

Bir Gıda Fabrikasında Enerji Verimliliğinin İyileştirilmesi

Selmin ENER RUŞEN*¹, Musab Selahaddin ÇEVİK²

¹Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü,
Akademik Enerji Araştırma Grubu (AKEN), 70200, Karaman, Türkiye

²Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İleri Teknolojiler, Akademik Enerji Araştırma
Grubu (AKEN), 70200, Karaman, Türkiye

(Alınış / Received: 18.12.2018, Kabul / Accepted: 05.07.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 20.12.2020)

Anahtar Kelimeler

Enerji Verimliliği,
Gıda Fabrikası,
Enerji Etüt,
Karaman

Özet: Sanayide enerjinin verimliliği ve tasarruf edilmesi son derece önemlidir. Bu çalışmada özellikle sanayide faaliyet gösteren bir gıda fabrikada enerji verimlilik incelemesi yapılmıştır. Belirlenen gıda işletmesine ait gofret üretim hattı incelenerek detaylı enerji ölçümleri yapılmış ve enerji verimliliği potansiyeli araştırılmıştır. Fabrikanın mevcut enerji durumu incelenerek enerji verimliliğinin sağlanması ve sürekli olabilmesi için çeşitli öneriler yapılmıştır. Yapılan öneriler doğrultusunda doğru yalıtım sistemi uygulaması sonucu basit geri ödeme süresi 0,25 yıl olan uygulama ile %89 ısı kaybının azaltılabileceği belirlenmiştir. Ayrıca kazan sistemlerinde brülör ayarlaması ile kazan veriminin %5,2 artırılabilceği, reküparatör kullanımı, ısı kayıp ve kaçaklarının önlenmesi yoluyla yıllık 3391,9 \$ kazancın sağlanacağı belirlenmiştir. Enerji tüketimi ile oluşan CO₂ salınımı hesaplanarak işletmenin son üç yıllık çevresel etkisi incelenmiştir. Bu çalışma sonuçlarının gıda endüstrisinde tüketilen enerjinin verimli kullanılmasına ve ülkemiz ekonomisine katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

Improvement of Energy Efficiency in a Food Factory

Keywords

Energy Efficiency,
Food Factory,
Energy Audit,
Karaman

Abstract: The efficiency and saving of energy in the industry is extremely important. In this study, energy efficiency examination was carried out in a food factory operating especially in the industry. The wafer production line belonging to the designated food company was examined and detailed energy measurements were made and the energy efficiency potential was investigated. Various recommendations have been made to ensure energy efficiency and continuous energy efficiency by examining the current energy situation of the factory. In accordance with the recommendations made, it was determined that 89% heat loss can be reduced with the application of 0.25 years payback period as a result of the application of the correct insulation system. In addition, it has been determined that boiler yield surged by 5.2% with burner adjustment in boiler systems, and \$3391.9 annual earnings will be achieved through the prevention of a recuperator use, heat loss and leaks. The environmental impact of the enterprise over the last three years has been examined by calculating CO₂ emissions caused by energy consumption. The results of this study are expected to contribute to the efficient use of energy consumed in the food industry and to our country's economy.

1. Giriş

Sanayileşme faaliyetlerinin artması, nüfusun artması, hayat standartlarının yükselmesi ve teknolojinin gelişmesi ile birçok dünya ülkesinde enerji üretim ve tüketimi günden güne artmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) verilerine göre 1970-2016 yılları arasında dünya enerji üretimdeki artış yaklaşık 2 katına çıkmasına karşın Türkiye elektrik enerjisi

tüketimini son 12 yılda ikiye katlamıştır [1]. Bu artış ile birlikte fosil kaynak tüketimi ve atmosfere salınan karbondioksit (CO₂) miktarı da artmakta ve oluşan sera etkisi iklim değişikliklerine sebep olmaktadır [2]. Hükümetler arası iklim değişikliği organizasyonu (IPPC) verilerine göre, 1970-2010 yılları arası insan kaynaklı sera emisyonu miktarının da enerji üretimiyle paralel olarak artış gösterdiği anlaşılmaktadır [3]. Ülkemiz istatistik kurumunun

*İlgili yazar: selmin.enerrusen@gmail.com

2018’nda yayınlamış olduğu rakamlarına göre 2016 yılı toplam seragazi emisyonu CO₂ eşdeğeri olarak 496,1 milyon ton (Mt)’dur. Sektörel seragazi emisyonu incelendiğinde, %72,8 ile enerji kaynaklı emisyonlar, %12,6 endüstriyel ve ürün kullanımı, %11,4 tarımsal işlemler ve %3,3 atık sektörü olduğu görülmektedir. Bu bağlamda, ülkemizde enerjinin etkin kullanımı sağlanarak israfı önlemek, ekonomiyi rahatlatmak ve çevreyi korumak amacıyla 2 Mayıs 2007 tarihinde 26510 sayılı resmî gazetede 5627 sayılı “Enerji Verimliliği Kanunu (EVK)” yayınlanmıştır [4,5]. Bu alandaki diğer önemli gelişme ise 2007’ de yayınlanan EVK’un usul ve esaslarını düzenlemek amacıyla 27 Ekim 2011’ de yayınlanan 28097 sayılı “Enerji Kaynaklarını ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırmasına Dair Yönetmelik”in yürürlüğe girmesidir [5]. Son olarak Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı 9/12/2017 Tarihi ve 2017/50 Sayılı Yüksek Planlama Kurulu Kararı ile 02.01.2018 tarihinde resmi gazetede yayınlanarak yürürlüğe alınmıştır [6,7]. Alınan bu kararlar ile ülkemizin kısa ve orta vadede enerji verimliliği hedeflerine ulaşılabilmesi için oldukça gayretli bir çalışmanın içerisine girdiği anlaşılmaktadır.

Sanayi sektöründe başlıca enerji tüketim alanları: Buhar kazanları, kompresörler, elektrik motorları, pompa sistemleri, ısıtma-soğutma sistemleri ve aydınlatma sistemleri olarak sınıflandırılmaktadır. Bu alanlarda yapılacak uzun ve/veya kısa vadeli enerji verimliliği yatırımları, bilinçlendirme ve eğitim faaliyetleri ile tüketilen enerji miktarında ciddi değişimler gözlenebilir [8]. Ülkemiz genelinde sektörel dağılım olarak incelendiğinde sanayide %20, konut ve şehirleşmede %35, ulaşım sektöründe ise %15 enerji tasarrufu potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir [9,10]. Ülkemizde sanayi sektörlerine göre olası enerji tasarruf oranları incelendiğinde gıda sektöründe %25’e varan enerji tasarrufu sağlanabileceği öngörülmüştür [11]. Sanayi ve konut sektörlerinde yapılabilecek tasarruf çalışmaları; sistem yüküne uygun, yüksek verimli motor kullanımı, basınçlı hava kaçak giderimi ve uygun sistem basıncı seçimi, kompresör giriş havasının dış ortamdan alınması, ısı geri kazanım sistemi kullanımı, uygun yakıt seçimi ve verimli yakmanın sağlanması, uygun kazan seçimi veya mevcut kazan verimi artırma, yanma verim artırma amacıyla hava-yakıt oranı ayarlanması, kazan yakma havasına ön ısıtma uygulaması, yüzey yalıtımı yapılması, yeterli ve verimli aydınlatma sistemi kullanma veya kurulu sistemi revizyonu olarak sıralanmaktadır [12,13].

2. Materyal ve Metot

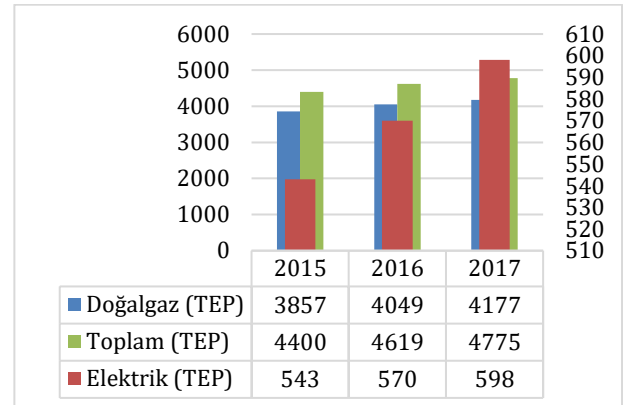
Bu çalışma kapsamında Karaman ilinde bisküvi, çikolata ve gofret üretimi yapan çeşitli işletmeler gezildikten sonra model olarak belirlenen bir gıda işletmesinde fırın, kazan ve yalıtım alanlarında enerji verimliliği ölçümü ve ölçüme bağlı iyileştirme önerileri incelenmiştir. Seçilen gıda fabrikasının

sadece gofret üretim hattına ait genel enerji tüketim ve ürün üretim bilgileri Tablo 1’de verilmiştir. Bu alınan veriler ile enerji tüketimi hesaplanmıştır.

Tablo 1’de E = TEP cinsinden işletmenin yıllık toplam enerji tüketimi ve E = 4775 TEP olduğu bulunur. Ayrıca SET (Spesifik Enerji Tüketimi) ise 1,158 kCal/kg’dır. Şekil 1’de 2015, 2016 ve 2017 yılına ait yıllık ortalama tüketilen enerjinin dağılımı verilmektedir.

Tablo 1. Seçilmiş gıda fabrikasının gofret üretim hattına ait genel enerji tüketim ve ürün üretim bilgileri [14]

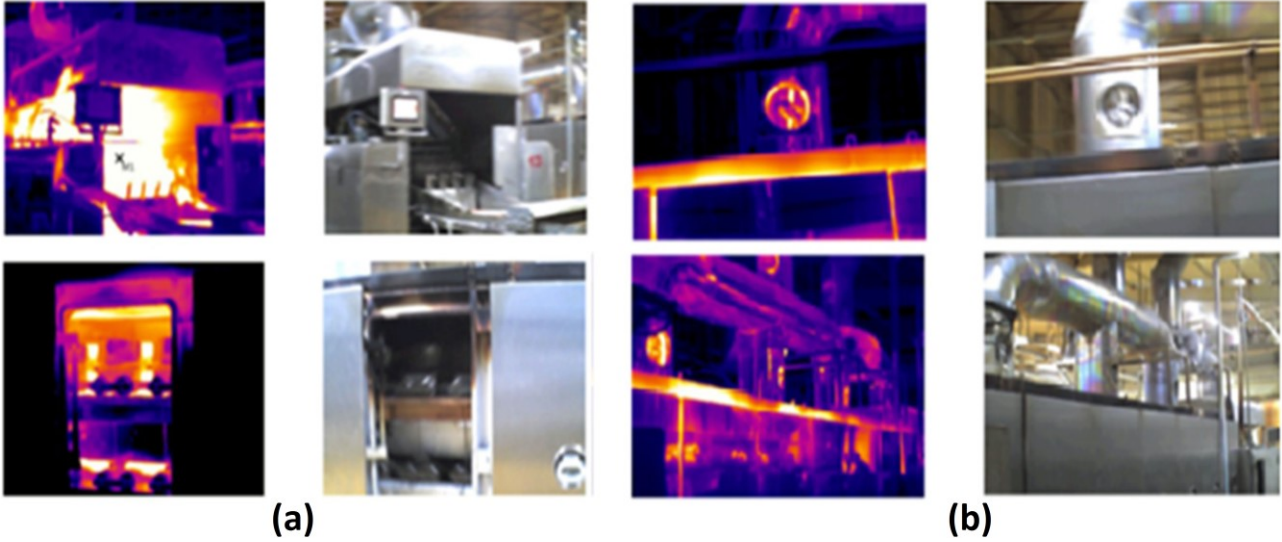
| | |
|--|--------------------------------------|
| Günlük ortalama üretilen ürün miktarı | 112.981,00 kg |
| Günlük ortalama tüketilen elektrik miktarı | 19.057,00 kWh |
| Günlük ortalama tüketilen doğalgaz miktarı | 13.724,00 Sm ³ |
| Yıllık ortalama üretilen ürün miktarı | 4.238,00 ton |
| Yıllık ortalama tüketilen elektrik miktarı | 6.955,718 kWh (598 TEP) |
| Yıllık ortalama tüketilen doğalgaz miktarı | 5.009,335 Sm ³ (4177 TEP) |



Şekil 1. Seçilmiş gıda fabrikasının gofret üretim hattı için 2015, 2016 ve 2017 yıllarına ait ortalama tüketilen enerji dağılımı [14].

2.1. Fırın sistemi

Ölçüm alınan gofret üretim hattında 13 adet pişirme fırını bulunmaktadır. Termal kamera ile görüntülenmenin yanı sıra fırın yakıt tüketimi incelenmiş ancak işletmedeki tüm fırınlar gruplar halinde tek bir bacaya bağlı olduğundan bacagazi ölçümü gerçekleştirilememiştir. Ayrıca göz ile de kontrolü yapılan fırında tavan iç kısmında yanmalardan kaynaklı kararma ve kurum oluşumu gözlemlenmiştir. Fırın içi sıcaklığının 252 °C olduğu termal kamera ve kızılötesi termometre ile belirlenmiş ve Şekil 2-a’da görüldüğü üzere çoğunlukla açık bırakılmış olan fırın kapaklarından iç ısı kaybı gerçekleştiği ve bu ısı kaybını önleyecek bir mekanizma olmadığı belirlenmiştir. Ortam havasına gerçekleşen ısı transferinden dolayı ortam konfor şartları sağlanamamaktadır. Ayrıca Şekil 2-b’de termal



Şekil 2. Kapakları açık durumda olan fırının termal görüntülenmesi (a) ve kapakları kapalı durumdaki fırının termal görüntülenmesi (b) [14].

görüntüsü de verilen kapakları kapalı fırın hattından kapak menteşeleri tam olarak kapatılmadığından (kapaklar oturmadığından) ısı kaybı gerçekleşmektedir. Bu durum kapak izolasyonuna da zarar vermektedir. Bu durumun giderilebilmesi için fırın kapak contası (fitili) düzenli olarak kontrol edilmeli ve hasarlı olan yerler değiştirilmelidir. Fırın sistemi ile ilgili yapılan tüm ölçüm ve hesaplamalar bulgular kısmında detaylarıyla verilmiştir.

2.2. Kazan sistemi

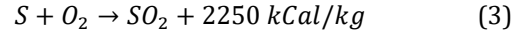
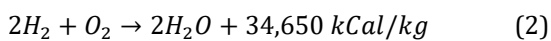
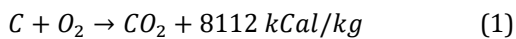
Genel tanım olarak kazan; sistem ihtiyaçları doğrultusunda gerekli-yeterli basınç, sıcaklık ve miktarda sistem türüne göre çoğunlukla doğalgaz, kömür, fuel oil gibi yakıtların yanma enerjisiyle buhar ve/veya sıcak su üreten ekipmandır [15]. Yanmanın gerçekleşmesi için yeterli miktarda havanın yakıt ile karışması ve hava ile yakıtın belirli bir sıcaklığa ulaştırılarak yanma için gerekli zamanın ayarlanması gerekmektedir. Hava miktarı yakıt türü ve kazan tasarımlarına göre değişiklik gösterirken gereğinden fazla hava ısı kaybına, yetersiz hava ise kısmi yanmaya sebep olarak her iki durumda da verimsizliğe neden olur [16].

Tam yanma gerçekleşmesi durumunda, yakıtta bulunan gazlar Tablo 2'de verilmiştir.

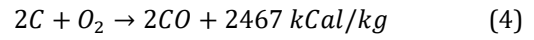
Tablo 2. Tam yanma gerçekleşmesi durumunda yakıtta bulunan gazlar

| | | | |
|----------------|--------|-----------------|--------|
| Karbon | C | Kükürt | S |
| Karbondioksite | CO_2 | Kükürt-dioksite | SO_2 |
| Hidrojen | H_2 | Azot | N |
| Su buharı | H_2O | Azot oksite | NO_x |

Yanma denklemleri;



Yanmanın tam gerçekleşmemesi durumunda ise karbondioksite dönüşmesi gereken karbon oksijenin yetersiz olması sebebiyle karbonmonoksite dönüşerek %70 oranında enerji kaybına sebep olur. Eksik yanma denklemi [17];



Bu nedenle yakıt-hava oranının doğru belirlenmesi yanma verimi dolayısıyla da verimlilik için önem arz etmektedir [16]. Yeterli sıcaklıkta olmayan yanma gazları kazanda kurum ve gaz oluşumuna sebep olacağı gibi yanlış belirlenmiş yanma zamanının da kazandan yüksek miktarda yanmamış yakıt atımına sebep olarak hem yanma verimini hem de kazan verimi düşürecektir. Bu durumların analiz edilebilmesi için en önemli yöntem periyodik bacagazı ölçümleridir [18].

Kazanlarda en çok aranan özellikler ise süreklilik, ucuz ve kaliteli ısı enerjisi üretimi olarak belirtilebilir. Burada süreklilik kazan ömrü boyunca ortaya çıkabilecek olumsuz durumların minimum olması durumudur. Süreklilik ve kalite durumları kazan sistemlerinde birbirlerini tamamlar şekilde olmalıdır. Şöyle ki kazandan beklenen kaliteli buharın değişen giriş ve çıkış koşullarından etkilenmeksizin ısıl gücün, verimin ve buhar özelliklerinin sürekli olarak kazan değerlerine göre belirlenmiş değerlerde (seviyelerde) tutulmasıdır [15].

Kazanlar, yüksek sıcaklık ve basınç şartlarında çalıştığından yıpranmanın sıkça rastlandığı endüstriyel ekipmanlardır. Yıpranma sonucunda bir arıza veya kaza oluşumunu engellemek amacıyla kazanlar periyodik olarak içten ve dıştan kontrol edilmelidir. Kazanlarda yıpranmanın bazı sebepleri aşırı ısınma, korozyon, erozyon, mekanik aşınma şeklinde sıralanabilir [18-20].

Kazan dış kontrolleri yapılırken kazanın çalışır durumda olması kazanın durgun haldeyken fark edilmeyecek aksaklıklarını fark etme açısından yarar sağlayabilir. Kazan temelleri, mesnetler, yanma odası duvarları, boru bağlantıları dış kontrol sırasında gözlemlenerek olası kaçak veya arızalar tespit edilebilir. İç kontroller ise gerekli kapatma önlemleri alındıktan ve bir önceki kontrol sonuçları incelendikten sonra yapılmalıdır. Dramlar, su kolektörleri, kızdırıcı kollektörleri, yanma odası kaplaması, kazan boruları, tüpleri ve flanşları, perdeler (baffles), çekiş damperleri, bacalar iç kontrol sırasında gözlemlenir [21].

İdeal bir kazan; basit yapısının yanı sıra, ısının akışkana en yüksek verimli geçişini sağlayacak malzemeden üretilerek, yeterli akışkan boşluğuna ve verimli yanma özelliğine sahip olmalıdır. Bunların yanı sıra hem kurulum hem de işletme sırasında oluşabilecek sorun ve kazalara karşı güvenlik önlemi olan emniyetli bir yapıda olmalıdır [16].

Kazan sistemlerinde verimi etkileyen parametreler [21]; yanma verimi ve yakıt türü, bacagazından su buharı ve kuru hava nedeniyle olan ısı kayıpları, hava-yakıt oranı ve fazla hava miktarı, bacagazı sıcaklığı, kazan yükü, buhar basıncı, ısıtma yüzeyi kirliliği, kazan yalıtımı ve yüzey ısı kaybı, blöf ısı kaybı, besi suyu sıcaklığı, yanma havası sıcaklığı, kazan boru tesisatı yalıtımı ve yalıtım kalitesi, kondens geri kazanımıdır.

İşletmede ısıtma yüzey alanı 40 m² olan buhar kazanı kullanılmaktadır. Kazanda yüzey blöfü uygulamasının elle yapılmakta olduğu personeller tarafından bildirilirken kazan alt blöfünün zaman sayaçlı ve otomatik olduğu tarafımıza iletilmiştir. Ayrıca gözle yapılan muayenelerde kazan yalıtımında yıpranmalar olduğu ve bağlantı borularında da hasarlar olduğu gözlemlenmiştir. Kazan 24 saat çalıştığından dolayı kazan iç yüzeylerinde kontrol gerçekleştirilememiştir. Ayrıca ölçümler gerçekleştirildiği sırada kazan tam yükte çalışmamaktadır.

2.3. Yalıtım

Endüstriyel alanlarda yapılan ısı yalıtımında asıl amaç; proses ve yapılardan kaynaklı ısı kaybını azaltmaktır. Yalıtım aynı zamanda gürültüyü azaltarak ve yüzey sıcaklığını optimize ederek tesisin daha güvenli işletilmesine katkı sağlanmış olur. Yalıtım amacıyla kullanılan malzemelerde; farklı sıcaklık uygulamalarına uyumluluk, fiziksel olarak uygun mukavemet, basma ve mekanik mukavemeti yüksek, çevreyi kirlilemez yapıda olmak, yanma direnci yüksek, korozyon dayanımı yüksek, kolay uygulanabilir, kimyasal direncin yüksek olması gibi özellikler aranmaktadır [23,24].

Endüstriyel tesislerde ısı yalıtım uygulamaları; ekipman, boru sistemleri ve bina yalıtımı olarak 3

başlık altında incelenmektedir. Ekipman yalıtımı; kazan, tank, kanal, baca, fırın gibi yüksek sıcaklık noktalarının olduğu durumların tümü olarak adlandırılabilir [25]. Ekipman yalıtımında dikkat edilmesi gereken nokta yalıtım kalınlığı, doğru yalıtım malzemesi seçimi ve montajın doğru ve özenli yapılmasıdır. Bina yapı yalıtımı; yönetmelikte belirtilen katsayılara göre belirlenmiş malzemelerin uygun kalınlık seçimi ile zorunlu olarak uygulanması gereken yalıtımdır. Bina yalıtımı ile yazın gerçekleşebilecek ısı kazanç ile kışın gerçekleşecek ısı kayıplar engellenir ve böylece iklimlendirme sistemleri üzerindeki yük azaltılarak tasarruf sağlanır [25].

İnceleme yapılan gıda fabrikasında proseslerde kullanılmak amacıyla buhar kazanları tarafından sağlanan buhar ve sıcak su hatları ve bu hatların kazan ve prosese bağlandığı kısımların yalıtılması enerjinin verimli kullanılabilmesi için önem arz etmektedir. Yalıtımsız olan ya da yalıtımı deforme olmuş olan vana, boru, flanş gibi elemanlardan önemli ölçüde ısı enerjisi kaybı gerçekleşmektedir. Hem yapılarda hem de endüstriyel proseslerde bakıma engel olacağı düşüncesi sebebiyle yalıtım tercih edilmemektedir. Ancak doğru bir şekilde yapılmış yalıtım korozyon ve deformasyona karşıda koruma sağlamaktadır. Yalıtım ile ilgili ölçüm ve hesaplamalar bulgular ve tartışma bölümünde detaylı olarak verilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Kazan sistemleri

Karaman bölgesinde bir gıda işletmesinin gofret üretim hattına buhar sağlayan kazan sisteminde detaylı ölçümler yapılarak enerji verimliliği analizleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 3'te ölçümleri alınan kazan sistemine ait termal ve gerçek görüntüler ile ısı kayıplarının yerleri tespit edilmiştir. Termal kamera ile yapılan ölçüm sonucu elde edilen kazan ön ve arka yüzeyi termal ve gerçek görüntüsü verilmiştir. Bu ölçüm sonucunda kazanın yüzey sıcaklığı ile ilgili ortalama sıcaklık verileri elde edilerek aşağıda detayları ile verilen hesaplamalarda kullanılmıştır. Ancak hesaplamada kullanılan ölçümler yapılırken kazanın tam yükte çalışmadığı ilgili personel tarafından belirtilmiştir.

3.2. Bacagazı ölçümü ve kazan verimi

Seçilen işletmeye ait buhar kazanının bacasından atmosfere atılan bacagazı içerisindeki atık gaz yüzdeleri ve sıcaklığı ölçümü Testo Bacagazı Emisyon Cihazı (Testo-350) ile yapılmıştır. Kazan yüzey sıcaklıkları Testo Termal Kamera (Testo-875-2i) ile ölçülmüştür. Sadece kazana ait doğalgaz sayacından 10 dakikada geçen tüketim miktarı tespit edilerek bir saatteki gaz tüketimi hesaplanmıştır. Bacagazı analiz cihazı ile kazan bacasında ölçüm için bulunan delik kullanılarak ölçümler alınmıştır. Aynı delik pitot

tüpüyle hız ölçümü içinde kullanılmıştır. Alınan ölçümler ve yapılan kayıp hesaplamaları aşağıda verilmiştir. Tablo 3’de yapılan kazan ölçüleri ve ortalama sıcaklık değerleri verilmektedir.

Tablo 4. Ortalama bacagazı ölçüm değerleri [14]

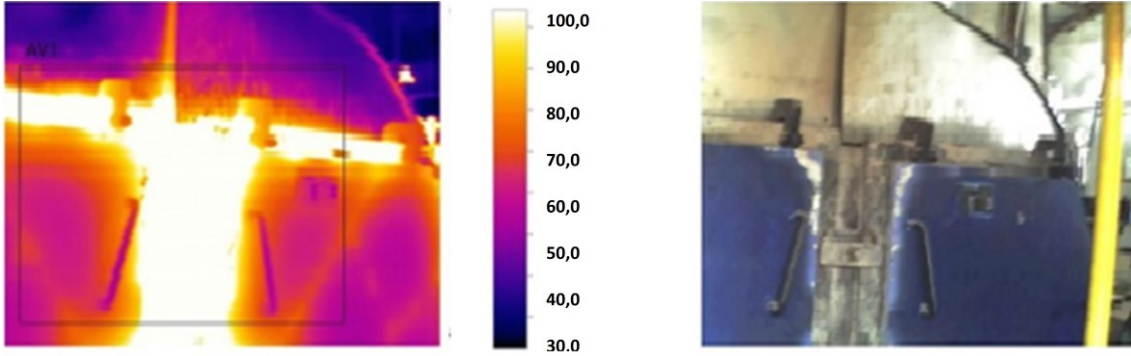
| Ölçülen Değerler | Birim | Değer |
|------------------------|-------|-------|
| Bacagazı Sıcaklığı | °C | 113,9 |
| O ₂ miktarı | % | 14,41 |
| CO oranı | ppm | 821 |
| Ortam Sıcaklığı | °C | 20 |

Ayrıca besi suyu iletkenliği ($\mu\text{S}/\text{cm}$ veya ppm): 501,43 $\mu\text{S}/\text{cm}=351$ ppm (ppm=0,7* $\mu\text{S}/\text{cm}$) ve Buhar basıncı

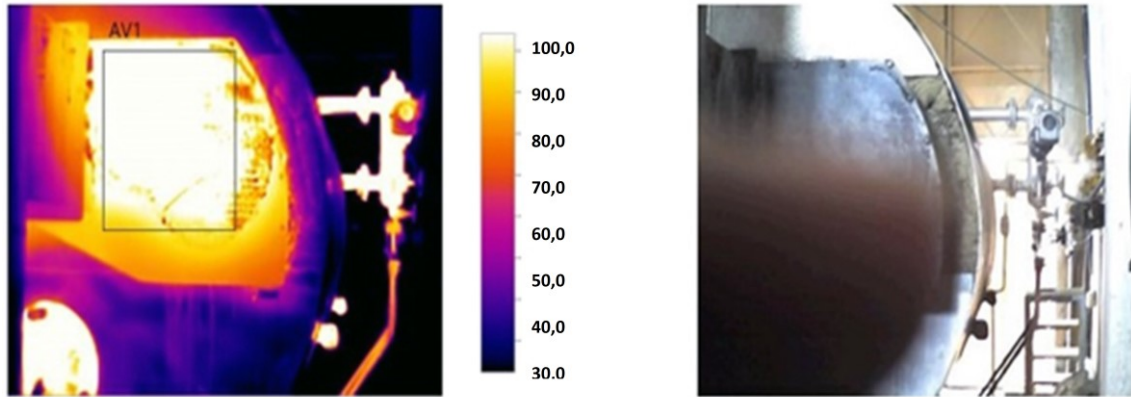
(bar): 8 bar olarak ölçülmüştür. Kazan ile ilgili hesaplamalarda kullanılan değerler Tablo 4’te bacagazı ölçümleri ve Tablo 5’de ise yakılan doğalgaza ait değerler tablo halinde verilmektedir.

Tablo 5. Yakıt ile ilgili değerler

| Doğalgaz Değerleri | Birim | Değer |
|-----------------------------------|----------------------|----------|
| Yakıt Tüketimi | m ³ /saat | 36,48 |
| Karbon | % | 71,06 |
| Hidrojen | % | 22,80 |
| Alt Isıl Değeri | kCal/Nm ³ | 8420,355 |
| Üst Isıl Değeri | kCal/Nm ³ | 9237,63 |
| Özgül Ağırlığı | Kg/Nm ³ | 0,61018 |
| (CO ₂) _{max} | % | 11,74 |



| Ölçüm Nesneleri | Sıcaklık [°C] | Emisiv. | Yans. Sic. [°C] |
|-----------------|---------------|---------|-----------------|
| Ortalama Alan 1 | 94,8 | 0,89 | 20,0 |



| Ölçüm Nesneleri | Sıcaklık [°C] | Emisiv. | Yans. Sic. [°C] |
|-----------------|---------------|---------|-----------------|
| Ortalama Alan 1 | 110,5 | 0,89 | 20,0 |

Şekil 3. Kazan ön ve arka yüzeyi termal ve gerçek görüntüsü [14].

Tablo 3. Kazan ölçüleri ve ortalama sıcaklık değerleri [14]

| Yüzey | Çap | Uzunluk | Alan Hesabı | Alan | Ortalama |
|---------|-------|---------|-------------|----------------------|----------|
| Ön | 2,4 m | 3,5 m | πr^2 | 4,52 m ² | 94,8 °C |
| Arka | 2,4 m | 3,5 m | πr^2 | 4,52 m ² | 110,5 °C |
| Sol Yan | 2,4 m | 3,5 m | πrL | 15,83 m ² | 60,0 °C |
| Sağ Yan | 2,4 m | 3,5 m | πrL | 15,83 m ² | 60,0 °C |

3.3. Isı kayıpları hesabı

3.3.1. Kuru bacagazı yoluyla olan ısı kaybı (L_{KBG})

Sistem içerisinde kuru bacagazı yoluyla oluşan ısı kayıplarının hesaplanmasında kullanılan denklem 5'te verilmiştir. CO_2 hesaplarında ise denklem 6 kullanılmıştır. Toplam kuru bacagazı ısı kaybı %7,74 olarak bulunmuştur.

$$L_{KBG} = \frac{K * (T_{BG} - T_0)}{CO_2} \quad (5)$$

$$* \frac{\text{Yakıtın üst ısı değeri}}{\text{Yakıtın alt ısı değeri}}$$

$$CO_2 = \left(1 - \left(\frac{O_2}{21}\right)\right) * (CO_2)_{max} \quad (6)$$

$$K = \frac{69,7 * C_{yakıt} * (\text{yakıt alt ısı değeri})^2}{(\text{yakıt üst ısı değeri})^3} \quad (7)$$

$$L_{KBG} = \% 7,74 \quad (8)$$

3.3.2. Bacagazındaki nem nedeniyle olan ısı kaybı (L_{NBG})

Bacagazındaki nem yoluyla oluşan ısı kayıplarının hesaplanmasında kullanılan denklem 9 olarak verilmiştir. Toplam bacagazındaki nem nedeniyle ısı kaybı %1,31 olarak bulunmuştur.

$$K_{NBG} = \frac{(9 * H_2) * (50,00 - T_0 + (0,50 * T_{BG}))}{\text{yakıt alt ısı değeri}} \quad (9)$$

$$L_{NBG} = \% 1,31$$

3.3.3. Bacagazındaki yanmamış karbonmonoksit nedeniyle olan ısı kaybı (L_{COBG})

Sistem içerisinde bacagazındaki yanmamış karbonmonoksit nedeniyle olan ısı kaybı hesaplanmasında kullanılan denklem 10'da verilmiştir. Toplam bacagazındaki yanmamış karbonmonoksit nedeniyle olan ısı kaybı %0,76 olarak bulunmuştur.

$$L_{COBG} = \frac{K_2 * CO_{BG}}{CO_2 + CO_{BG}} \quad (10)$$

$$* \frac{\text{Yakıtın üst ısı değeri}}{\text{Yakıtın alt ısı değeri}}$$

K_2 değeri Doğalgaz için 32'dir.

$$L_{COBG} = \% 0,76 \quad (11)$$

$$L_{COBG} = \% 0,76$$

3.3.4. Kazan yüzeyinden radyasyon ve konveksiyonla olan ısı kaybı (L_{RK})

Termal kamera ile kazan yan yüzeyleri, arka ve ön yüzey sıcaklıkları ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları Tablo 3 kazan ölçüleri ve ortalama sıcaklık değerleri tablosunda verilmiştir.

$$L'_{RK} = (U_r + U_c) * A * (T_{yüzey} - T_{ortam}) \quad (12)$$

$$U_r = \frac{E * 5,67}{(T_{yüzey} - T_{ortam})} * \left[\left(\frac{T_{yüzey}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{ortam}}{100} \right)^4 \right] \quad (13)$$

$$U_c = B * (T_{yüzey} - T_{ortam})^{0,25} \quad (14)$$

Bu eşitliklerde, emittivite katsayısı (E): 0,77 olarak, yatay silindirik yüzey için B : 1,20 olarak alınmış ve yakıt tarafından verilen ısı: yakıt tüketimi ve yakıt alt ısı değeri çarpımıyla elde edildikten sonra kullanılmıştır. Termal kamera ile kazan yan yüzeyleri, arka ve ön yüzey sıcaklıkları ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları Tablo 3'te bulunan ve hesaplanan U_r (radyasyon ile olan ısı iletim katsayısı) ve U_c (konveksiyonel ısı iletim katsayısı) değerleri ise Tablo 6'de verilmiştir. Kuru bacagazı yoluyla olan ısı kaybı, bacagazındaki nem nedeniyle olan ısı kaybı, bacagazındaki yanmamış karbonmonoksit nedeniyle olan ısı kaybı, kazan yüzeyinden radyasyon ve konveksiyonla olan ısı kaybı, blöf nedeniyle olan ısı kaybı, toplam ısı kaybı ve kazan verimi formül ve detayları ile verilerek hesaplanmıştır [26].

$$L'_{RK} = 18.318,34 * 0,860 = 15753,77 \text{ kcal/saat} \quad (15)$$

$$L_{RK} = \frac{L'_{RK}}{\text{Yakıt tarafından verilen ısı}} \quad (16)$$

$$L_{RK} = \frac{15753,77}{307174,55} * 100 = \% 5,13 \quad (17)$$

3.3.5. Isı kayıpları toplamı (L)

Sistem içerisinde oluşan toplam ısı kaybı denklem 18'de yer almaktadır. Bu denklem; kuru bacagazı yoluyla oluşan ısı kayıpları, bacagazındaki nem yoluyla oluşan ısı kayıpları, bacagazındaki yanmamış karbonmonoksit nedeniyle olan ısı kaybı ve kazan yüzeyinden radyasyon ve konveksiyonla olan ısı kaybı toplamı olarak verilmiştir.

$$L = L_{KBG} + L_{NBG} + L_{COBG} + L_{RK} \quad (18)$$

3.3.6. Blöf nedeniyle olan ısı kaybı

Blöf, buhar kazanı içerisinde buharlaşma sonucunda konsantrasyonu artan çözünmüş veya çözünmemiş katı madde miktarının kazan için belirlenen seviyede kalabilmesi için kazan suyunun bir kısmının sistemden uzaklaştırılması işlemine denir. Blöf miktarının (BM) hesaplanmasında aşağıdaki denklemler kullanılmaktadır. Burada T_B Blöf Sıcaklığı, T_{H2O} ise besi suyu sıcaklığıdır.

$$BM = \frac{\text{Besi suyu iletkenliği}}{\text{Kazan suyu iletkenliği}} \times 100 \quad (19)$$

$$L_B = \frac{(T_B - T_{H2O}) * BM * (100 - L)}{\left((T_B - T_{H2O}) * BM \right) + \left((100 - BM) * (660 - T_{H2O}) \right)} \quad (20)$$

$\frac{\text{Yakıtın üst ısıl değeri}}{\text{Yakıtın alt ısıl değeri}}$

3.3.7. Toplam ısı kaybı (L_{Toplam})

Toplam ısı kaybı kuru bacagazı yoluyla olan ısı kaybı, bacagazındaki nem nedeniyle olan ısı kaybı, bacagazındaki yanmamış karbonmonoksit nedeniyle olan ısı kaybı, kazan yüzeyinden radyasyon ve konveksiyonla olan ısı kaybı ısı kayıpları toplamından gelen L ve blöf kaybının LB toplamından elde edilir. Bu sistem için %16,45 olarak bulunmuştur.

$$L_{Toplam} = L + L_B = \% 16,45 \quad (21)$$

Tablo 6. Hesaplanan Ur ve Uc değerleri [14]

| Yüzey | Ort. Yüzey Sıcaklığı (K) | U _r (W/m ² K) | U _c (W/m ² K) | U _r + U _c (W/m ² K) | (U _r +U _c)*A _r /(T _r -T _c) (W) |
|---------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|---|
| Ön | 367,8 | 6,38 | 3,53 | 9,91 | 3352,91 |
| Arka | 383,5 | 6,88 | 3,70 | 10,58 | 4331,83 |
| Sol Yan | 333,0 | 5,38 | 3,02 | 8,39 | 5316,80 |
| Sağ Yan | 333,0 | 5,38 | 3,02 | 8,39 | 5316,80 |
| Toplam | | | | | 18318,34 |

3.4. Kazan verimi hesabı

Toplam Kazan verimini toplam ısı kaybı denkleminin 100'den çıkarılması ile elde ederiz. Buna göre sistemdeki buhar kazanı %83,55 verim ile çalışmaktadır. Bu sistemin gereken verimlilik artırıcı önlemler ve tadilatlar ile verimini artırılabilirliği öngörülmüştür.

$$\text{Verim} = 100 - L_{Toplam} = \% 83,55 \quad (22)$$

3.5. Fazla hava oranı hesabı

Sistemdeki fazla hava oranı hesaplamalarında bacagazı ölçüm değerlerinden elde edilen O₂ verisi kullanılmaktadır.

$$\text{Fazla Hava Oranı} = \frac{O_2}{(21 - O_2)} * 100 \quad (23)$$

$$= 1 + \frac{\text{Hava Fazlalık Katsayısı} (\lambda)}{\frac{\text{Fazla Hava Oranı}}{100}}, \quad \lambda = 3,19 \quad (24)$$

Literatürde doğalgaz kullanılan kazanlar için bacagazı analizinde O₂ miktarının optimum %2-4 arasında ve CO₂ miktarının %9-11 arasında olması gerektiğini belirtmişlerdir [17,27,28]. Bu durumda fazla hava oranı hesaplamasını O₂ miktarının %4 olduğu varsayılarak yaparsak;

- Kuru bacagazıyla olan ısı kaybı $L_{KBG} = \%3,00$
- Bacagazındaki yanmamış karbonmonoksit yoluyla olan ısı kaybı $L_{COBG} = \%0,30$
- Toplam ısı kaybı (L_{Toplam}) ve verim ise:

$$L_{Toplam} = L_{KBG} + L_{NBG} + L_{COBG} + L_{RK} + L_B \quad (25)$$

Verim=%88,75, Fazla hava oranı=%23,53 ve Hava Fazlalık Katsayısı (λ)=1,24 olarak bulunmuştur.

Yapılan hesaplamalarda görüldüğü üzere brülör ile yapılabilecek O₂ miktarı optimizasyonu ile %83,55 olan kazan verimi %88,75'e yükselmiştir. Bu verimlilik artışıyla gerçekleştirilen yakıt tasarrufu ve finansal karlılığı;

$$\text{Yakıt Tasarrufu} = \text{Yakıt Tüketimi} * \left[1 - \left(\frac{\text{İlk Verim}}{\text{Son Verim}} \right) \right] \quad (26)$$

$$\text{Tasarruf} = \text{Yakıt Tasarrufu} * \text{Yakıt Birim Fiyatı} \quad (27)$$

Yakıt Tasarrufu= 2,14 m³/saat ve toplam tasarruf yıllık 18746,4 m³ yakıt tasarrufu ile finansal olarak 5998,85 \$ tasarruf edilecektir.

3.6. Yalıtım hesabı

Kazan ve fırın ünitesi, buhar dağıtım hattındaki sıcaklıklarının termal kamera ile ölçülmesi sonucunda yalıtım ile ilgili kaçaklar ve enerji kayıpları kolayca tespit edilmiştir. Boru yalıtımı bağlantı ve iletim ekipmanlarından gerçekleşen ısı kazanç veya kayıpları engellemek için uygulanmaktadır. Yalıtımsız flanştan gerçekleşecek ısı kaybının yine aynı çap ve yüzey sıcaklığına sahip 0,5 m uzunluklu yalıtımsız borudan gerçekleşecek ısı kaybına eş değer olduğu hesaplamalar sonucunda görülmektedir [29].

Boru hatları üzerindeki vana, pislik tutucu gibi ekipmanlarda oluşan kayıpları azaltmak için her ekipmana uygun tasarım ve montajı yapılabilen yalıtım ceketleri mevcuttur [29].

İncelenen fabrikada ısı kayıplarının belirlenebilmesi için Testo 875 X2i model Termal Kamera kullanılmıştır. Termal kamera ile alınan ölçümler IRSoft yazılımı kullanılarak analiz edilmiş ve her bir yüzeyin sıcaklık değerleri ayrı ayrı belirlenmiştir. İşletme bünyesinde alınan bazı termal kamera görüntüleri sıcaklık skalaları ve gerçek görüntüleri ile birlikte Şekil 4’de verilmiştir.

Fırın, kazan ve buhar hattında bulunan vanalarda yalıtım uygulaması öncesinde yüzeylerden gerçekleşen ısı kaybı miktarı silindirik ve düzlemsel yüzeyler dikkate alınarak ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Öncelikle, buhar hattındaki vanalar için yalıtım hesabı yapmak üzere kazan sistemine bağlı bulunan farklı türdeki vanalar ve adetleri belirlenmiştir (Tablo 7). Bu vanalardan bazıları Şekil 4’de görülmektedir. Vanalar için yapılan ısı kaybı hesabında; bağlı bulunduğu boruya flanş ile bağlantı yapılmış yalıtımsız bir vanadan olan ısı kaybı aynı çapta ve yüzey sıcaklığında 2,5m uzunluğunda yalıtımsız borudan olan ısı kaybına eş değer olduğu kabulünden hareket edilmiştir [30,31].

Tablo 7. Kazan sistemine bağlı vana ölçüleri ve sayısı [14]

| Vana Ölçüsü | Dış Çap (mm) | Vana Sayısı | Cidar Kalınlığı (mm) | İç Çap (mm) |
|------------------------|--------------|-------------|----------------------|-------------|
| 1 ^{1/2} DN 40 | 48,3 | 7 | 3,7 | 40,9 |
| 3” DN 80 | 88,9 | 5 | 5,5 | 77,9 |
| 6” DN 150 | 168,3 | 3 | 7,1 | 154,1 |

Silindirik yüzeylerden gerçekleşen ısı kaybı hesaplamalarında kullanılan eşitlikler aşağıda verilmektedir [32];

$$U_c = B * \left(\frac{T_s - T_a}{d_1} \right)^{0,25} \quad (28)$$

$$U_r = E * 5,67 * 10^{-8} * [T_s^2 + T_a^2] * (T_s - T_a) \quad (29)$$

$$Tasarruf = Yakıt Tasarrufu * Yakıt Birim Fiyatı \quad (30)$$

$$Q_{y\ddot{o}} = (U_r + U_c) * \pi d_1 * (T_s - T_a) \quad (31)$$

$$Q_{ys} = \frac{\pi * (T_s - T_a)}{\sum R} \quad (32)$$

Burada, $Q_{y\ddot{o}}$: Yalıtım öncesi ısı kaybı (W/m), Q_{ys} : Yalıtım sonrası ısı kaybı (W/m), U_c : Konveksiyon ile ısı transfer katsayısı (W/m²K), U_r : Radyasyon ile olan ısı transferi katsayısı (W/m²K), T_s : Yüzey sıcaklığı, T_a : Ortam sıcaklığı, B : Çarpım faktörü, E : Emisivite, d_1 : Boru dış çapı (m), d_2 : Yalıtım sonrası dış çap (m),

ve λ yalıtım malzemesi ısı iletkenliği (W/mK), U_{so} : Yüzeysel ısı transfer katsayısıdır (W/mK).

Tablo 8. Farklı yüzey rürü ve yönlendirmesine göre B değerleri [31]

| Yüzey Türü | B Değeri |
|----------------|---------------------------------|
| Dik Yüzey | 1,45 |
| Yatay Yüzey | Üst Kısım 1,7 Alt Kısım 0,85 |
| Yatay Silindir | 1,2 |

İzolasyonun 25 mm kalınlığında ısı iletkenliği 0,044 W/mK taşıyıcı vana ceketini kullanılarak yapılması tasarlanmıştır. Bu sebeple, hesaplamalarda toplam izolasyon kalınlığı 50 mm olarak alınmıştır. Böylece, yalıtım sonrası dış çap (d_2) değerleri d_1+50 mm olacak şekilde hesaplanmıştır. Yukarıda verilen eşitlikler yardımıyla yapılan vana ceketini uygulaması hesabı sonrasında gerçekleştirilecek enerji tasarrufu miktarı Tablo 11’de verilmiştir. Hesaplamalarda E (Emisivite): 0,89 olarak B (Çarpım Faktörü): 1,2 olarak, vana ceketini ısı iletkenlik Katsayısı: 0,044 W/mK olarak kabul alınmıştır.

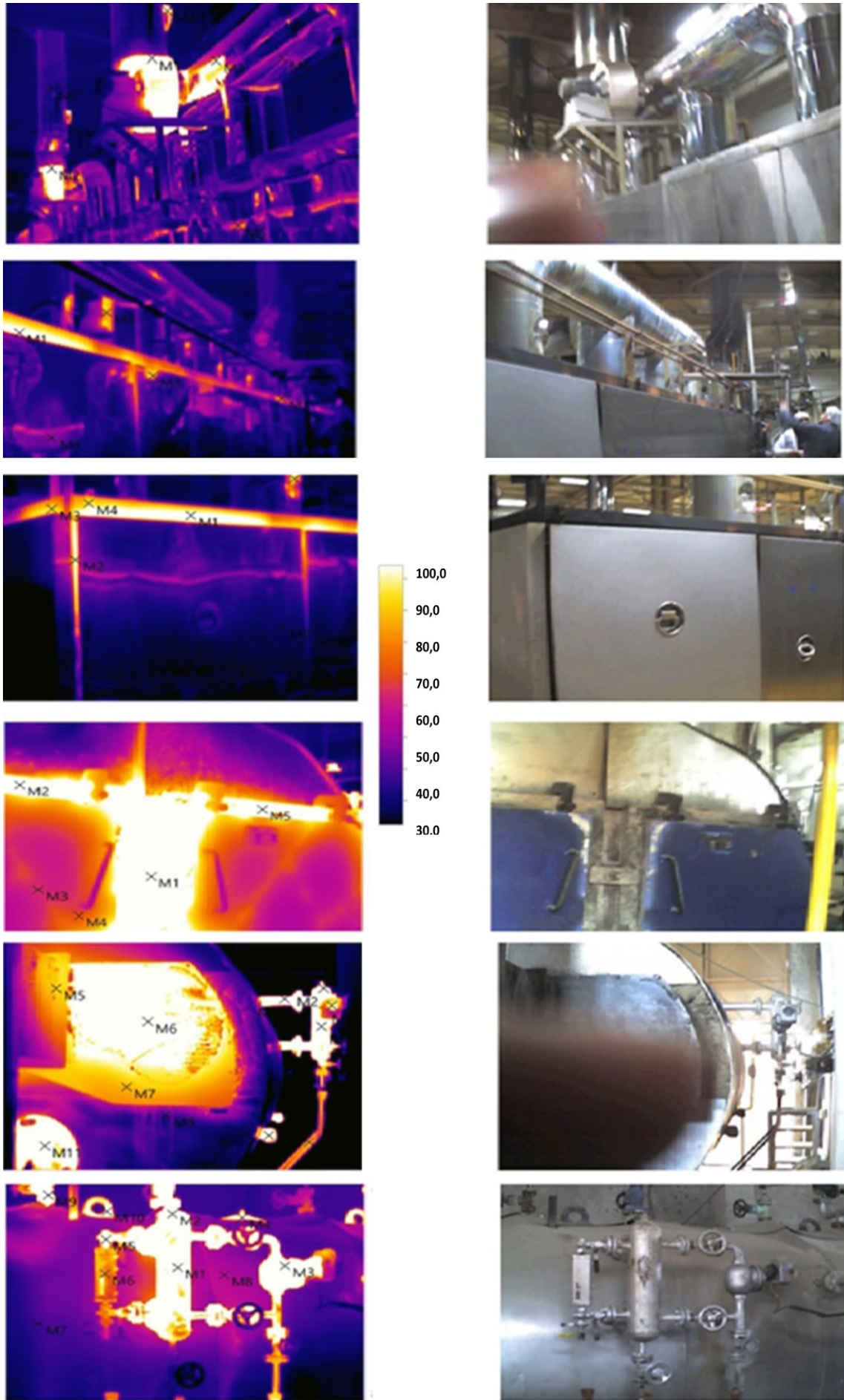
Tablo 9. Vana ceketini uygulaması ile gerçekleştirilecek tasarruf değeri hesabı (T_s : Vana yüzey sıcaklıkları ortalama değer olarak alınmıştır) [14]

| Vana Ölçüsü | DN40 | DN80 | DN150 |
|---|-----------------|----------|----------|
| T_s (K) | 388,60 | 387,00 | 390,30 |
| T_a (K) | 293,00 | 293,00 | 293,00 |
| U_c (W/m ² K) | 7,67 | 6,55 | 5,63 |
| U_r (W/m ² K) | 8,69 | 8,63 | 8,76 |
| $Q_{y\ddot{o}}$ (W/m) | 237,29 | 398,53 | 740,72 |
| Q_{ys} (W/m) | 38,44 | 59,11 | 103,93 |
| Q_{fark} (W/m) | 198,85 | 339,42 | 636,79 |
| $Q_{eşdeğer Toplam Tasarruf}$ (W) | 3479,91 | 4.242,78 | 4.775,96 |
| Tüm vanalar için toplam Enerji Tasarrufu (W) | 12498,66 | | |

Tablo 10’da farklı vana ölçülerine göre verilmiş vana ceketleri fiyatları dikkate alındığında vana ceketini uygulaması maliyeti 585,5 USD (09/08/2018 USD kuru: 5,28 TL) olarak belirlenmiştir (Tablo 11). Bu tutara ek olarak 300 USD keşif ve montaj masrafı eklenerek toplam maliyet 885,5 USD olarak belirlenmiştir.

İşletmede incelenen buhar kazanı ünitesinin tam kapasite olarak 365 gün 24 saat esasına göre kesintisiz olarak çalıştığı varsayılarak yapılan hesaplamalarda dış ortam sıcaklığı (T_a) buhar kazanı ünitesinin bulunduğu ortamın sıcaklığı olarak 20 °C ölçülmüş ve yıl boyunca bu sıcaklıkta sabit kaldığı kabul edilerek hesaplamalar gerçekleştirilmiştir (Tablo 11).

Vana Yalıtımı için Basit Geri Ödeme Süresi 0,25 yıl olarak bulunmuştur. Diğer taraftan fırın ve kazan yüzeyleri üzerindeki yalıtım uygulamaları Düzlem Yüzeylerde yapılan ısı kaybı hesaplarında kullanılan eşitlikler yardımıyla çözümlenebilmektedir [32].



Şekil 4. Fırın ve kazana ait termal kamera görüntüleri [14].

Tablo 10. Vana çeketi fiyatları [33]

| Vana Ölçüsü | Vana Adedi | Adet Fiyatı (USD) | Toplam (USD) |
|-------------------------|------------|-------------------|--------------|
| DN 40 | 7 | 32,5 | 227,5 |
| DN 80 | 5 | 41,0 | 205,0 |
| DN 150 | 3 | 51,0 | 153,0 |
| Keşif ve Montaj Bedeli | | | 300,0 |
| Toplam Yatırım Maliyeti | | | 885,5 |

Tablo 11. Isı kaybı ve tasarruf tutarları

| | |
|--|----------|
| Kullanılan Doğalgaz Alt Isıl Değeri (kcal/m ³) | 8364,26 |
| Doğalgaz Birim Fiyatı (USD/m ³) | 0,32 |
| Toplam Isı Kaybı (W= Joule/s) | 12498,66 |
| Toplam Isı Kaybı (Kcal/h) | 10764,39 |
| Toplam Isı Kaybı Yakıt Eşdeğeri (m ³ /h) | 1,28 |
| Toplam Isı Kaybı Yakıt Eşdeğeri (m ³ /yıl) | 11273,69 |
| Yıllık Tasarruf Tutarı (USD/yıl) | 3607,58 |
| Yatırım Maliyeti (USD) | 885,5 |

$$U_c = B * (T_s - T_a)^{0,25} \quad (33)$$

$$U_r = \frac{E * 5,67}{(T_s - T_a)} * \left[\left(\frac{T_s}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_a}{100} \right)^4 \right] \quad (34)$$

$$Q_{y\ddot{o}} = (U_r + U_c) * A * (T_s - T_a) \quad (35)$$

$$Q_{ys} = A * (T_s - T_a) / \sum R \quad (36)$$

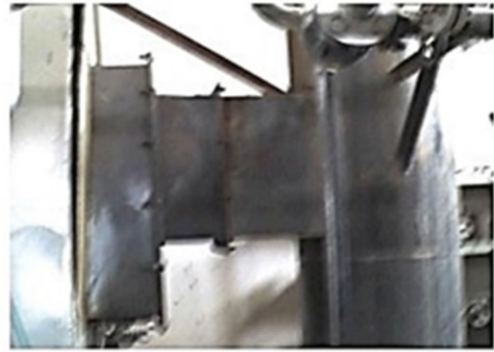
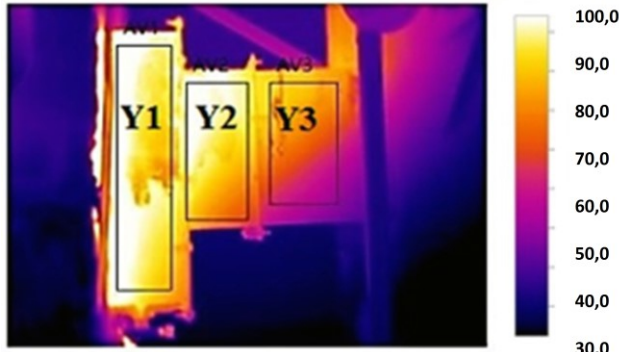
$$\sum R = \frac{L}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_a} \quad (37)$$

$$Enerji \text{ Tasarrufu} = Q_{y\ddot{o}} - Q_{ys} \quad (38)$$

Burada L (m) yalıtım malzemesi kalınlığı, α_d (W/mK) konveksiyon ısı iletim katsayısı ve λ (W/mK) yalıtım malzemesi ısı iletim katsayısıdır.

Şekil 4'de verilen termal görüntülerden anlaşılacağı üzere fırın hattının yan ve üst yüzeyleri 40-60 °C civarında sıcaklıklara sahip olduğundan ek bir yalıtım uygulamasına ihtiyaç duymamaktadır. Ancak, daha öncede bahsedildiği gibi fırın hattından kapak menteşeleri tam olarak kapatılmadığından ısı kaybı gerçekleşmekte ve bu durum kapak izolasyonuna da zarar vermektedir. Bu bölgelerin sürekli kontrol altında tutularak kapak contalarının değiştirilmesi yoluyla enerji tasarrufu yapılması mümkündür. Ayrıca, ilerleyen zamanlarda yüzey sıcaklık değerlerinin aşırı yükselmesi durumunda yalıtımlarının yenilenmesi yoluyla enerji tasarrufu sağlanması da mümkün olabilir.

Kazan sistemine bakıldığında ise, özellikle kazanın arka baca bağlantısı kısmında önemli bir ısı kaybının olduğu Şekil 5'te verilen termal görüntüden anlaşılmaktadır. Bu bölgenin termal görüntüsündeki yüzeylere ait ölçüm değerleri Tablo 12'de verilmiştir. Kazanın baca bağlantısı kısmına ait ölçümlerden yola çıkılarak yukarıdaki eşitlikler yardımıyla yapılan hesaplamalar sonucunda bu kısımdaki ısı kaybının yıllık tutarı ise Tablo 13'de verilmiştir.

**Şekil 5.** Seçilmiş yüzeylerin termal ve gerçek görüntüsü [14].**Tablo 12.** Düzlemsel yüzeylerden olan ısı kaybı [14]

| | | Konveksiyonla Isı Transferi | | | | | Radyasyonla Isı Transferi | | | |
|-------------------|-----------|-----------------------------|------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------------|----------------|------|----------------|
| | | L1 | L2 | A _{Toplam} | T _s (K) | T _a (K) | B | U _c | E | U _r |
| Kazan | Y1 | 0,15 | 0,80 | 0,48 | 372,30 | 293,00 | 1,45 | 4,32 | 0,89 | 7,536 |
| Baca | Y2 | 0,20 | 0,50 | 0,40 | 367,90 | 293,00 | 1,45 | 4,26 | 0,89 | 7,377 |
| Bağlantısı | Y3 | 0,35 | 0,50 | 0,70 | 347,00 | 293,00 | 1,45 | 3,93 | 0,89 | 6,661 |

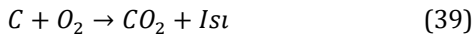
Tablo 13. Belirlenen yüzeylerden gerçekleşen ısı kaybı yıllık tutarı [14]

| | Q _{yö} (W) | Q _{ys} (W) | Q _{fark} (W) | Yıllık Kayıp Tutarı (USD/yıl) |
|---------------|---------------------|---------------------|-----------------------|-------------------------------|
| Y1 | 451,54 | 48,47 | 403,07 | 114,65 |
| Y2 | 348,82 | 38,15 | 310,67 | 88,19 |
| Y3 | 400,38 | 48,13 | 352,24 | 100,19 |
| Toplam | 1200,74 | 134,75 | 1065,01 | 303,03 |

Buhar kazanının yine tüm yıl boyunca tam kapasite ile çalıştığı, dış ortam sıcaklığının (T_a) yıl boyunca 20 °C sıcaklıkta sabit kaldığı ve yalıtım malzemesi olarak 5 cm taşyünü ile izole edildiği kabul edilerek yapılan hesaplamalara göre, yaklaşık 1.5 m²'lik bir alanın yalıtılması ile elde edilebilecek yıllık toplam enerji tasarruf miktarı 1065 W ve bunun karşılığında 303,03 USD olarak hesaplanmıştır. Burada ki değerlerden de anlaşılacağı üzere sistem yalıtımsız durumda iken gerçekleşen ısı kayıpları sebebiyle enerji sarfiyatı yüksektir ve enerji boşa harcanmaktadır. Vanalarda gerçekleşen yalıtım sonrası ısı kaybı değerleri Tablo 9'da ve belirlenen yüzeylerden gerçekleşen ısı kaybı değerleri ise Tablo 13'de özetlenmiştir.

3.7. CO₂ Salınımı

Özellikle fosil kaynaklı yakıtların yanması sonucunda açığa çıkan CO₂ temel sera gazı olarak kabul edilir. CO₂ salınımının artmasıyla beraber atmosferde ısı geçişleri artmaktadır. İncelediğimiz işletmede yakıt olarak kullanılan doğalgazın yanması sonucu gerçekleşen CO₂ salınımı hesap yöntemi ve yıllık CO₂ salınım miktarı aşağıda verilmiştir. Seçilen gıda işletmesinin gofret üretim hattında yıllık tüketilen yakıt miktarları ve bu yakıtlardan kaynaklı CO₂ salınımı aşağıdaki gibi hesaplanarak, elde edilen değerler ile birlikte Tablo 14' te verilmiştir.



C (karbon) ve O (oksijenin) atom kütleleri sırasıyla 12 ve 16'dır. Buradan CO₂ (karbondioksit) atom kütlesi 44 olarak hesaplanır. Doğalgaz içerisinde bulunan sabit C (karbon) oranı %71,09 olarak belirlenmiştir. Doğalgazın 1 Sm³'ünün yanması ile oluşacak CO₂ [34,35];

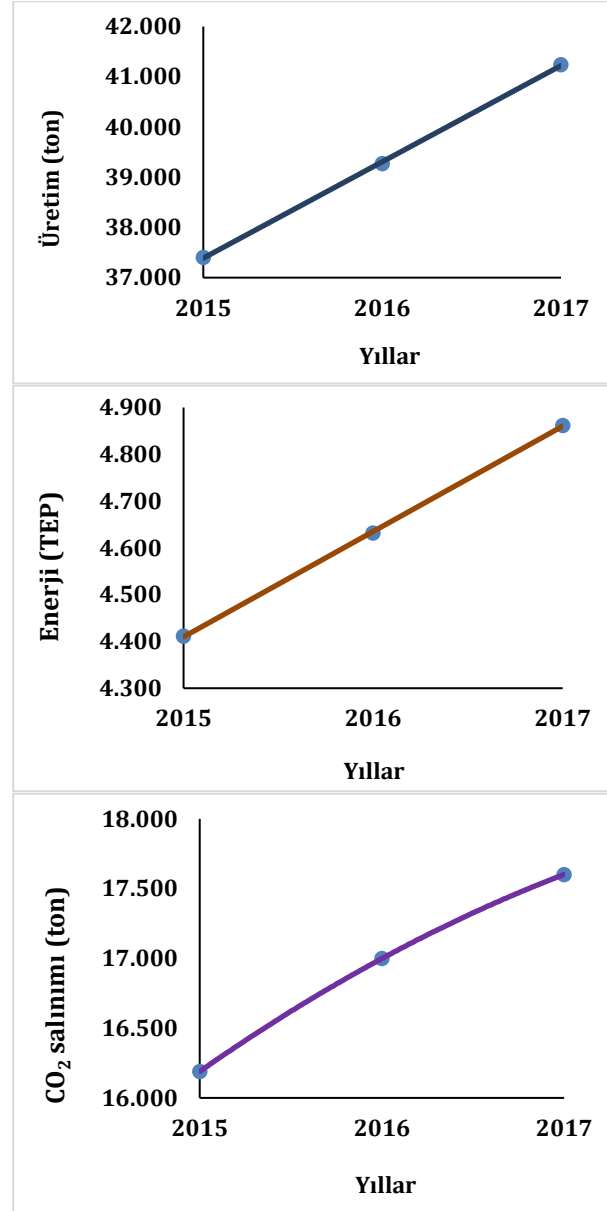
$$\text{Sabit C Oranı} / 100 * \left(\frac{m_{aCO_2}}{m_{aC}} \right) = 2,61 \text{ kg} / \text{Sm}^3 \text{ CO}_2 \quad (40)$$

olarak belirlenmiştir. Elektrik enerjisi için ise tüketilen her kWh başına Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC-Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli) 0,5 ile 0,6 arası bir çarpan değeri belirlemiştir. Hesaplamamızda ortalama olması açısından 0,55 değeri kullanılmıştır.

Tablo 14. Yıllara göre hesaplanmış toplam CO₂ salınım miktarları [14]

| Yıllar | 2015 | 2016 | 2017 |
|-------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Doğalgaz (Sm ³) | 4.625,25 | 4.856,51 | 5.009,34 |
| Elektrik (kWh) | 6.309,04 | 6.624,49 | 6.955,72 |
| Üretilen Ürün (kg) | 37.404,00 | 39.274,20 | 41.237,91 |
| Toplam CO ₂ (ton/yıl) | 16.189,41 | 16.998,87 | 17.601,32 |
| Kg Ürün Başına CO ₂ (kg) | 0,4328 | 0,4328 | 0,4268 |

Şekil 6 ve Tablo 15'te 3 yıllık üretim, CO₂ salınımı ve enerji tüketimi değerleri sayısal olarak verilmiş grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 6. Üretim, salınım ve enerji tüketim değerlerinin yıllara göre değişimi [14].

Tablo 15. Üretim, salınım ve enerji tüketim değerlerinin yıllara göre sayısal değerleri [14]

| Yıllar | Üretim (ton) | CO ₂ Salınımı (ton) | Enerji (TEP) |
|--------|--------------|--------------------------------|--------------|
| 2015 | 37.404,00 | 16.189,41 | 4.411,30 |
| 2016 | 39.274,20 | 16.998,87 | 4.632,80 |
| 2017 | 41.238,00 | 17.601,32 | 4.862,70 |

Yapılacak enerji verimliliği uygulamaları ile işletmenin enerji tüketimi ve dolayısıyla CO₂ salınım miktarının azaltılması mümkün olacaktır. Böylece, işletmenin CO₂ salınımı açısından kategorisini düşürerek daha çevreci bir işletme haline gelmesinin önü açılacaktır. Şekil 6'da görüldüğü üzere 3 yıllık üretim, CO₂ salınımı ve enerji tüketimi eğimleri incelendiğinde sistemin verimliliğinde zamanla bir

değişim gözlenmediği ve ayrıca üretim miktarına bağlı olarak CO₂ salınımının da değişim gösterdiği anlaşılmaktadır.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, Karaman ilinde seçilen bir gıda fabrikasının gofret üretim hattı üzerinde gerçekleştirilen enerji verimliliğine dair ölçümler, ölçüm sonucunda elde edilen veriler ve bu verileri ile yapılan enerji hesapları yapılmıştır. Yapılan analizler özellikle ısı enerjinin yoğun olduğu kazan, kazan iletim hattı ve fırın sisteminde tesisin genel olarak kayıp oranının yüksek, verimliliğinin düşük olduğunu gözlenmiştir. Enerjinin daha etkin kullanılmasına yönelik çalışmalardan; ekipman ve tesisat yalıtımı, elektrik makinalarının DHS ile revize edilmesi, atık ısının geri kazanımı için reküperatör kullanımı gibi öneriler işletme ile paylaşılmıştır. Ayrıca hava gaz oranı, besi suyu kalitesi, bacagazı sıcaklığı gibi değerleri otomatik tespit edecek ve ayarlayacak akıllı sistemlerin kullanılması ile verimin artacağı belirtilmiştir.

İşletmeye sunulan önerilerde yalıtım ile ilgili eksiklikler tespit edilerek 0,25 yıl gibi kısa geri ödeme süresi olan cam/taş yünü yalıtım ve DHS uygulamaları önerilmiştir. Kazan sisteminde cam yünü ile yapılan yalıtım hesabı sonrasında ortalama yalıtım sonrası ısı kaybı %89 azaltılmış ve önemli oranda enerji tasarrufu sağlanmıştır. Ayrıca, kazan sisteminde periyodik bacagazı ölçümleri ile yakıt-hava oranı sürekli optimize edilerek yanma verimi yükseltilmiş ve bu sayede tüketilen yakıt miktarı da azaltılarak tasarruf sağlanmıştır.

Kazan sisteminde yapılan incelemede en önemli problemin ısı kayıpları ve kazan verimi olduğu görülmüştür. Yapılan hesaplamalarda kazan veriminin %83,55 olduğu bu verim değerinin artırılması gerektiği belirtilmiştir. Ayrıca işletmenin incelenen kazan sistemindeki toplam ısı kayıplarının %16,45 olduğu hesaplanmıştır. Sistemdeki fazla hava oranı hesaplamalarında bacagazı ölçüm değerlerinden elde edilen O₂ verisi kullanılmıştır. Yapılan hesaplamalarda fazla hava oranının idealden çok uzak olduğu tespit edilmiştir. Hava ve gaz oranının optimize edilmesi işletmeye tavsiye edilmiştir. Sistemdeki toplam baca kayıplarının %8,47 olduğu yapılan hesaplamalardan elde edilmiştir. İşletmeye bacagazındaki kayıpların azaltılması için kazan ön havasını ısıtmak amacıyla yerleştirilecek reküperatör önerilmiştir. Bu kayıpların reküperatör kullanılarak %6,25 değerine kadar düşürülebileceği hesaplanmıştır. Kazanılan ısının getirdiği yakıt tasarruf miktarı 1,21 m³/saat ve bunun yıllık finansal karşılığı 3391,9 \$ olarak hesaplanmıştır. Ayrıca ölçüm değerlerinde elde ettiğimiz %14,41 olan O₂ oranının brülör düzenli kontrolü ile %4 seviyelerinde tutulduğunu varsayarsak yapılan hesaplamalarda verimin

%88,75'e yükseldiği belirlenmiş ve bu durumda gerçekleşecek yakıt tasarrufunun finansal karşılığı ise yıllık 5998,85 \$ olarak hesaplanmıştır [14].

İlgili işletmenin önerilen enerji verimliliği uygulamalarına karşı mesafeli olması, sistemin verimli çalışmasından ziyade üretimin sürekli olmasına önem verdiklerini göstermektedir. Bu tür çalışmaların yaygınlaştırılarak verimlilik uygulamalarının ülkemiz açısından önemi daha net ortaya konulmalı ve gerek işletme sahipleri gerekse de personelleri bu konuda bilinçlendirilerek ülkemizin enerjisi etkin ve verimli kullanımının yolu gerek kanun ve yönetmeliklerle ve bunlara ek denetim sistemleri ile açılmalıdır. Böylelikle hem enerji tüketimi azalacak hem de CO₂ salınımı asgari düzeye indirilerek hem şu an için hem de gelecek için ekosistem korunmuş olacaktır. Ülkemizin 2023 hedeflerinde yer alan enerji yoğunluğu değerleri de bu şekilde ulaşılabilir duruma gelmiş olacaktır. Ayrıca işletmede iş sağlığı ve güvenliği önlemleri olup olmadığı incelenerek özellikle kazan ve fırın sisteminde çalışan personele koruyucu gözlük, eldiven, bone vb. ekipmanların kullanılması gerektiği anlatılmış ve eksik olan ekipmanlar işletmeye bildirilmiştir.

Türkiye'de en fazla güneş enerjisi potansiyeline sahip bölgelerden biri olan Karaman ili gerek iklimsel gerek coğrafi özellikler itibarıyla de oldukça avantajlı konumdadır. Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretmek için Enerji İhtisas Endüstri Bölgesi (EİEB) olarak belirlenen bu bölgede bulunan işletmenin çatı ve düz alanlarında gerek su ısıtma gerekse elektrik üretimi amacıyla güneş panelleri kullanılması önerilmiştir. Bu sayede işletmenin elektrik tüketimi azalacak ve işletmenin çatı gibi boş alanları kullanılmış olacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir (Proje Numarası: 06-YL-16). Ayrıca bu çalışmada yapmış oldukları yorum ve katkılarından dolayı Doç. Dr. Aydın RUŞEN'e, Dr. Öğretim Üyesi Gamze KARANFİL'e ve gıda firması yetkililerine teşekkür ederiz. Bu çalışmasının yapıldığı gıda işletmesi isim verilerek teşekkür edilmesine ve çalışma kapsamında isminin kullanılmasına müsaade etmemiştir.

Kaynakça

- [1] Anonim, 2016. IEA, Energy Policies of IEA Countries: Turkey, Paris: International Energy Agency.
- [2] Tütünoğlu, Y., Güven, A., Öztürk, İT. 2012. Cam Temperleme Fırınında Enerji Analizi, Mühendis ve Makina Dergisi, 53(629), 55-62.

- [3] IPCC Climate Change, 2014. Synthesis Report Summary for Policymakers Switzerland. Intergovernmental Panel on Climate Change. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf (Erişim Tarihi: 13.08.2020).
- [4] Acar, E. 2012. Enerji Yoğunluklu Bir Fabrikanın Enerji Verimliliği Özelinde İncelenmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 175s, Ankara.
- [5] Anonim, 2016. T.C. ETKB Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ile Bağlı, İlgili ve İlişkili Kuruluşlarının Amaç ve Faaliyetleri.
- [6] Resmî Gazete, 2011. T.C. ETKB, Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik.
- [7] Karanfil, G., Ener Ruşen, S., Poyraz, Ş.N., Can, M. 2020. Experimental Investigation of Waste Heat Recovery Systems and Heat Yield Parameters, *European Journal of Science and Technology*, 19, 127-137.
- [8] Cengiz, M.S., Mamiş, M.S. 2015. A Review of Past-to-Present Literature for Stirling Engines, *International Journal of Scientific and Technological Research*, 6(1),10-9.
- [9] Terzi, Ü.K., Baykal, R. 2011. Efficient and Effective Use of Energy: a Case Study of TOFAS, *Environmental Research, Engineering and Management*, 1(55), 29-33.
- [10] Doğan, H., Yılkırkan, N. 2015. Türkiye'nin Enerji Verimliliği Potansiyeli ve Projeksiyonu, *Gazi Üniversitesi Fen Bilim Dergisi*, 3(1), 375-83.
- [11] Anonim, 2007. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi. Enerji Verimliliği Mevzuatı.
- [12] Kanoğlu, M. 2010. Enerji Verimliliği Örnek Projeleri, Gaziantep. http://www.tskb.com.tr/i/content/486_1_mehmet-kanoglu-enerji-verimliliği-ornek-projeleri.pdf (Erişim Tarihi: 20.01.2020).
- [13] Ener Rusen, S., Topcu, M.A., Celtek, S.A., Karanfil Celep, G., Rusen, A. 2018. Investigation of energy saving potentials of a food factory by energy audit, *Journal of Engineering Research and Applied Science*, 7 (1), 848-860.
- [14] Çevik, M.S. 2018. Bir Gıda Fabrikasında Enerji Verimliliği Performans Değerlendirmesi. Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İleri Teknolojiler, Yüksek Lisans Tezi, 141s, Karaman.
- [15] Genceli, O.F. 1988. Buhar Kazanları: Konstrüksiyon ve Yardımcı Elemanları. Birsan Yayınevi, İstanbul, 85s.
- [16] Woodruff, E.B., Lammers, H.B., Lammers, T.F. 2012. *Steam Plant Operation 1523s*, New York: McGraw-Hill Companies.
- [17] Bilgin, A. 2009. Kazanlarda Enerji Verimliliği ve Emisyonlar, *MMO dergisi*, 1, 23-30.
- [18] Yalçın, S.E. 2006. Buhar Kazanlarının Eksergoekonomik Çözümlemesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 98s.
- [19] Akpolat, M.S. 2014. Türkiye'de ve Avrupa'da Kazanların Güvenli Çalışma ve Periyodik Kontrol Kriterleri, Ankara. <https://isgfrm.com/threads/tuerkiye-de-ve-avrupa-da-kazanlarin-guevenli-calisma-ve-periyodik-kontrol-kriterleri.25504/> (Erişim Tarihi: 25.01.2019)
- [20] Anonim, 2008. T.C. Millî Eğitim Bakanlığı. Kazanlar. Ankara.
- [21] Küçükçalı, R. 2000. Buhar Sistemlerinde Enerji Tasarrufu, *Türkiye Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi*, 20, 1-8.
- [22] Çubuk, H. 2016. Isı Üretim Dağıtım Sistemlerinde Enerji Yönetimi. *Yarbis*, İstanbul, 203s.
- [23] İZODER. 2013. Isı Yalıtımı. İZODER Isı, Su, Ses ve Yangın Yalıtımcıları Derneği, Ankara. <https://www.izoder.org.tr/dosyalar/Bina-ve-Tesisatta-Isi-Yalitimi.pdf> (Erişim Tarihi: 13.08.2020).
- [24] T.C. MEB. 2007. İnşaat Teknolojisi- Yalıtım ve Boya. Ankara. http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Yal%C4%B1t%C4%B1m%20Ve%20Boya.pdf (Erişim Tarihi:12.05.2019).
- [25] Gülcivan, A. 2006. Tekstil Sektöründe Enerji Tasarruf Olanaklarının Belirlenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 154s.
- [26] Ener Rusen, S., Topcu, M.A., Celtek, S.A., Karanfil Celep, G., Rusen, A. 2018. *Journal of Engineering Research and Applied Science*, J Eng Res Appl Sci., June, 848-60.
- [27] Hepbaşlı, A., 2010. Temel Kavramlar, Enerji Verimliliği ve Yönetim Sistemleri Yaklaşımlar ve Uygulamalar. Esen Ofset Matbaacılık Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi, İstanbul, 186s.
- [28] Karanfil, G., Ener Rusen, S., Topcu, M.A., Celtek, S.A., Rusen, 2019. Application of Recuperator for Waste Heat Recovery From Exhaust Flue Gas in Hot Water Boiler in a Central Heating Plant, *Eskişehir Technical University Journal of Science and Technology A-Applied Sciences and Engineering*, 20(1), 112 - 120.

- [29] Akdaş, M., Ömür, B. 2016. Sanayide Tesisat Yalıtımının Önemi ve Uygulamaları. Tesisat Mühendisliği, Ocak(151), 30-43.
- [30] Rüsen, A., Topçu, M.A. 2016. Insulation of Boiler to Save Energy. 8th Ege Energy Symposium and Exhibition (IEESE), 11-13 Mayıs, Afyon, 1-7.
- [31] ENERMER Enerji Etüt - Projesi Ders Notları, 2015. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Osmaniye, 156s.
- [32] Rüsen, A., Topçu, M.A. 2016. Energy Saving by Insulation in a Food Factory Steam Generation Plant. International Material Science and Technology in Cappadocia (IMSTEC), 6-8 Nisan, Nevşehir, 1-5.
- [33] Ayvaz A.Ş. 2018. Fiyat Listesi. İstanbul. <https://www.ayvaz.com/fiyatlistesi> (Erişim Tarihi: 13.08.2018).
- [34] Özdabak, A. 2011. Endüstriyel Fırınlarda Enerji Etüdü. Kocaeli. 3 Enerji Verimliliği Kongresi, 31 Mart-02 Nisan, İstanbul, 1-5.
- [35] Ener Rusen, S., Koc, M. 2019. Analysis of Energy Consumption and CO₂ Emission Values; A Case Studym of a Food Factory, BEU Journal of Science, 8 (4), 1478-1488.