatürlerin yıllık enerji tüketimleri Çizelge 4.18’de verilmiştir. Personel odalarında pencereler bulunmaktadır. Bu nedenle personel odalarında gündüz saatlerinde doğal aydınlatma yapılmaktadır. Depolarda doğal aydınlatma yapılmamaktadır. Bu nedenle depoların armatürlerle aydınlatma süreleri personel odalarından daha fazladır.

**Çizelge 4.18.** Verimsiz Armatürlerin Enerji Tüketimi

| Bölüm              | Armatür Gücü | Armatür Tipi | Güç Tüketimi Saatlik (W) | Adet | Yıllık Çalışma (saat/yıl) | Yıllık Enerji Tüketimi (kWh/yıl) |
|--------------------|--------------|--------------|--------------------------|------|---------------------------|----------------------------------|
| Üretim Hattı       | 2 X58 W      | Florasın     | 116                      | 450  | 6,000                     | 313,200                          |
| Depolar            | 2 X 58 W     | Florasın     | 116                      | 200  | 3,000                     | 69,600                           |
| Personel Odaları   | 4 X 18 W     | Florasın     | 72                       | 100  | 2,500                     | 18,000                           |
| Çevre Aydınlatması | 1000 W       | Projektör    | 1000                     | 45   | 2,000                     | 90,000                           |
| <b>Toplam</b>      |              |              |                          |      |                           | <b>490,800</b>                   |

Verimsiz armatürler yerine önerilen LED armatürlerin enerji tüketimi Çizelge 4.19’da verilmiştir. LED armatürlerin ışık gücü 160 lümen / Watt ‘tır. Yeni LED armatürler takıldıktan sonra ışık şiddetinin 200 -250 lux olması öngörülmektedir.

**Çizelge 4.19.** LED Armatürlerin Enerji Tüketimi

| Bölüm              | Armatür Gücü | Armatür Tipi | Güç Tüketimi Saatlik (W) | Adet | Yıllık Çalışma (saat / yıl) | Yıllık Enerji Tüketimi (kWh/yıl) |
|--------------------|--------------|--------------|--------------------------|------|-----------------------------|----------------------------------|
| Üretim Hattı       | 50 W         | LED          | 50                       | 450  | 6,000                       | 135,000                          |
| Depolar            | 50 W         | LED          | 50                       | 200  | 3,000                       | 30,000                           |
| Personel Odaları   | 35 W         | LED          | 50                       | 100  | 2,500                       | 12,500                           |
| Çevre Aydınlatması | 400 W        | LED          | 400                      | 45   | 2,000                       | 36,000                           |
| <b>Toplam</b>      |              |              |                          |      |                             | <b>213,500</b>                   |

LED armatürlerin birim fiyatları ve toplam fiyatı Çizelge 4.120’de verilmiştir.

Çizelge 4.20. LED Armatürlerin Fiyatları

| Armatür Gücü  | Armatür Tipi | Adet | Birim Fiyatı (\$) | Toplam Fiyatı (\$) | Toplam Fiyatı (TL) |
|---------------|--------------|------|-------------------|--------------------|--------------------|
| 50 W          | LED          | 450  | 35                | 15,750             | 263,025            |
| 50 W          | LED          | 200  | 35                | 7,000              | 116,900            |
| 35 W          | LED          | 100  | 30                | 3,000              | 50,100             |
| 400 W         | LED          | 45   | 200               | 9,000              | 150,300            |
| <b>Toplam</b> |              |      |                   | <b>34,750</b>      | <b>580,325</b>     |

$$\text{Yıllık Enerji Tasarrufu} = \text{Mevcut Tüketim} - \text{Yeni Tüketim} \quad (4.14)$$

$$\text{Mevcut enerji tüketimi} = 490,800 \text{ kWh/yıl}$$

$$\text{Yeni enerji tüketimi} = 213,500 \text{ kWh/yıl}$$

$$\text{Yıllık Enerji Tasarrufu} = 490,800 - 213,500$$

$$\text{Yıllık Enerji Tasarrufu} = 277,300 \text{ kWh/yıl}$$

Verimli armatürler takıldıktan sonra yapıldıktan sonra yıllık mali kazanç Denklem

4.7 uygulanarak aşağıda hesaplanmıştır.

$$\text{Yıllık mali kazanç} = 277,33 \times 2.10$$

$$\text{Yıllık mali kazanç} = 582,300$$

Projenin geri ödeme süresi Denklem 4.8 kullanılarak aşağıda hesaplanmıştır.

$$\text{Projenin yatırım tutarı} = 580,325 \text{ TL}$$

$$\text{GÖS} = 580,325 / 582,300$$

$$\text{GÖS} = 1 \text{ yıl}$$

İşletmedeki verimsiz aydınlatma armatürleri, daha verimli olan LED armatürler ile değiştirilmesi sonucunda yıllık 277,300 kWh elektrik enerjisinden tasarruf sağlanabilmektedir. Elektrik enerjisinden elde edilen tasarrufun maddi karşılığı yıllık 582,300 TL'dir. Projenin geri ödeme süresi yaklaşık 1 yıldır. LED armatürlerin kullanım süreleri 50,000 saattir. 50,000 saatte maksimum %3 verim kaybı yaşanmaktadır.

Çizelge 4.21. Enerji Verimlilik Projeleri Özet Tablosu

|   | ENERJİ TÜRÜ | TASARRUF TÜRÜ  |                          |            |                  | CO <sub>2</sub> Azalma Miktar | Yatırım Maliyeti | G.Ö.S |
|---|-------------|----------------|--------------------------|------------|------------------|-------------------------------|------------------|-------|
|   |             | Miktar         | Birim                    | TEP/yıl    | TL/yıl           | TON/yıl                       | TL               | YIL   |
| Verimli Aydınlatma Projesi                | Elektrik    | 277,300        | kWh/yıl                  | 23.85      | 582,300          | 148.36                        | 580,325          | 1.00  |
| <b>Toplam Elektrik Tasarrufu</b>          |             | <b>277,300</b> | <b>kWh</b>               | <b>24</b>  | <b>582,300</b>   | <b>148.36</b>                 | <b>580,325</b>   |       |
| Kompresör 1 Atık Isı Geri Kazanım Projesi | Doğalgaz    | 52,800         | m <sup>3</sup> /yıl      | 43.6       | 649,000          | 11.35                         | 1,137,500        | 1.75  |
| Kompresör 2 Atık Isı Geri Kazanım Projesi | Doğalgaz    | 52,800         | m <sup>3</sup> /yıl      | 43.6       | 649,000          | 11.35                         | 1,137,500        | 1.75  |
| Termal Kayıpların Giderilmesi             | Doğalgaz    | 20,759         | m <sup>3</sup> /yıl      | 17.1       | 255,333          | 4.46                          | 50,000           | 0.20  |
| <b>Toplam Doğal Gaz Tasarrufu</b>         |             | <b>126,359</b> | <b>m<sup>3</sup>/yıl</b> | <b>104</b> | <b>1,553,333</b> | <b>27.17</b>                  | <b>2,325,000</b> |       |
| <b>Toplam Tasarruf</b>                    |             |                |                          | <b>128</b> | <b>2,135,633</b> | <b>175.52</b>                 | <b>2,905,325</b> |       |

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan enerji etüdü sonucunda işletmenin enerji verimlilik potansiyeli, enerji ve mali tasarruf potansiyeli, yatırım maliyetleri ve projelerin geri ödeme süresi Çizelge 4.21’de özetlenerek verilmiştir.

- İşletmenin 2018 – 2019 ve 2020 yıllarındaki enerji tüketimleri ve enerji maliyetleri ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir.
- İşletmenin 2018 – 2019 ve 2020 yıllarında üretim ve enerji tüketimleri arasındaki ilişki ayrıntılı bir şekilde incelenmiş ve regresyon analizi yapılarak bu üç yıla ait enerji denklemleri çıkarılmıştır.
- İşletmenin 2018 – 2019 ve 2020 yıllarındaki Spesifik Enerji Tüketimleri hesaplanmıştır.
- İşletmede basınçlı hava üretmek için iki adet vidalı kompresör bulunmaktadır. Vidalı kompresörler vida grubunun sürtünmesinden dolayı tüketmiş olduğu enerjinin %95’ini atık ısı olarak atmosfere atmaktadırlar. Bu atık ısıyı ise geri kazanmak mümkündür. İki kompresöre de atık ısı geri kazanım sistemi önerilmiştir. Bir kompresör için atık ısı geri kazanım sistemi ile yıllık 52.800 m<sup>3</sup> doğalgazdan tasarruf sağlanmaktadır.
- Basınçlı hava üreten Kompresör 1 ve Kompresör 2’nin atık ısıları, atık ısı geri kazanım sistemi ile suya aktarılacaktır.
- İşletmede yalıtımsız vana ve borular tespit edilmiştir. Yalıtımsız boru ve vanalara ısı yalıtımı yapıldığı zaman yıllık 20,759 m<sup>3</sup> doğalgaz tasarrufu ve 255,333 TL mali tasarruf sağlanacaktır. Proje hayata geçirilirse yıllık 4.46 Ton CO<sub>2</sub> salınımı engellenmiş olacaktır.
- İşletmede verimsiz aydınlatma sistemlerinin LED ile değiştirilmesi ile yıllık 277,300 kWh elektrik tasarrufu ve 582,300 TL mali tasarruf sağlanacaktır. Ayrıca LED dönüşümü sonucunda yıllık 148 Ton CO<sub>2</sub> salınımı engellenmiş olacaktır.
- Yapılan enerji etüdü sonucunda işletmeye önerilen verimlilik artırıcı projeler ile yıllık 128 TEP enerji tasarrufu ve yaklaşık 2,135,000 TL mali tasarruf sağlanabilmektedir. Projelerin toplam yatırım maliyeti yaklaşık 3.000.000 TL’dir. Ayrıca önerilen verimlilik artırıcı projeler ile yıllık 175.52 Ton CO<sub>2</sub> salınımı engellenecektir.

## ÖNERİLER

- Etüt çalışmasında tespit edilen projelerin en kısa zamanda uygulamaya dönüştürülmesi önerilmektedir.
- Bu tür tesislerde enerji ölçme ve izleme sistemi kurularak işletmelerin enerji verimlilikleri anlık olarak takip edilebilir.



## 6. KAYNAKLAR

- Anonim 2007, Resmi Gazete, [online], <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2007/05/20070502-2.htm>, Ziyaret Tarihi; [02.05.2022].
- Anonim 2011, Resmi Gazete, [online], <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2011/10/20111027.htm>, Ziyaret Tarihi; [27.10.2021].
- Anonim 2019, Resmi Gazete, [online], <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2019/03/20190314-2.pdf>, Ziyaret Tarihi; [14.03.2022].
- Anonim 2022, Ulusal Enerji Denge Tablosu, [online], <https://enerji.gov.tr/eigm-raporlari>, Ziyaret Tarihi; [15.05.2022].
- Al-Badi A.H. and Al-Sadi S.N., 2020, Toward energy-efficient buildings in Oman, *International Journal of Sustainable Energy*, 39 (5), 412-433.
- Attia S., Shadmanfar N. And Ricci F., 2020, Developing two benchmark models for nearly zero energy schools, *Applied Energy*. 263, 114614.
- Balan K.N. and Yashvanth U., 2020, Energy Audit in Residential Building – Replacement of Portable Air Conditioner by an Energy Efficient Centralised Air Conditioner, *International Journal of Ambient Energy*, 41 (2), 179 -182.
- Bayraktar B., 2021, Maden Sektöründe Enerji Verimliliği: Bir Maden İşletmesi Örneği, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 1-131.
- Doğmuş N., 2020, Pompaj Sistemlerinde Enerji Verimliliğinin İncelenmesi ve Alibeyhüyükü Bölgesi Örneği, Yüksek Lisans Tezi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 1-50.
- Günay F. N. , 2021, Ticari Binalara Örnek Özel Sektördeki Bir Otel İşletmesinin Enerji Etüt Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 1-68.
- Hadra M., 2018, Çubuk Haddehanesi Tav Fırınında Enerji Etüdü ve Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 1-54.
- Haydaroğlu C., 2006, Türk Sanayisinde Enerji Verimliliği ve Yoğunluğunun Analizi, Yüksek Lisans Tezi, *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Eskişehir, 1-121.
- Karyeyen S., Aksoy M. H., Özgören M. ve Koçak S., 2012, Konya Sanayisinde Enerji Verimliliği, *Mevlana Kalkınma Ajansı Bölgesel Araştırma Raporları Serisi*, 5, 2.
- Kıyılmaz M. B., 2019, Sanayide Enerji Yönetimi Esasları ve Enerji Verimliliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Muğla Sıtkı Kocaman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Muğla, 2-3.

- Kıyılmaz M. B., Keçebaş A. ve Ertürk M., 2021, Sanayide Enerji Yönetimi Sistemim İçin Bir Gıda Tesisinin Enerji Verimliliğinin İyileştirilmesi, *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 7 (1), 51- 62.
- Kocabaş C., 2021, Enerji Veriminin Artırılmasında Süreç İyileştirme Tekniklerinin Endüstriyel Uygulaması, Doktora Tezi, *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bilecik, 1-159.
- Koçak 2020, Türkiye’de Sektörel Bazda Enerji Yönetim Sistemi Uygulamalarının Enerji Verimliliğine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 1-150.
- Küçükyavaşlıoğlu G., 2020, Bir Otomotiv Yan Sanayi Tesisinin Basınçlı Hava Sisteminde Enerji Tasarrufu Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, *Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Konya, 1-102.
- Metrel, 2013, Power and Harmonic Analyser, Slovenia.
- Muhammad J.Y., Alhassan S., Abdulmajeed I.S.A., Waziri N.H., Ismail N.A. and Tukur F.F., 2020, Energy Audit and Management of a Tannery Company: A Case Study of Kano State, *American Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 9 (1), 1-13.
- Ruşen S. E. ve Çevik M. S., 2020, Bir Gıda Fabrikasında Enerji Verimliliğinin İyileştirilmesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 24 (3), 539-552.
- Sitorus A., Yurisman E., Susilo H., Ambarita H. and Nur T.B, 2020, Analysis of Energy Efficiency in the Krueng Raya TBBM Pertamina Building Using the Energy Audit Method, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 801 (1), 012042
- Taşdemir B., 2019, Muhtelif Altyapı Ürünleri Üreten Bir Döküm Fabrikasının Enerji Etüdü, Yüksek Lisans Tezi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 1-54.
- Tekkol B., 2019, Enerji Tüketiminin Ekonomik Büyüme Üzerindeki Etkisinde Enerji Verimliliğinin Rolü : Türkiye Örneği, Yüksek Lisans Tezi, *Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Bandırma, 1-99.
- Testo 2012 a, Testo Termal Imager, Germany.
- Testo 2012 b, (Luxmeter), Germany.
- Tosun İ. B., 2018, Kamu Binaları İçin Enerji Etüdü ve Verimlilik Artırıcı Yöntemler, Yüksek Lisans Tezi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 1-72.

- Toköz N. ve Özgün Ö., 2019, Atık Isı Geri Kazanım Sistemlerine Yönelik Literatür Araştırması ve Sanayiden Örnek Vaka İncelemesi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34 (2), 57-72.
- Uzun A. ve Değirmen M., 2018, Endüstriyel İşletmelerde Enerji Verimliliği ve Enerji Yönetimi, *Uluslar Arası Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 4 (2), 83-97.
- Yıldız A., Akgül S. ve Güvercin S., 2018, *Sanayide Enerji Verimliliği ve Uygulamaları, İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 7 (1), 16-22.
- Yüksel Ş., 2020, Bir Petro – Kimya Fabrikasının Enerji Verimliliği Etüdü, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 1-54.



**EKLER****EK-1 TEP Hesap Tablosu**

| Miktar |                | Enerji Kaynağı          | Alt Isıl Değer | Birim | TEP Çevrim Katsayısı |
|--------|----------------|-------------------------|----------------|-------|----------------------|
| 1      | ton            | Taş kömürü              | 6.100.000      | kcal  | 0,610                |
| 1      | ton            | Kok Kömürü              | 7.200.000      | kcal  | 0,720                |
| 1      | ton            | Briket                  | 5.000.000      | kcal  | 0,500                |
| 1      | ton            | Linyit Teshin ve sanayi | 3.000.000      | kcal  | 0,300                |
| 1      | ton            | Linyit Santral          | 2.000.000      | kcal  | 0,200                |
| 1      | ton            | Elbistan Linyiti        | 1.100.000      | kcal  | 0,110                |
| 1      | ton            | Petrokok                | 7.600.000      | kcal  | 0,760                |
| 1      | ton            | Prina                   | 4.300.000      | kcal  | 0,430                |
| 1      | ton            | Talaş                   | 3.000.000      | kcal  | 0,300                |
| 1      | ton            | Kabuk                   | 2.250.000      | kcal  | 0,225                |
| 1      | ton            | Grafit                  | 8.000.000      | kcal  | 0,800                |
| 1      | ton            | Kok tozu                | 6.000.000      | kcal  | 0,600                |
| 1      | ton            | Maden                   | 5.500.000      | kcal  | 0,550                |
| 1      | ton            | Elbistan Linyiti        | 1.100.000      | kcal  | 0,110                |
| 1      | ton            | Asfaltit                | 4.300.000      | kcal  | 0,430                |
| 1      | ton            | Odun                    | 3.000.000      | kcal  | 0,300                |
| 1      | ton            | Hayvan ve Bitki Artığı  | 2.300.000      | kcal  | 0,230                |
| 1      | ton            | Ham Petrol              | 10.500.000     | kcal  | 1,050                |
| 1      | ton            | Fuel Oil No:4           | 9.600.000      | kcal  | 0,960                |
| 1      | ton            | Fuel Oil No:5           | 10.025.000     | kcal  | 1,003                |
| 1      | ton            | Fuel Oil No:6           | 9.860.000      | kcal  | 0,986                |
| 1      | ton            | Motorin                 | 10.200.000     | kcal  | 1,020                |
| 1      | ton            | Benzin                  | 10.400.000     | kcal  | 1,040                |
| 1      | ton            | Gazyağı                 | 8.290.000      | kcal  | 0,829                |
| 1      | ton            | Siyah Likör             | 3.000.000      | kcal  | 0,300                |
| 1      | ton            | Nafta                   | 10.400.000     | kcal  | 1,040                |
| bin    | m <sup>3</sup> | Doğalgaz                | 8.250.000      | kcal  | 0,825                |
| 1      | ton            | Kok gazı                | 8.220.000      | kcal  | 0,822                |
| bin    | m <sup>3</sup> | Kok gazı                | 4.028.000      | kcal  | 0,403                |
| 1      | ton            | Yüksek Fırın Gazı       | 535.000        | kcal  | 0,054                |
| bin    | m <sup>3</sup> | Yüksek Fırın Gazı       | 690.000        | kcal  | 0,069                |
| bin    | m <sup>3</sup> | Çelikhane Gazı          | 1.500.000      | kcal  | 0,150                |
| bin    | m <sup>3</sup> | Rafineri Gazı           | 8.783.000      | kcal  | 0,878                |
| bin    | m <sup>3</sup> | Asetilen                | 14.230.000     | kcal  | 1,423                |
| bin    | m <sup>3</sup> | Propan                  | 10.200.000     | kcal  | 1,020                |
| 1      | ton            | LPG                     | 10.900.000     | kcal  | 1,090                |
| bin    | m <sup>3</sup> | LPG                     | 27.000.000     | kcal  | 2,700                |
| bin    | kWh            | Elektrik                | 860.000        | kcal  | 0,086                |
| bin    | kWh            | Hidrolik                | 860.000        | kcal  | 0,086                |
| bin    | kWh            | Jeotermal               | 860.000        | kcal  | 0,086                |