

BİR TEKSTİL İŞLETMESİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE EMİSYON AZALTIM OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI: HAVLU ÜRETİM TESİSİ

*Duriye DEĞİRMEN** 
*Gizem EKER ŞANLI** 

Alınma: 12.11.2021 ; düzeltme: 11.02.2022 ; kabul: 17.02.2022

Öz: Tüm dünyada nüfusun hızla artışına paralel olarak enerji arzı da artmaktadır. Enerji kaynaklarının sınırlı olması, enerji maliyetlerinin yüksek olması, enerji üretimi ve tüketimi sırasında ortaya çıkan emisyonların çevresel problemlere neden olması gibi durumlar enerjiyi verimli kullanmayı zorunlu kılmaktadır. Bu çalışmada, Bursa’da tekstil sektöründe faaliyet gösteren bir havlu üretimi tesisinde enerji etütleri yapılmış ve başlıca 7 iyileştirmenin uygulanması önerilmiştir. Bu iyileştirmeler; jet makinelerinin izole edilmesi, buhar kazanı su seviyesinin otomatik kontrolü, kondens dönüşlerinin toplanması, kondenslerde seviye kontrol sistemi uygulaması, kazan besleme suyu şartlandırma sisteminin kurulması, kompresör emiş havasının düzenlenmesi ile ring hattı ve tesisat revizyonu şeklindedir. Bahsedilen iyileştirmelerden maddi tasarruf miktarı en az (3.141 TL/yıl) olan uygulama kompresör emiş havasının düzenlenmesi iken maddi tasarruf miktarı en fazla olan uygulama 175.583 TL/yıl ile kondens dönüşlerinin toplanmasıdır. CO₂ emisyonundaki azalma oranlarının 2,7 ton/yıl ile 186 ton/ yıl arasında değişim göstereceği hesaplanmış olup önerilen iyileştirmelerin hem maliyet hem de çevresel açısından işletmelere fayda sağlayacağı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Tekstil sektörü, Enerji verimliliği uygulamaları, Emisyon azaltımı, Amortisman süreleri

Investigating Energy Efficiency and Emission Reduction Opportunities In the Textile Sector: A Towel Production Factory

Abstract: In parallel with the rapid increase in population all over the world, energy supply is also increasing. Situations such as limited energy resources, high energy costs, and environmental problems caused by emissions during energy production and consumption make it necessary to use energy efficiently. In this study, energy studies were carried out in a towel production facility in the textile sector in Bursa and 7 improvements were proposed to be implemented. These improvements are; insulation of jet machines, automatic control of steam boiler water level, collection of condensate returns, application of level control system in condensates, establishment of boiler feed water conditioning system, regulation of compressor suction air, ring line and installation revision. The application with the least amount of financial savings (3.141 TL/year) is the regulation of the compressor suction air and the highest application is the collection of the condensate returns with 175.583 TL/year. It was calculated that the reduction rates in CO₂ emissions will vary between 2.7 tons/year and 186 tons/year, and it has been concluded that the proposed improvements will benefit businesses in terms of both cost and environment.

Keywords: Textile sector, Energy efficiency applications, Emission reduction, Depreciation period

1. GİRİŞ

Enerji, üretimde zorunlu bir üretim faktörü olup ülkelerin ekonomik ve sosyal kalkınma potansiyelini yansıtan temel göstergelerden biridir (Koç ve Şenel, 2013). Tüm dünyada enerji

*Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 16059, Görükle, Nilüfer, Bursa
İletişim Yazarı: Gizem EKER ŞANLI (geker@uludag.edu.tr)

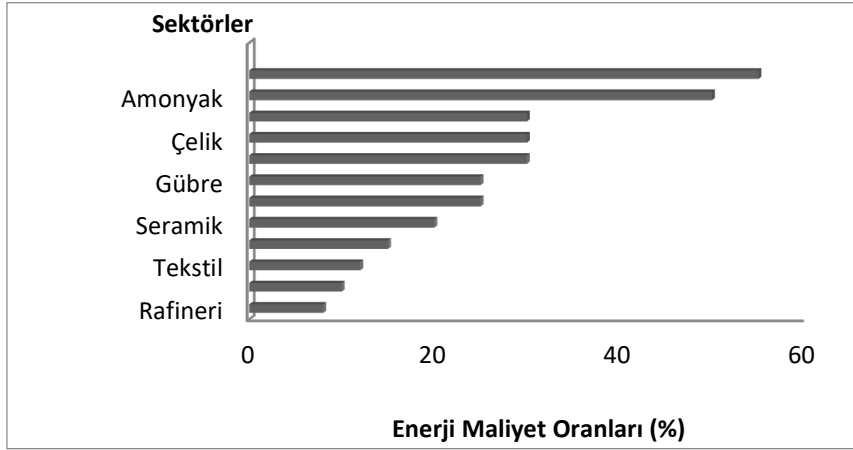
ihtiyacının büyük bir kısmını karşılayan kömür ve petrol gibi fosil yakıtların hızla tükeniyor olması, enerji üretim ve tüketimi sırasında çevreye verilen tahribatlar, ülkemizin enerji kaynakları kullanımında %70 oranında dışa bağımlı olması gibi nedenler de enerji verimliliğinin gerekliliğini ortaya koymaktadır (Karyeyen, Aksoy, Özgören ve Koçak, 2012). Enerji verimliliği aynı işi yapmak için gerekli olan minimum enerjiyi tüketmek anlamına gelmektedir. Enerji kaynaklarının tümü sera etkisine bağlı olarak küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi çevresel problemlere neden olmaktadır. Atmosfere salınan kirlilik emisyonlarının olumsuz etkileri, enerji verimliliğini arttırarak en aza indirgenebilmektedir. Bu bağlamda çevre etkileri ile enerji verimliliği arasında güçlü bir ilişki olduğu açıkça görülmektedir. Enerji verimliliğinin artması enerji kayıplarının azalmasını sağlar. Bu artışın, çevreye iki türlü faydası vardır. Birincisi, işletme için ünite başına enerji girdisi ile birim ünite başına enerji çıktısı azaltılarak kirlilik oluşumu azaltılır. İkincisi, yaşam döngüsünü bünyesinde barındıran enerji kaynakları ve teknolojiler, yaşam döngüsünün en önemli kademelerinde çevresel etkileri azaltan gelişmiş verimlilik sunar.

Sera gazlarından biri olan CO₂ emisyonunun antropojenik (insan kökenli) kaynakları aşağıdaki tabloda da belirtildiği üzere (Tablo 1) fosil yakıt tüketimi, endüstriyel süreçler ve toprak kullanımı değişikliğidir (Işık ve Kılınç 2014). Enerji verimliliği, fosil yakıtların tüketilmesiyle enerji üretiminden kaynaklanan emisyonun azaltılması konusunda önemli bir etkidir. Çünkü fosil yakıtların tüketilmesi CO₂ emisyonunda artışa neden olmaktadır. CO₂ emisyonuna neden olan faaliyetlerden biri elektrik ve ısı üretimidir. Sanayi sektörü elektrik ve ısı enerjisini yoğun olarak kullandığı için bu sektörde yapılacak olan enerji verimliliği çalışmaları fosil yakıt tüketiminden kaynaklanan CO₂ emisyonlarında azalma sağlayacak ve böylece sera gazı emisyonlarında düşüş gözlenebilecektir. Enerji verimliliğinin sağlanması enerji üretim ve tüketim miktarını minimuma indirileceğinden, enerji verimliliği karbon ayak izini azaltma konusunda en etkili yollardan biri haline gelmektedir. Çünkü fosil yakıtların yanması ile doğrudan ortaya çıkan emisyonlar ve elektrik üretimi sırasında ortaya çıkan dolaylı emisyonlar sonucu enerji üretimi ve tüketimi karbon ayak izinin artmasına sebep olmaktadır.

Tablo 1. CO₂ Emisyonunun Antropojenik Kaynakları (Işık ve Kılınç)

Doğrudan CO ₂ Emisyonu Üreten Faaliyetler		Tüketim Sektörleri
Fosil Yakıt Kullanımı	Elektrik ve ısı üretimi	Sanayi Sektörü
		Konut ve Ticari sektörü
		Elektrik-Ulaştırma Sektörü
	Ulaştırma (elektriksiz)	
Endüstriyel Süreçler	Kireç, çimento, alüminyum, kok ve çelik, hidrojen ve amonyak üretimi	
Toprak Kullanımı Değişikliği	Ormanlık alanları yok etme	

Bir işletmede üretim maliyetleri, hammadde, işçilik, işletme ve enerji maliyetlerinin toplamını içerir. Enerji maliyetleri fabrikanın faaliyetine bağlı olarak toplam üretim maliyetlerinin bir kısmını ve bazen de oldukça önemli bir kısmını teşkil etmekle beraber bu durum çoğu kez fabrika yöneticileri tarafından göz ardı edilebilmektedir. Enerji, aşağıdaki şekilde görüldüğü üzere toplam üretim maliyetinin %50'sinin üzerine çıkabilir. Türkiye endüstrisinde enerjiyi yoğun olarak tüketen endüstriyel sektörlerden çimento, amonyak üretimi, cam ve demir çelik gibi alt sektörler ciddi bir paya sahiptir (Uzun ve Değirmen, 2018). Çimento, cam ve demir çelik gibi sektörlerde enerji maliyetleri toplam maliyetlerin yaklaşık %20 ila %50'sini teşkil ederken, bu oran kimya, gıda ve tekstil sektörlerinde %10 civarındadır (TMMOB MMO, 2008,39). Sanayi sektörlerine göre enerji maliyetlerinin toplam üretim maliyetleri içindeki payı Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1:

Bazı Sanayi Kollarında Toplam Üretim Maliyetleri İçinde Enerji Maliyetlerinin Oranı (TMMOB MMO, 2008)

Tekstil sektörü sanayide enerjiyi yoğun olarak tüketen sektörlerden biri olarak değerlendirilmektedir. Yukarıdaki şekilden de görüldüğü üzere tekstil sektöründe de toplam maliyetin %10'dan fazlasını enerji maliyetleri oluşturmaktadır. Bu maliyetlerde yapılacak azalma hem işletmeye hem de çevreye olumlu katkılar sağlayacaktır.

Türkiye'de tekstil sektöründe enerji verimliliği uygulamaları konusunda yapılmış çeşitli çalışmalar mevcuttur. Örneğin, Pulat ve ark. (2009) Bursa'da bir tekstil firmasında yaptıkları çalışmada atık ısının potansiyelini değerlendirerek geri ödeme süresini 6 ay olarak hesaplamışlardır. Öztürk (2012) gerçekleştirdiği tez çalışmasında bir tekstil fabrikasında önemli enerji kullanıcılarını belirleyerek bu noktalarda yapılmasını önerdiği iyileştirmelerle amortisman süreleri 3 yılı geçmeyen uygulamaları raporlamıştır. Cabak (2018) yaptığı çalışmada Kırklareli'nde faaliyet gösteren bir tekstil firmasını enerji verimliliğini arttırmak üzere yapılan ve yapılması planlanan uygulamalar bazında ele almış ve bu çalışmaların enerji verimliliğine etkilerini ortaya koymuştur. Alkaya ve Demirer (2014) Bursa'da ele aldıkları bir dokuma kumaş fabrikasında gerçekleştirdikleri sürdürülebilir üretim uygulamalarıyla işletmenin toplam enerji tüketimi ve CO₂ emisyonunun sırasıyla %17,1 ve %13,5 oranlarında azalacağını belirlemişlerdir. Gelir (2017), bir tekstil fabrikasında terbiye bölümündeki ramöz makinelerinden ısı geri kazanımının sağlanabilirliği ile ilgili araştırma yapmıştır. Termodinamik analizi yapılan ramöz makinasına ısı geri kazanım eşanjörü tasarlanarak ısı geri kazanım öncesi ve sonrası için yakıt tüketim değerleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlarla ısı geri kazanım sisteminin ramöz makineleri üzerine olan etkisi değerlendirilmiştir. Tunç ve ark. (2016) İstanbul'da bir tekstil firmasında yalıtım, atık su geri kazanımı gibi enerji yönetim uygulamalarıyla 2 ile 4 yıl arasında geri ödeme süreleriyle işletmeye sağlayacağı faydaları ele almıştır. Yapılan çalışmayla ayrıca enerji maliyetlerinde de yaklaşık %11 oranında azalma sağlanabileceği görülmüştür. Söğüt ve ark. (2019) tekstil boyaları üreten bir fabrikada fiili tüketim ve üretim verilerine dayalı olarak geliştirdikleri metodolojik yaklaşımla işletmenin enerji verimliliği potansiyelini analiz etmişlerdir. Gerçekleştirdikleri ön etüt çalışmasıyla fabrikanın enerji verimliliğine katkı sağlayacak alanların tanımlanan verilere bağlı olarak buhar sistemi ile elektrik motorlarında aksiyon geliştirmek olduğu sonucuna varmışlardır. Öztürk ve ark. (2016) pamuk/polyester kumaş terbiye-boyama tekstil fabrikasında 22 Mevcut En İyi Tekniğin (MET) uygulanmasıyla teknik ve çevresel performanslar, potansiyel faydalar ve tasarruflar belirlemiş ve gerçekleştirilecek iyileştirmelerle ilgili tesiste sudan %43 ile %51, baca gazı emisyonlarında %12-32 ve enerjiden %11 ile %26 arasında bir tasarruf sağlanabileceğini tespit etmiştir. Yamankaradeniz ve ark. (2007) tekstil sektöründe atık ısıdan yararlanabilmek

amacıyla ısı pompası ile bir çözüm geliştirmişlerdir. Çalışmada, tekstil boyahanesi için, 65 °C atık ısıdan yararlanılarak bir sistem tasarımı geliştirilmiş ve termoekonomik analizler ile sağlanabilecek tasarruflar belirlenmiştir. Bu ve benzeri çalışmalar, tekstil sektöründe enerji verimliliği konusunda yapılan çalışmaların öneminin ve devamlılığının sağlanmasıyla işletmelere sağlanacak olumlu etkileri ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada Bursa'da faaliyet göstermekte olan bir havlu üretim tesisinde gerçekleştirilebilecek enerji verimliliği olanakları araştırılmıştır. Yapılan ön ve detaylı enerji etütleriyle fabrikanın enerji tüketimleri ve iyileştirme önerileri belirlenmiştir. Ayrıca üretim sırasında ortaya çıkan CO₂ emisyonunun ne oranda azalacağı ve iyileştirmelerin geri ödeme süreleri hesaplanmıştır.

2. İŞLETME TANITIMI VE ENERJİ

Çalışma kapsamında incelenen tesis Bursa'da havlu üretim konusunda faaliyet göstermekte olup elde edilen ürünlerin büyük bir kısmı ihraç edilmektedir. Orta ölçekli işletmede düz boyama ve iplik boyama işlemleri gerçekleştirilmektedir. Düz boyama prosesinde dokumadan çıkan ürünler sırasıyla boyama, sıkma, kurutma, dikiş işlemlerinden geçirildikten sonra paketlenirken iplik boyama prosesinde ise ilk olarak sıkmaya alınan ürünler sırasıyla kurutma, dokuma, dikiş işlemlerinden geçirildikten sonra paketlenerek sevkiyata hazır hale gelmektedir. Düz boyama prosesinde 5 adet makine kullanılmakta olup makinelerin günlük ortalama tükettikleri su miktarı 40 tondur. İplik boyama prosesinde ise 4 makine kullanılmakta ve makinelerin ortalama günlük su tüketimi 30 tondur. Düz boyamada günlük buhar ihtiyacı 60.235 kg iken iplik boyamada bu miktar 41.504 kg şeklindedir. Düz boyama prosesinde kazanda tüketilen ortalama doğalgaz miktarı 200 Nm³/sa iken iplik boyamada yaklaşık 140 Nm³/sa'lik tüketim söz konusudur.

2.1.Enerji Etütleri Sırasında Kullanılan Cihazlar ve Kullanıldığı Yerler

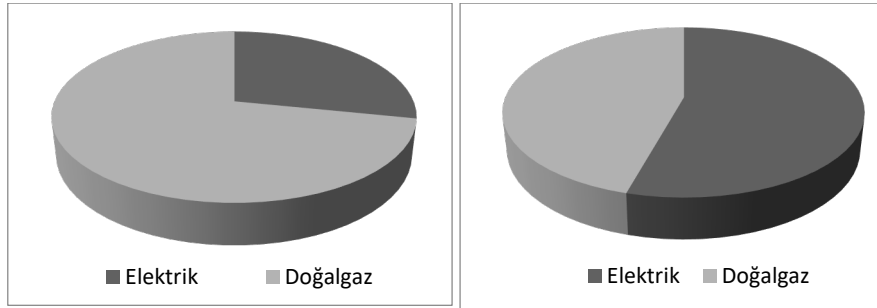
Enerji etütlerinin amacı, tesisin enerji tüketen tüm birimlerinin incelenerek bu noktalarda ölçümlerin yapılmasıyla enerji kayıplarının yaşandığı bölgelerin tespit edilmesidir. Aşağıda bulunan Tablo 2'de tesiste yapılan enerji ölçümleri sırasında kullanılan cihazlar verilmiş ve ölçüm sırasında kullanıldığı yerler açıklanmıştır. Ayrıca kullanılan cihazların görselleri de Tablo 2'deki gibidir.

Tablo 2. Enerji izleme/ölçüm cihazları ve kullanım alanları

Cihaz Görseli						
Cihaz Tipi	Enerji Analizörü	Çok Yönlü Ölçüm Cihazı	Baca Gazı Analizörü	Ultrasonik Debimetre	Hava Kaçağı Test Cihazı	Termal Kamera
Ölçüm Sırasında Kullanılan Yer	Kompresör Trafo ve Pompa	Ortam Havası Sıcaklık Ölçümü	Akışkan Yataklı Kazan Bacası Debi ve Sıcaklık Ölçümü	Muhtelif Pompa Ölçümleri	Basınçlı Hava Hatlarında Kaçak Kontrolü	Termal Ölçümler

2.2. İşletmede Enerji Tüketimlerinin Yıllara Göre Dağılımının İncelenmesi

İşletmede yapılacak olan enerji iyileştirmelerinin belirlenebilmesi amacıyla fabrikaya ait son 3 yılın elektrik ve doğalgaz tüketim verileri temin edilmiştir. 2018-2020 yıllarını kapsayan verilerin detayları Değirmen ve Şanlı (2021) çalışmasında mevcuttur. 2020 yılı verilerine göre, fabrikanın en çok kullandığı enerji türü olan doğalgaz, toplam enerji tüketiminin %71,8'ini oluşturmakta olup 291.165 Nm³ olarak hesaplanmıştır. Elektrik ise 1.095.122,77 kWh olarak tüketilmiştir. İşletmede enerji maliyetlerinin yüzdelik dilimlerine bakıldığında ise doğalgaz %45,7'lik kısmını oluştururken elektrik ise maliyetin %54,3'lük bölümünü oluşturmaktadır. Verilerin pasta grafiğinde gösterimi aşağıdaki şekilde (Şekil 2 ve Şekil 3) verilmiştir.



Şekil 2:

2020 Yılı Enerji Tüketim Dağılımı

Şekil 3:

2020 Yılı Enerji Maliyet Dağılımı

3. METODOLOJİ

İşletmede enerji verimliliği sağlanabilecek alanlarda yapılan ölçüm ve analizler neticesinde ilgili formülasyonların kullanılmasıyla yapılan hesaplamalara ilişkin bilgiler bu başlık altında verilmiştir.

3.1. Kullanılan Başlıca Formüller ve Değerler

Hesaplamalar sırasında kullanılan başlıca değerler aşağıda verilmektedir. Enerji kaynaklarının alt ısıl değerleri ve petrol eşdeğerine çevrim katsayıları tablosu referans alınmıştır.

Üst ısıl değere göre doğalgaz birim fiyatı (KDV hariç): 1,7 TL/Nm³

Doğalgazın alt ısıl değeri: 8.250 kcal/Nm³ 1 kcal: 4,186 kJ 1 Nm³ doğalgaz: 0,825x10⁻³ TEP

1 kWh elektrik: 0,46 kg eşdeğer CO₂ Salımı 1 kWh Elektrik: 0,53 TL

1 Nm³ Doğalgaz: 1,8 kg CO₂ Tesisin yıllık çalışma saati : 6000 saat/yıl

Isı kayıplarını, enerji tasarruflarını ve emisyon azaltım miktarlarını belirlerken kullanılan formüller/yaklaşımları aşağıdaki başlıklarda özet olarak verilmiştir.

3.1.1. Isı Kaybı Hesaplamaları:

Jet makinelerinden gerçekleşen ısı kaybı hesaplamaları için izolesiz yüzeylerden meydana gelen 'konveksiyon' ve 'radyasyon' yoluyla gerçekleşen ısı kayıpları saatlik olarak hesaplanarak her bir makine için bu iki miktarın toplamı izolesiz yüzeylerden gerçekleşen toplam ısı kaybı olarak belirlenmiştir.

İzolasyonlu yüzeylerden meydana gelen ısı kayıpları için ise izolasyon malzemesinin kalınlığı ve iletkenliği gibi parametreler göz önünde bulundurularak gerekli hesaplamalar yapılmış ve izoleli ile izolesiz yüzeyler arasında meydana gelen ısı kayıplarının farkından enerji tasarruf miktarına ulaşılmıştır.

3.1.2.Enerji Tasarrufu Hesaplamaları:

Enerji Tasarrufu hesaplamalarında temel olarak;

$$Q= m \times c \times \Delta T \quad (1)$$

formülasyonu esas alınmış olup hesaplanan doğalgaz tasarrufundan enerji verimlilikleri, maliyet tasarrufları ve önlenen emisyon miktarları hesaplanmıştır. Bu formülde;

Q: verilen ısı (cal),

m: maddenin kütlesi (g),

c: maddenin öz ısısı (cal/g °C),

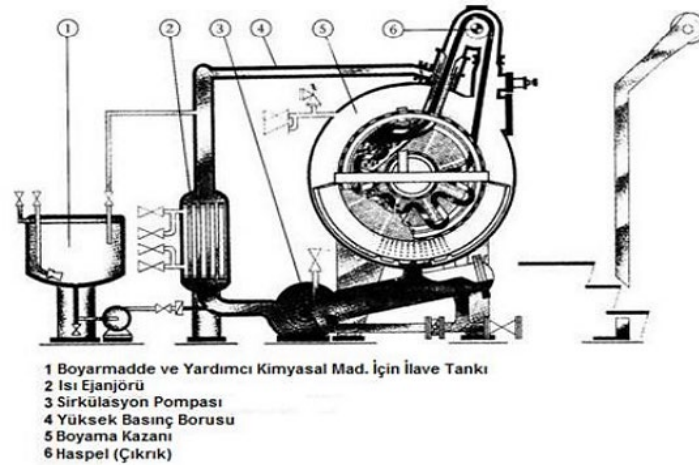
ΔT : sıcaklık değişimi (°C) ifade etmektedir.

3.1.3.Emisyon Azaltım Hesaplamaları:

Emisyon hesaplamalarında kullanılan 1 Nm³ doğalgaz 1,8 kg CO₂'ye eşdeğerdir (BTSO EVM).

3.2. Jet Makineleri İzolasyonu

Jet makineleri, boyama süresinin diğer boyama makinelerine göre kısa olması, flotte (birim kumaş ağırlığı başına düşen çözelti miktarı) oranının düşük olması, yüksek boyama kapasitesi ve düşük su tüketimi gibi avantajlara sahip oluşuyla tekstil boyama sektöründe kullanımı yaygın olan makinelerdir (Dağkurs ve İşeri, 2018). Bir jet boyama makinesini oluşturan kısımlar şematik olarak Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4:

Jet Boyama Makinesi (Dağkurs ve İşeri, 2018)

İncelenen işletmede boyama prosesinde kullanılan 7 adet jet makinası bulunmaktadır. İşletmede yerinde yapılan ölçümlerle proses esnasında makinelerin metal yüzeylerinin 50-80-120 °C gibi farklı sıcaklıklara çıktığı gözlenmiştir. Bu sıcaklıklarda metal yüzey üzerinden ciddi enerji kaybı gerçekleşmektedir. Bu bölümde hesaplamalarına yer verilen uygulamanın sonuçlarına ise Bölüm 4.1’de yer verilmiştir.

Jet makinelerinin izolasyonunu sağlamakla elde edilecek sonuçlar bu başlık altında verilmiştir. Aşağıdaki tabloda (Tablo 3) her bir makine için verilen yüzey sıcaklıkları ve şarj bakımından maruziyet süreleri değişkenlik göstermekte ve ortam sıcaklığı, yüzey alanları, çarpım faktörü, emissivite, izolasyon kalınlığı ile izolasyon malzemesinin iletkenliği gibi parametreler sabittir. Bu parametrelerden yola çıkılarak izolasyonsuzken meydana gelen ısı kayıpları ile izolasyon sonrası ısı kayıplarının değerleri hesaplanmış ve iki durum arasındaki farktan enerji tasarruf miktarına ulaşılmıştır.

Tablo 3. Jet makineleri izolasyonu hesabında kullanılan değerler

Makine No	Yüzey Sıcaklığı (°K) (T _s)	Ortam Sıcaklığı (°K) (T _o)	Maruziyet Süresi (dk/şarj)	Yüzey Alanı (m ²) (A)	Çarpım Faktörü (B)	Emissivite (Yayını m)	İzolasyon Kalınlığı (metre) (t)	İzolasyon Malzemesinin Isı İletkenliği (W/m ² K) (k)
Makine 1	308,15	298,15	86	300	1,2	0,85	0,025	0,032
Makine 2	318,15	298,15	140	300	1,2	0,85	0,025	0,032
Makine 3	333,15	298,15	190	300	1,2	0,85	0,025	0,032
Makine 4	353,15	298,15	90	300	1,2	0,85	0,025	0,032
Makine 5	368,15	298,15	10	300	1,2	0,85	0,025	0,032
Makine 6	378,15	298,15	10	300	1,2	0,85	0,025	0,032
Makine 7	388,15	298,15	50	300	1,2	0,85	0,025	0,032

Öneri: Jet Makinelerinin İzole Edilmesi

Bu bölümde yapılan hesaplamalarda ortak kullanılan değerler aşağıda verilmektedir.

A: Yüzey alanı (m²) ifade etmekte olup bütün jet makinelerinin izolasyon hesabında ortak değer olarak kullanılmış ve 300 olarak alınmıştır.

E: Emissivity, kullanılan malzemelerin termal ısınım yayma yeteneğidir. Bu değer materyalden materyale değişkenlik göstermekte olup, 0 (iletsizdir) ve 1,00 (tam iletimidir) aralığında değerlendirilir. Jet makineleri izolasyonu hesaplamalarında kullanılan bu parametre her jet makinesi için aynıdır ve 0,85 olarak kabul edilmiştir.

Hesaplamalarda kullanılan formülasyonlar aşağıdaki gibidir:

Mevcut durumda izolesiz konveksiyon ile gerçekleşen ısı kaybı 1 saat için;

$$Q = B \times A \times (T_s - T_o)^{1,25} \quad (2)$$

Mevcut durumda izolesiz Radyasyon ile gerçekleşen ısı kaybı 1 saat için;

$$Q_R = 5,67 \times E \times A \times ((T_S/100)^4 - (T_O/100)^4) \quad (3)$$

Mevcut durumda izolesiz yüzeylerden gerçekleşen toplam ısı kaybı 1 saat için;

$$Q_T = Q_C + Q_R \quad (4)$$

İzolasyonlu Yüzeyden Meydana Gelen Isı Kaybı;

$$Q_{IZO} = A \times \frac{(T_S - T_O)}{t/k} \quad (5)$$

İzoleli ve izolesiz durum arasındaki fark enerji tasarrufu miktarı olarak hesaplanır;

$$Q_{En.Tas} = Q_T - Q_{IZO} \quad (6)$$

Şarj süresince bu sıcaklığa maruz kaldığı sürede gerçekleşen ısı kaybı;

$$Q_{En.Tas1} = \frac{Q_{En.Tas} \times \text{süre}}{60} \quad (7)$$

Formüllerde kullanılan parametrelerin açıklamaları aşağıda yer almaktadır.

Q_C: Konveksiyon yolu ile verilen ısı (W)

Q_R: Radyasyon yoluyla verilen ısı (W)

Q_T: Verilen toplam ısı (W)

Q_{izo}: İzolasyonlu yüzeyden verilen ısı (W)

Q_{En.Tas}: Enerji tasarrufuyla kazanılan ısı (W)

Q_{En.Tas1}: 1 şarj süresince tasarrufla elde edilen ısı (kcal/şarj)

B: Çarpım faktörü (W/m².°K)

A: Yüzey alanı (m²)

T_S: Son sıcaklık (°K)

T_O: İlk sıcaklık (°K)

E: Termal ısıtım yayma yeteneği (W/m².°K)

Sağlanacak doğalgaz tasarrufu = 110 Nm³/şarj (Buhar sistem verimi %85)

Tam yükte şarj başına sağlanacak tasarruf yukarıdaki gibi hesaplanmıştır. Aynı şekilde tam yük koşullarında doğalgaz tüketimine ve faturada sağlayabileceği tasarrufa ilişkin hesap aşağıdaki gibidir:

Tam yük için günlük tasarruf miktarı: 3.918 kg/gün

2019 yılı toplam doğalgaz tüketimi: 738.255 Nm³/yıl

EVM tarafından yapılan hesaplamalara göre bu uygulamanın doğalgaz faturasında sağlayacağı tasarruf %2,3 şeklindedir.

Enerji Tasarrufu: 738.255 Nm³/yıl x 2,3 /100 = 16.979,87 Nm³/yıl

Maliyet Tasarrufu: 16.980 Nm³/yıl x 1,7 = 28.866 TL/yıl

Önlenen Emisyon Miktarı: 16.980 Nm³/yıl x 1,8 kg CO₂ /Nm³ x 1 ton /1000 kg = 30,6 ton/yıl

3.3. Kazan

Endüstride yaygın olarak kullanılan bir enerji biçimi olan buharın elde edildiği kazanları emniyetli ve tasarruflu bir şekilde çalıştırabilmek amacıyla Avrupa Birliğinde geçerli hale gelen, TRD (Technische Regeln für Dampfkessel) olarak bilinen ‘Buhar Kazanları İçin Teknik Kurallar’ hazırlanmıştır.

TRD yönetmeliklerinde bahsedilen 5 farklı işletme tiplerinden birisi de 24 saat gözetimsiz işletmedir. 24 saat gözetimsiz işletme modeline göre buhar üreticisi tam otomatik bir şekilde ve kazanda müsaade edilen su seviyesi aralıklarında çalışarak emniyetinin sağlanması için iki adet emniyet tertibatı bulundurulmalıdır (<https://www.viraisi.com/kazan-otomasyonu-1>).

İşletmede hali hazırda kullanılmakta olan doğalgaz kazanı işletmenin ilgili proseslerinin buhar ihtiyacını karşılamaktadır. Çalışma kapsamında ele alınan tesiste 24 saat gözetimsiz işletme modelinin uygulanması halinde elde edilecek tasarruf olanakları belirlenmiştir. Buhar kazanının patlamaması için gereken şartlar aşağıda verilmiştir. Bu şartlar İSG şartlarını sağlamaktadır. Tabloda enerji verimliliği açısından önem arz eden madde 6. Madde olup Su Seviyesi Otomatik Kontrolünün sağlanmasıyla elde edilecek tasarruf miktarlarına ait hesaplama sonuçlarına Bölüm 4.2’de yer verilmiştir.

Kazan donanımlarının TRD 604’e göre 24 saat gözetimsiz şartları sağlaması esas alınarak aşağıdaki tablo (Tablo 4) düzenlenmiştir. İşletmede kullanılan kazanda olmayan özelliklerin karşısı çarpı işareti ile belirlenmiştir.

Tablo 4. 24 saat gözetimsiz kazan çalışmalarının işletme bazında değerlendirilmesi

	FONKSİYON	Tesiste Var/Yok
1	Düşük seviye alarmı, özel dizayn	☒
2	Emniyet Prosestatı	☐
3	Basınç Prosestatı (min,max)	☐
4	Yüksek sıcaklık sınırlayıcısı, eğer kızdırıcı var ise	☒
5	Yüksek seviye alarmı, özel dizayn 1	☒
6	Su seviyesi otomatik kontrolü (on/off veya oransal)	☒
7	Yüzey blöf sistemi, otomatik	☒
8	Dip blöf sistemi, otomatik veya manuel	☒
9	Kondens kirlilik sistemi	☒
10	Emniyet vanası	☒

Tabloda verilen özellikler arasında ‘Su Seviyesi Otomatik Kontrolü’ maddesinin enerji açısından büyük önem arz etmesi sebebiyle hesaplama kısmında bu nokta üzerinde durulmuştur.

Kazan basıncı 4,5 bar (Td= 152 °C) olduğu için KV 6,3 ve/veya KV 10 basıncını karşılayacak vana kullanılması uygundur.

Öneri: Oransal Vana Sistemiyle Kazan Su Seviyesinin Kontrol Altında Tutulması

On/off sistemlerdeki kazan sıcaklığının +1 °C oynamasını engellemek için oransal vana sistemiyle kazan seviyesinin kontrol edilmesi önerilmektedir.

Kazan su hacmi; 26,6 m³

Basınçlar arasındaki farktan;

$26,6 \text{ m}^3 / 8 \text{ bar} = 3,3 \text{ m}^3$ buhar hacmi

$26,6-3,3 = 23,3 \text{ m}^3$ su hacmi olarak bulunur.

Bu hacmi $1 \text{ }^\circ\text{C}$ ısıtmak için gerekli ısıtma miktarı; $Q = m \times c \times \Delta T$ ile hesaplanırsa 23.300 kcal/sa olarak bulunur.

Doğalgaz Tasarrufu: $23.300 / (8.250 \times 0,9) = 3,14 \text{ Nm}^3/\text{saat} \times 20 \text{ saat} \times 300 \text{ gün} = 18.828 \text{ Nm}^3/\text{yıl}$

Maddi Tasarruf: $18.828 \text{ Nm}^3/\text{yıl} \times 1,7 \text{ TL/Nm}^3 = 32.000 \text{ TL/yıl}$

Önlenen Emisyon Miktarı: $18.800 \text{ Nm}^3/\text{yıl} \times 1,8 \text{ kg CO}_2 /\text{Nm}^3 = 33,84 \text{ ton /yıl}$

İSG ve Bakım kaynaklı kazançlar çalışma kapsamına dahil edilmemiştir.

3.4. Boya Makinaları Kondens Dönüşleri

Çalışma kapsamında incelenen tesiste 4 adet iplik boya ve 5 adet kumaş boya makinesi bulunmaktadır. İplik boya ve düz boya makinelerinde kondens dönüşleri drenaja verilmektedir. Bu durum kayıp ısıdan faydalanamamaya ve drenaja verilen suyun yüksek ısıda olması nedeniyle yumuşak su tankından su harcanmasına neden olmaktadır. Firmadaki hatalı kondens dönüşlerine örnek Şekil 5.'te verilmektedir.



Şekil 5:
Kondens Dönüş Hataları

BTSO EVM tarafından yapılan detaylı hesaplamalarla iplik boya ve düz boya rezerv makinelerinde drenaja giden toplam kondens miktarı tam yük için 2.959 kg/sa olarak hesaplanmıştır.

İşletmede normal şartlar altında takriben $95 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta kondens tankına dökülmesi gereken saf su, drenaja döküldüğü için kondens tankına yumuşak su tankından $23 \text{ }^\circ\text{C}$ soğuk su alınmaktadır. Bu durumda tam yük için kondens geri dönüşümü yapılmaması nedeniyle meydana gelen kayıp;

$2.959 \text{ kg/sa} \times (95-23) = 213.048 \text{ kcal/sa}$

$213.048 \text{ kcal/sa} / (8.250 \times 0,9) = 28.69 \text{ Nm}^3/\text{sa}$

$28.69 \text{ Nm}^3/\text{sa} \times 6.000 \text{ sa/yıl} = 172.140 \text{ Nm}^3/\text{yıl}$

Öneri: Kondens Dönüşlerinin Toplanarak Atık Isısından Faydalanılması

Tam yükte işletme kapasitesi %60 olduğu için;

Enerji Tasarrufu; $172.140 \text{ Nm}^3/\text{yıl} \times 0,6 = 103.284 \text{ Nm}^3/\text{yıl}$
Maddi Tasarruf; $103.284 \text{ Nm}^3/\text{yıl} \times 1,7 \text{ TL/Nm}^3 = 175.583 \text{ TL/yıl}$
Önlenen Emisyon; $103.284 \text{ Nm}^3/\text{yıl} \times 1,8 \text{ kg CO}_2/\text{Nm}^3 = 186 \text{ ton CO}_2/\text{yıl}$

Bu iyileştirmenin kazançlarına Bölüm 4.3'te yer verilmiştir.

3.5. Kondenslerde Seviye Kontrol Sistemleri

Oransal kontrol vanası, işletmelerde enerji harcanarak üretilen ve üretilmiş ısı enerjisi taşıyan kızgın su, sıcak su, buhar, soğuk su, gaz, kızgın yağ ve benzeri akışkanların sistemin ihtiyacını karşılayabilme doğrultusunda herhangi bir kayba uğramadan amaçlarına uygun olarak taşınabilmesini ve kontrol edilmesini sağlar (<https://www.bafcon.com.tr/oransal-kontrol-vanasi>).

Seviye Kontrol Sistemi uygulamasında amaç kondens tankı sıcaklığını kontrol altında tutarak tanka verilen suyun tank içerisindeki sıcaklıkta ani değişime neden olmasını engellemektir.

Öneri: Kondens Tankı Sıcaklığını Kontrol Altında Tutmak

On // off sistemlerdeki kondens tankı sıcaklığının $+1 \text{ }^\circ\text{C}$ oynamasını engellemek için oransal vana sistemiyle seviye kontrol yapılması önerilmektedir.

Ölçülerine göre kondens hacmi; 10 m^3

Toplanan kondens hacmi (%70'i); 7 m^3 m: 2.800 kg (su kütlesi)

Kondensin %100'ünün toplanması ön şartıyla ilave edilen suyun, mevcuttaki $10-15 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık düşmesini engelleyecek oransal beslenme yönteminde kazanç formül 1 ($Q = m \times c \times \Delta T$) kullanılarak hesaplanırsa;

$$28.000 \text{ kcal/sa}$$

$$28.000 / (8.250 \times 0,9) = 3,77 \text{ Nm}^3/\text{sa}$$

Enerji Tasarrufu; $3,77 \text{ Nm}^3/\text{sa} \times 10 \text{ sa/gün} \times 300 \text{ gün/yıl} = 11.310 \text{ Nm}^3/\text{yıl}$

Maddi Tasarruf; $11.310 \text{ Nm}^3/\text{yıl} \times 1,7 = 19.227 \text{ TL/yıl}$

Önlenen Emisyon Miktarı; $11.310 \text{ Nm}^3/\text{yıl} \times 1,8 \text{ kg CO}_2/\text{Nm}^3 = 20,4 \text{ ton CO}_2/\text{yıl}$

Bu iyileştirmenin kazançlarına Bölüm 4.4'te yer verilmiştir.

3.6. Kazan Besi Suyu Şartlandırma Sistemi

İşletmelerde kullanılan buhar kazanlarının ömürleri, kazanlara beslenen suyun kalitesi ile bağlantılıdır. Kazana beslenen suyun kalitesindeki dalgalanmalar kazanda taşlaşma, korozyon, kireç oluşumu vb. gibi durumlara neden olabilmektedir (Değirmen ve Şanlı 2021). BTO EVM (2020) 1 mm kireç ve kışır kalıntısında %3 oranında daha fazla yakıt harcadığını vurgulamaktadır. Mevcut kirecin kazandan temizlenmesinin ve kazana beslenen suyun ters osmozla arıtılmasının çevreye ve işletmeye sağlayacağı faydalara ait hesaplama sonuçlarına Bölüm 4.5'te yer verilmiştir.

4 bar basınçtaki buharın özgül entalpisi: 2.748,8 kJ/kg

4 bar basınçtaki buharın sıcaklığı: $151,96 \text{ }^\circ\text{C}$

Kondens tankındaki suyun sıcaklığı: $70 \text{ }^\circ\text{C}$

Kazana beslenen su miktarı: 2.400 kg Kazan verimi: %90 1 kcal: 4,186 kJ

$$Q= 2.400 \text{ kg} \times [2748 / 4.186 + (152-70) \times 1] = 1.772.337 \text{ kcal/sa}$$

Öneri: Kazan Kışırının Temizlenmesi ve Kazana Beslenen Suyun Ters Osmozla Arıtılması

Kazan cidarı kışırila kaplıyken fazladan harcanan enerji miktarını hesaplamak için doymuş buhar tablosundan yararlanılmıştır. Tablodan okunan sıcaklık değerinden yola çıkılarak kondens tankı su sıcaklığını yükseltmek için gereken doğalgaz miktarı hesaplanmış ve ardından enerji tasarrufu, maddi tasarruf ve önlenen emisyon değerleri hesaplanmış olup detaylı bilgiler Değirmen ve Şanlı (2021) çalışmasında verilmiştir.

3.7. Kompresör Emiş Havası

İncelenen işletmede 1 adet kompresör bulunmaktadır. Tesiste hali hazırda kullanılmakta olan kompresör, dış ortam havasını değil daire içerisindeki havayı bünyesine alarak sıkıştırmaktadır. Bu durum daire içerisindeki havanın sıcak olması sebebiyle kompresörden yeterli verim alınmamasına neden olmaktadır. Kompresörün bünyesine aldığı emiş havası sıcaklığının yaklaşık olarak her 3 °C düşüşünde, enerji tüketimi %1 oranında azalmaktadır (Değirmen ve Şanlı, 2021). Bu durumun enerji tüketimine etkisi Bölüm 4.6’da verilmiştir.

Öneri: Kompresör Emiş Havası Sıcaklığının Düşürülmesi

İşletmede kullanılan kompresörün tükettiği enerji miktarından yola çıkılarak kompresörün bünyesine aldığı emiş havası sıcaklığının 10 °C düşürülmesiyle elde edilecek tasarruf miktarları hesaplanmıştır (Değirmen ve Şanlı, 2021).

3.8. Ring Hattı ve Tesisatı

İşletmede kompresörden çıkan basınçlı havayı ilgili ekipmanlara ileten boru hattının revize edilerek basınçlı havanın verimli bir şekilde kullanılması önerilmektedir. Tesiste ekipmanlara basılacak havanın makine dairesinden itibaren tüketim noktalarına dağılımı ring hattı üzerinden tamamlanarak sistem hatlarının da rezerv olarak kullanılması sağlanacaktır. Bu sayede çalışma basıncı 1 bar düşürülerek elektrik tüketiminde %7 civarında tasarruf sağlanması beklenmektedir (Bursa Ticaret ve Sanayi Odası Enerji Verimliliği Merkezi, 2020).

İşletmelerde tesisatı yeterli verimliliğe sahip olmayan hatlarda basıncın, tüketim noktasına vardığında ilgili noktanın ihtiyacını karşılayabilmesi için kompresörden fazla hava basmak gerekir. Bu durum gereksiz enerji ve maliyet harcanmasına neden olmaktadır. Söz konusu durum tesisat revizyonu ve kompresörden basılan hava basıncının düşürülmesiyle engellenebilir (Değirmen ve Şanlı, 2021).

Öneri: Ring Hattına Verilen Hava Basıncının Düşürülmesi

Fabrikadaki kompresörün kapasitesinden yola çıkılarak enerji tasarrufu, maddi tasarruf miktarı ve önlenen emisyon miktarları hesaplanmıştır (Değirmen ve Eker, 2021). Bölüm 4.7’de bahsedilen revizyonların enerji, maliyet ve CO₂ emisyonlarına olumlu etkileri verilmiştir.

4. İŞLETMEDE ÖNERİLEN ENERJİ VERİMLİLİĞİ UYGULAMALARI İLE İLGİLİ KAZANIMLAR

Hesaplamalara ilişkin sonuçlar tek bir tabloda (Tablo 5) toplanmış olup çalışmanın detaylarına ilişkin bilgiler Bölüm 4’ün alt başlıklarında verilmiştir. İncelemeler neticesinde 7 alanda iyileştirme yapılabileceği ve bu iyileştirmelerin geri ödeme sürelerinin 3 yıldan daha kısa olduğu tespit edilmiş olup ilk etapta bu alanlara yönelik çalışmaların yapılması önerilmiştir. Bu alanlar sırasıyla jet makinelerinin izole edilmesi, buhar kazanı su seviyesinin otomatik kontrolü,

kondens dönüşlerinin toplanması, kondenslerde seviye kontrol sistemi uygulaması, kazan besisi suyu şartlandırma sisteminin kurulması, kompresör emiş havasının düzenlenmesi ile ring hattı ve tesisat revizyonudur. İyileştirmelerin işletmeye sağladığı kazanımlar aşağıdaki tabloda (Tablo 5) özetlenmiştir.

Tablo 5. Enerji verimliliği çalışmaları ve kazanımlar

Uygulanan Enerji Verimliliği Çalışmaları	Enerji Tasarrufu (Nm ³ /yıl)	Maddi Tasarruf (TL/yıl)	Önlenen Emisyon (ton CO ₂ /yıl)	Geri Ödeme Süresi (yıl)
Jet makineleri izolasyonu	16.980	28.866	30,6	0,88
Kazan su seviyesi otomatik kontrolü	18.828	32.000	33,8	2,5
Kondens dönüşlerinin toplanması	103.284	175.583	186	2,7
Kondenslerde seviye kontrol sistemi uygulaması	11.310	19.227	20,4	0,14
Kazan temizlenmesi ve kazan besisi suyu şartlandırma	42.000	71.400	75	1,7
Kompresör emiş havasının düzenlenmesi	5.927	3.141	2,7	0,5
Ring hattı ve tesisat revizyonu	11.340	6.010	2,8	3,3

Tablo 5'te de görüldüğü üzere geri ödeme süresi en kısa olan iyileştirme kondenslerde seviye kontrol sistemi uygulaması iken çevreye sağlanacak fayda bakımından en avantajlı uygulama kondens dönüşlerinin toplanarak atık ısısından faydalanmaktır. Bununla birlikte ele alınan diğer uygulamalarda da hem çevresel hem de enerji-maliyet tasarrufu anlamında azımsanamayacak ölçüde faydalar sağlanacağı gözlenmiştir.

4.1. Jet Makineleri İzolasyonu

Bölüm 3.2'de detaylı hesaplamaları verilen uygulamaya ilişkin sonuçlar aşağıdaki tabloda (Tablo 6) verilmiştir.

Tablo 6. Jet makineleri için yapılan hesaplamalar

Makine No	Proses Sıcaklığı (°C)	Q _C	Q _R	Q _T	Q _{izo}	Q _{En.Tas}
Makine 1	40	6.402	16.117	22.518	3.840	23.024 (86 dk için)
Makine 2	50	15.226	33.881	49.107	7.680	83.131 (140 dk için)
Makine 3	65	30.647	63.855	94.503	13.440	220.761 (190 dk için)
Makine 4	85	53.921	110.633	164.554	21.120	185.030 (90 dk için)
Makine 5	100	72.891	151.345	224.236	26.880	28.288 (10 dk için)
Makine 6	110	86.132	181.399	267.532	30.720	33.943 (10 dk için)
Makine 7	120	99.794	213.935	313.730	34.560	200.072 (50 dk için)

7 makine için toplam enerji tasarrufu hesabı:

Yedi makine için bir şarj süresince gerçekleşecek olan enerji tasarrufu miktarı toplamı;

$$\begin{aligned} Q_{En.Tas} &= Q_{En.Tas1} + Q_{En.Tas2} + Q_{En.Tas3} + Q_{En.Tas4} + Q_{En.Tas5} + Q_{En.Tas6} + Q_{En.Tas7} = \\ &= 23.024 + 83.131 + 220.761 + 185.030 + 28.288 + 33.943 + 200.072 \\ &= 774.249 \text{ kcal/şarj} \end{aligned}$$

Hesaplamaların işletmeye ve çevreye olan etkileri Tablo 7’teki gibidir.

Tablo 7. Jet makineleri izolasyonu sonucu işletmeye ve çevreye etkileri

Tasarruf Miktarı		Önlenen Emisyon Miktarı	Yatırım Maliyeti	Geri Ödeme Süresi
Nm ³ /yıl	TL/yıl	ton CO ₂ /yıl	TL	Yıl
16.980	28.866	30,6	25.500	0,88

4.2. Kazan

Bölüm 3.3’te hesaplamaları yer alan su seviyesi otomatik kontrol revizyonunun işletmeye ve çevreye etkileri aşağıdaki tabloda (Tablo 8) özetlenmiştir.

Tablo 8. Su seviyesi otomatik kontrolünün işletmeye ve çevreye etkileri

Kazanç Türü	Tasarruf Miktarı		Önlenen Emisyon Miktarı	Yatırım Maliyeti	Geri Ödeme Süresi
	Nm ³ /yıl	TL/yıl	ton CO ₂ /yıl	TL	Yıl
Su Seviyesi Otomatik Kontrolü	18.828	32.000	33,84	2.692	-
Diğer Kazançlar	İSG ve Bakım Kazancı	-	-	78.189	-
Toplam	18.828 + İSG ve Bakım	32.000	33,84	80.881	2,5

4.3. Boya Makineleri Kondens Dönüşleri

Bölüm 3.4’te önerilen iyileştirmenin hesaplama sonuçları aşağıdaki tabloda (Tablo 9) verilmiştir.

Tablo 9. Kondens dönüşlerinin toplanmasının işletmeye ve çevreye etkileri

Tasarruf Miktarı		Önlenen Emisyon Miktarı	Yatırım Maliyeti	Geri Ödeme Süresi
Nm ³ /yıl (tam yük)	TL/yıl	ton CO ₂ /yıl	TL	Yıl
103.284	175.583	186	475.000	2,7

4.4. Kondenslerde Seviye Kontrol Sistemi Uygulaması

Bölüm 3.5'te hesaplamaları yer alan uygulamanın işletmeye ve çevreye etkileri aşağıdaki tabloda (Tablo 10) verilmiştir.

Tablo 10. Kondens tankı sıcaklığını kontrol altında tutmanın işletmeye ve çevreye etkileri

Tasarruf Miktarı		Önlenen Emisyon Miktarı	Yatırım Maliyeti	Geri Ödeme Süresi
Nm ³ /yıl	TL/yıl	ton CO ₂ /yıl	TL	Yıl
11.310	19.227	20,4	2.692	0,14

4.5. Kazan Besi Suyu Şartlandırma Sisteminin Kurulması

Bölüm 3.6'da önerilen iyileştirmenin önlenen emisyon miktarları, maddi tasarruflar ve geri ödeme süreleri Tablo 11'de verilmektedir.

Tablo 11. Kazan kışırımın temizlenmesi ve kazana beslenen suyun ters osmozla arıtılmasının işletmeye ve çevreye etkileri

Tasarruf Miktarı		Önlenen Emisyon Miktarı	Yatırım Maliyeti (Ters Osmoz Maliyeti)	Geri Ödeme Süresi
Nm ³ /yıl	TL/yıl	ton CO ₂ /yıl	TL	Yıl
42.000	71.400	75	138.736	1,7

4.6. Kompresör Emiş Havası

Bölüm 3.7'de işletmeye önerilen uygulamanın hesaplama sonuçlarına ilişkin veriler aşağıdaki tabloda (Tablo 12) yer almaktadır.

Tablo 12. Kompresör emiş havası sıcaklığının düşürülmesinin işletmeye ve çevreye etkileri

Tasarruf Miktarı		Önlenen Emisyon Miktarı	Yatırım Maliyeti	Geri Ödeme Süresi
kWh/yıl	TL/yıl	ton CO ₂ /yıl	TL	Yıl
5.927	3.141	2,72	1.500	0,5

4.7. Ring Hattı ve Tesisatı

Bölüm 3.8'de önerilen iyileştirmenin sonuçlarına ilişkin bilgiler aşağıdaki tabloda (Tablo 13) verilmiştir.

Tablo 13. Ring hattına verilen hava basıncının düşürülmesiyle işletmeye ve çevreye etkileri

Tasarruf Miktarı		Önlenen Emisyon Miktarı	Yatırım Maliyeti	Geri Ödeme Süresi
kWh/yıl	TL/yıl	ton CO ₂ /yıl	TL	Yıl
11.340	6.010	2,76	20.000	3,3

5. SONUÇ

Enerjinin binalar, ulaşım ve tarım gibi alanlarda kullanım yoğunluklarına bakıldığında sanayideki kullanım oranı diğer alanlara kıyasla fazladır. Bu durum sanayide yapılacak olan hamlelerin enerji verimliliği çalışmalarına ivme kazandıracağı anlamına gelmektedir. Bu çalışma kapsamında Bursa'da tekstil sektöründe faaliyet gösteren bir havlu üretimi tesisinde enerji etütleri yapılmış ve başlıca 7 iyileştirmenin uygulanması önerilmiştir. Çalışma sonucunda işletmede tespit edilen iyileştirmeler şu şekilde özetlenebilir:

- Jet makineleri izolasyonu ile yıllık olarak enerjiden 16.980 Nm³, maliyetten 28.866 TL tasarruf edileceği hesaplanırken bu iyileştirmenin geri ödeme süresi 0,88 yıl olarak belirlenmiştir. Uygulamanın çevre üzerindeki olumlu etkisi ise atmosfere yıllık olarak 30,6 ton daha az CO₂ salınımı gerçekleşecek olmasıdır.
- İşletmede halihazırda kullanılmakta olan kazanda su seviyesi otomatik kontrolünün sağlanmasıyla enerjiden yılda 18.828 Nm³ tasarruf elde edilebilirken maddi anlamda yıllık 32.000 TL kazanç sağlanabilecektir. İyileştirmenin geri ödeme süresi İSG ve bakım kazançlarıyla birlikte 2,5 yıl olarak hesaplanmış ve uygulamayla birlikte salınan CO₂ miktarının yıllık 33,84 ton azaltılabileceği tespit edilmiştir.
- Boya makineleri kondens dönüşlerinin toplanması uygulamasıyla enerjiden yılda 103.284 Nm³, maliyetten 175.583 TL tasarruf edilebileceği hesaplanmıştır. İyileştirmenin geri ödeme süresi 2,7 yıl iken önlenebilecek emisyon miktarı 186 ton/yıl'dır.
- İşletmedeki kondenslerde seviye kontrol sistemi uygulamasıyla yıllık enerji tasarruf miktarı 11.310 Nm³ iken maliyetten 19.227 TL'lik kazanç sağlanabilecektir. Uygulamanın geri ödeme süresi 0,14 yıl ve önlenecek emisyon miktarı 20,4 ton olarak hesaplanmıştır.
- Fabrikada kullanılmakta olan kazana, besi suyu şartlandırma sistemi uygulamasının işletmeye yıllık olarak 42.000 Nm³ enerji tasarrufu ve 71.400 TL mali tasarruf sağlayacağı hesaplanmıştır. İyileştirmenin geri ödeme süresi 1,7 yıl iken bu uygulamayla önlenebilecek emisyon miktarı 75 ton/yıl şeklindedir.
- İşletmedeki mevcut kompresöre verilen emiş havası sıcaklığının 10 °C düşürülmesiyle enerjiden yılda 5.927 kWh tasarruf elde edilebilirken maliyetten 3.141 TL tasarruf edileceği belirlenmiştir. Ayrıca bu iyileştirme için geri ödeme süresi 0,5 yıl olarak hesaplanırken yıllık atmosfere verilecek CO₂ miktarındaki azalma 2,72 ton olarak hesaplanmıştır.
- Tesisteki mevcut ring hattına verilen hava basıncının 1 bar düşürülmesiyle enerjiden yılda 11.340 kWh tasarruf eldesi ile maliyetten yıllık 6.010 TL tasarruf edilebilecektir. İlgili uygulamanın kendini 3,3 yılda amorte edebileceği hesaplanmış ve atmosfere yılda 2,7 ton daha az CO₂ verileceği belirlenmiştir.

Sanayi devrimiyle birlikte sanayileşmenin hızla artması ve 'boru sonu yaklaşımı' olarak da bilinen kirlilik kontrolü anlayışı nedeniyle insanoğlu, kirlilik oluştuktan sonra bu kirliliği gidermeye çalışmıştır. Ancak küresel çapta yaşanan çevresel felaketlerle birlikte kirliliğin oluştuktan sonra değil kaynağında önlenmesi gerektiği anlaşılmıştır. Bu yaklaşımdan yola çıkılarak tüketilen enerjinin sonsuz bir kaynak olmadığı, boşa harcanan enerjinin sadece maliyet bakımından değil çevresel boyutlarda da meydana getirdiği hasarlar üzerinde durulmalıdır. Bu çalışma ve benzeri çalışmalarla görülmektedir ki enerjinin tüketildiği her alanda tasarruf imkanı da mevcuttur. Bu tasarrufu sağlayarak ülke ekonomisine katkıda bulunmanın yanı sıra yaşlı dünyamıza yüklenen çevre tahribatı da azaltılabilir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar, bilinen herhangi bir çıkar çatışması veya herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile ortak çıkar bulunmadığını onaylamaktadırlar.

YAZAR KATKISI

Duriye DEĞİRMEN, çalışmanın kavramsal ve tasarım süreçlerinin belirlenmesi, veri toplama, veri analizi ve yorumlama, makale taslağının oluşturulması, son onay ve tam sorumluluk, Gizem EKER ŞANLI, çalışmanın kavramsal ve tasarım süreçlerinin belirlenmesi ve yönetimi, veri analizi ve yorumlama, fikirsel içeriğin eleştirel incelemesi ile son onay ve tam sorumluluk kısımlarına katkı sağlamıştır.

TEŞEKKÜRLER

Bu çalışma Bursa Ticaret Sanayi Odası (BTSO) Enerji Verimliliği Merkezi (EVM) tarafından desteklenmiştir. BTSO EVM'den Canpolat ÇAKAL ve Işıl HASDEMİR'e enerji etütlerindeki özverili çalışmaları için çok teşekkür ederiz. Ayrıca enerji verimliliği çalışmalarıyla ve verdiği eğitimlerle ufukumuzu açan Ziya SÖĞÜT'e teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

1. Alkaya, E. and Demirer, N. G. (2014) Sustainable Textile Production: A Case Study from a Woven Fabric Manufacturing Mill in Turkey, *Journal of Cleaner Production* 65, 595-603. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.07.008>
2. BTSO, EVM (2020). Bursa Ticaret Sanayi Odası Enerji Verimliliği Merkezi.
3. Cabak, B. (2018). Tekstil Fabrikasında Enerji Verimliliği Uygulamaları, *Yüksek Lisans Tezi*, Trakya Üniversitesi, Edirne.
4. Dağkurs, L. ve İşeri, İ. (2018) Jet Boyama Makinesinin Termal Modeli. *Journal of New Results in Engineering and Natural Sciences*, (8), 16-24.
5. Değirmen D. ve Şanlı G. (2021) Bir Tekstil İşletmesinde Enerji Maliyetlerinin ve Karbon Ayak İzinin Azaltılmasına İlişkin Bir Araştırma, *4th International Congress on Agriculture, Environment and Health* 499-512.
6. Gelir, B. Ç. (2017). Tekstil Sektöründe Kullanılan Ramöz Makinelerinde Isı Geri Kazanımı ile Enerji Tasarrufu, *Master's thesis*, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ.
7. Işık, N., & Kılınç, E. C. (2014). Ulaştırma Sektöründe CO₂ Emisyonu ve Enerji Ar-Ge Harcamaları İlişkisi. *Sosyoekonomi*, 22(2). doi:<https://doi.org/10.17233/se.51323>
8. Karyeyen, S., Aksoy, M. H., Özgören, M. ve Koçak, S. (2012) Konya Sanayisinde Enerji Verimliliği, *Bölgesel Araştırma Raporları Serisi*, 5.
9. Kazan Otomasyonu, (2021). Erişim Adresi: <https://www.viraisi.com/kazan-otomasyonu-1> (Erişim Tarihi: 24.06.2021)
10. Koç, E. ve Şenel, M. C. (2013) Dünyada ve Türkiye'de Enerji Durumu-Genel Değerlendirme, *Mühendis ve Makina*, 54. 639. 32-44.
11. Oransal Kontrol Vanası, (2021). Erişim Adresi: <https://www.bafcon.com.tr/oransal-kontrol-vanasi> (Erişim Tarihi: 12.04.2021)
12. Öztürk, E. (2012). Tekstil Sektöründe Enerji Tasarrufu Olanaklarının Araştırılması ve Uygulanması (Master's Thesis, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).

13. Öztürk, E., Köseoğlu, H., Karaboyacı, M., Yigit, N. O., Yetiş, U. and Kitis, M. (2016) Sustainable textile production: cleaner production assessment/eco-efficiency analysis study in a textile mill. *Journal of Cleaner Production*, 138. 248-263. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.071 0959-6526/©
14. Pulat, E., Etemoglu, A. B. and Can, M. (2009) Waste-heat recovery potential in Turkish textile industry: Case study for city of Bursa, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(3). 663-672. doi:10.1016/j.rser.2007.10.002
15. Söğüt, M. Z., Çakal, C., Okur, F. E. (2019). Bir Tekstil İşletmesinin Enerji Tüketimi ve Verimlilik Analizi.14. *Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 17-20 Nisan 2019, İzmir.
16. TMMOB MMO, Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği Makina Mühendisleri Odası (2008) *Dünya'da ve Türkiye'de Enerji Verimliliği Oda Raporu*, 39.
17. Tunç, M., Kaplan, K., Sisbot, S. and Çamdalı, U. (2016) Energy Management and Optimization: Case Study of a Textile Plant in Istanbul, Turkey, *World Journal of Engineering*, 13(4). 348–355. doi: 10.1108/WJE-08-2016-046
18. Uzun, A. ve Değirmen, M. (2018) Endüstriyel İşletmelerde Enerji Verimliliği ve Enerji Yönetimi, *Uluslararası Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 4(2). 83-97.
19. Yamankaradeniz, N., Coşkun, S., ve Can, M. (2007). Tekstil Sanayiinde Atık Isıdan Yararlanılarak Enerji Tasarrufunda Klasik Sistem ile Isı Pompasının Karşılaştırılması. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 12(1).