



**BURSA'DA SEKTÖREL ENERJİ VERİMLİLİĞİ
UYGULAMALARININ EKONOMİK VE ÇEVRESEL
FAYDALARI**

Duriye DEĞİRMEN



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**“BURSA'DA SEKTÖREL ENERJİ VERİMLİLİĞİ UYGULAMALARININ
EKONOMİK VE ÇEVRESEL FAYDALARI”**

DURİYE DEĞİRMEN
0000-0002-5656-0002

Prof. Dr. Gizem EKER ŞANLI
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2023
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BURSA'DA SEKTÖREL ENERJİ VERİMLİLİĞİ UYGULAMALARININ EKONOMİK VE ÇEVRESEL FAYDALARI

Duriye DEĞİRMEN

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Gizem EKER ŞANLI

Dünyada nüfusun hızla artışına paralel olarak enerji arzında da artış gözlenmektedir. 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 hale getirmektedir. Enerjinin tüketiminde büyük pay sahibi olan sanayide enerji verimliliği çalışmalarının yapılması büyük önem arz etmektedir. Endüstriyel işletmelerde enerji tasarrufu sağlamak ve düşük karbonlu üretim yöntemlerini kullanmak işletmelerin karbon ayak izini düşürecektir. Bu çalışmada, Bursa'da faaliyet göstermekte olan tekstil, gıda ve otomotiv işletmelerinde yapılabilecek enerji verimliliği uygulamaları ve sağlanabilecek kazanımlar ele alınmıştır. Önerilen uygulamaların hayata geçirilmesiyle incelenen tesislerde beklenen enerji tasarruf miktarları 0,5 ile 85,2 ton eşdeğer petrol (TEP) arasında değişkenlik gösterirken, mali tasarruf miktarları 3 141 TL ile 214 188 TL arasında ve yıllık önlenebilecek CO₂ emisyon miktarlarının da 2,7 ton ile 186 ton arasında değişkenlik gösterebileceği hesaplanmıştır. Çevresel açıdan emisyon miktarını en fazla azaltan uygulamalar sırasıyla; tekstil sanayinde kondens dönüşlerinin toplanması (186 ton CO₂/yıl), otomotiv sanayinde basınçlı hava kaçaklarının giderilmesi (152 ton CO₂/yıl) ve yine otomotiv sanayinde sıcak hatlara izolasyon uygulaması ile (130 ton CO₂/yıl) sağlanabileceği tespit edilmiştir. Bu veriler ışığında her işletmede az da olsa enerji tasarruf potansiyelinin var olduğu, bu ve benzeri çalışmaların uygulamaya konularak yaygınlaştırılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sanayi, enerji verimliliği uygulamaları, CO₂ emisyonu, tekstil, gıda, otomotiv

2023, vii +58 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL BENEFITS OF SECTORAL ENERGY EFFICIENCY PRACTICES IN BURSA

Duriye DEĞİRMEN

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Gizem EKER ŞANLI

In parallel with the rapid increase in population in the world, an increase in energy supply is also observed. 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. It is of great importance to carry out energy efficiency studies in the industry, which has a large share in the consumption of energy. Saving energy and using low-carbon production methods in industrial enterprises will reduce the carbon footprint of enterprises. In this study, energy efficiency applications and gains that can be made in textile, food and automotive businesses operating in Bursa are discussed. It has been calculated that the expected amount of energy savings in the examined facilities, with the implementation of the proposed practices, varies between 0,5 and 85,2 tons of oil equivalent (TOE), while the financial savings can vary between 3 141 TL and 214 188 TL, and the annual CO₂ emission amounts that can be prevented can vary between 2,7 tons and 186 tons. The applications that reduce the amount of emissions the most in terms of environment are respectively; It has been determined that it can be achieved by collecting condensate returns in the textile industry (186 tons CO₂/year), eliminating compressed air leaks in the automotive industry (152 tons CO₂/year) and applying insulation to hot lines in the automotive industry (130 tons CO₂/year). In the light of these data, it has been concluded that there is a small amount of energy saving potential in every business, and that this and similar studies should be put into practice and disseminated.

Keywords: Industry, energy efficiency applications, CO₂ emission, textile, food, automotive

2023, vii +58 pages.

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Termodinamiğin Birinci Kanunu der ki; enerji yoktan var edilemez ve var olan enerji de yok edilemez. Bu kanundan hareketle, enerji kaynaklarının sonsuz olmadığı ve tasarruflu kullanılması gerektiği sonucu çıkarılabilir. Enerjinin en az tüketildiği yerden en yoğun tüketildiği yere kadar her alanda verimli kullanılması elzemdir. Bu tez çalışmasıyla, enerjinin yoğun olarak tüketildiği alanlardan biri olan sanayide yapılan verimlilik çalışmalarına dikkat çekmek ve benzeri çalışmaların teşvik edilmesini amaçladık.

Kobilerde Enerji Yönetim Uzmanlığı (Energy Management Specialist for SMEs) eğitimini hazırlayan, aktaran ve bu eğitim ile enerji alanında ufkumu genişleten Prof. Dr. Mehmet Ziya SÖĞÜT hocaya ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

Küresel ölçekte önem arz eden ve dikkat çekilmesi gereken konulardan biri olan ‘Enerji’ alanında ilerlememe olanak sağlayan ve bu tez çalışmasını hazırlamama yardımcı olan sevgili ve saygıdeğer danışmanım Prof. Dr. Gizem EKER ŞANLI başta olmak üzere çalışmaya verdikleri desteklerden ötürü Canpolat ÇAKAL’a ve Işıl HASDEMİR’e teşekkürlerimi borç bilirim.

Hayata daha duyarlı yaklaşmama katkı sağlayan ve yüksek lisans eğitimim boyunca desteğini esirgemeyen değerli işverenim Ulvi İSLAMOĞLU’na teşekkür ederim.

Yaşamım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini esirgemedi her zaman yanımda olan kıymetli aileme ve ayrıca tez çalışmam boyunca desteklerinden dolayı sevgili ablam Sema DEĞİRMEN BEKTAŞ’a teşekkürlerimi sunarım.

Duriye Değirmen
11/01/2023

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	2
2.1. Enerji ve Çevre İlişkisi.....	2
2.2. Enerji Verimliliği ve Faydaları	3
2.3. İşletmelerde Enerji Verimliliği Uygulamalarının Sağladığı Faydalar	4
2.4. Sektörel Enerji Verimliliği İle İlgili Yapılan Çalışmalar	5
3. MATERYAL VE YÖNTEM	9
3.1. İncelenen İşletmelerin Tanıtımı	9
3.1.1. Tekstil işletmesi.....	9
3.1.2. Gıda işletmesi.....	9
3.1.3. Otomotiv işletmesi	10
3.2. Enerji Etütleri ve Kullanılan Cihazlar	11
3.3. Enerji Tüketimlerinin Yıllara Göre Dağılımları.....	12
3.3.1. Tekstil işletmesinde enerji tüketimlerinin yıllara göre dağılımı	12
3.3.2. Gıda işletmesinde enerji tüketimlerinin yıllara göre dağılımı.....	13
3.3.3. Otomotiv işletmesinde enerji tüketimlerinin yıllara göre dağılımı	15
3.4. İşletmelerde Enerji Verimliliği İle İlgili Çalışma Yapılan Üniteler/Birimler	16
3.4.1. Tekstil işletmesinde incelenen üniteler/birimler	16
3.4.2. Gıda ve otomotiv işletmesinde ortak incelenen üniteler/birimler	20
3.5. Enerji Verimliliği ile İlgili Hesaplamalar.....	25
3.5.1. Kullanılan başlıca formüller ve değerler	25
3.5.2. İstatistiksel değerlendirme yöntemleri	26
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	27
4.1. Tekstil İşletmesi İçin Önerilen Enerji Verimliliği Uygulamaları ve Kazanımlar	27
4.1.1. Jet makineleri izolasyonu	27
4.1.2. Kazan.....	29
4.1.3. Boya makineleri kondens dönüşleri	31
4.1.4. Kondenslerde seviye kontrol sistemi uygulaması	32
4.1.5. Kazan besisi suyu şartlandırma sisteminin kurulması	33
4.1.6. Kompresör emiş havası	34
4.1.7. Ring hattı ve tesisatı	35
4.2. Gıda ve Otomotiv İşletmeleri İçin Önerilen Enerji Verimliliği Uygulamaları ve Kazanımlar	36
4.2.1. Ortak uygulamalar.....	36
4.2.2. Gıda işletmesi için önerilen enerji verimliliği uygulamaları ve kazanımlar	42
4.2.3. Otomotiv işletmesi için önerilen enerji verimliliği uygulamaları ve kazanımlar ..	44
4.3. İstatistiksel Değerlendirmeler	46
4.3.1. Tekstil işletmesi için istatistiksel hesaplamalar	46
4.3.2. Gıda işletmesi için istatistiksel hesaplamalar.....	46
4.3.3. Otomotiv işletmesi için istatistiksel hesaplamalar	46

5. SONUÇLAR	49
5.1. Tekstil İşletmesinde Enerji Verimliliği Çalışmaları Kapsamında Önerilen Uygulamaların Değerlendirilmesi	49
5.2. Gıda İşletmesinde Enerji Verimliliği Çalışmaları Kapsamında Önerilen Uygulamaların Değerlendirilmesi	49
5.3. Otomotiv İşletmesinde Enerji Verimliliği Çalışmaları Kapsamında Önerilen Uygulamaların Değerlendirilmesi	50
KAYNAKLAR	54
ÖZGEÇMİŞ	58



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

d_1	Boru Dış Çapı (m)
d_2	Boru Dış Çapı (Yalıtım Sonrası) (m)
B	Çarpım Faktörü ($W/m^2 \cdot ^\circ K$)
$Q_{En.Tas}$	Enerji Tasarrufuyla Kazanılan Isı (W)
u_{so}	Hava Hızına Bağlı Yüzeysel Isı Transfer Katsayısı ($W/m^2 \cdot ^\circ K$)
T_o	İlk Sıcaklık ($^\circ K$)
Q_{izo}	İzolasyonlu Yüzeyden Verilen Isı (W)
Q_C	Konveksiyon Yolu İle Verilen Isı (W)
m	Maddenin Kütlesi (g)
c	Maddenin Öz Isısı ($cal/g \cdot ^\circ C$)
Q_R	Radyasyon Yoluyla Verilen Isı (W)
ΔT	Sıcaklık Değişimi ($^\circ K$)
T_s	Son Sıcaklık ($^\circ K$)
E	Termal Isınım Yayıma Yeteneği ($W/m^2 \cdot ^\circ K$)
Q	Verilen Isı (cal)
Q_T	Verilen Toplam Isı (W)
λ	Yalıtım Malzemesinin Isıl İletkenliği ($W/m \cdot ^\circ K$)
A	Yüzey Alanı (m^2)
$Q_{En.Tas1}$	1 Şarj Süresince Tasarrufla Elde Edilen Isı (kcal/şarj)
1 Nm ³	1,8 kg CO ₂
1 kWh	0,46 kg CO ₂
1 kcal	4,186 kJ
1 Nm ³	$8,25 \times 10^{-4}$ TEP
1 kWh	$8,6 \times 10^{-5}$ TEP
Doğalgaz Alt Isıl Değeri	8 250 kcal/Nm ³
Tekstil Tesisi Yıllık Çalışma Saati	(50 hafta, 6 gün, 20 saat): 6 000 saat/yıl
Tekstil İşletmesi İçin Euro	7,596 TL (30.04.2020)
Gıda İşletmesi İçin Euro	8,75 TL (01.02.2021)
Otomotiv İşletmesi İçin Euro	8,51 TL (12.02.2021)

Kısaltmalar

BTSO EVM	Bursa Ticaret ve Sanayi Odası Enerji Verimliliği Merkezi
Ton Eşdeğer Petrol	TEP

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2. 1. Bazı sanayi kollarında toplam üretim maliyetleri içinde enerji maliyetlerinin oranı	4
Şekil 3. 1. 2020 yılı için aylara göre üretim miktarları	10
Şekil 3. 2. 2020 yılı için aylara göre üretim miktarları	11
Şekil 3. 3. (a) 2020 yılı enerji tüketim dağılımı, (b) 2020 yılı enerji maliyet dağılımı	13
Şekil 3. 4. İşletmede kullanılan enerji kaynaklarının yıllara göre tüketimi	14
Şekil 3. 5. 2020 yılı aylara göre enerji tüketimi dağılımı.....	14
Şekil 3. 6. İşletmede kullanılan enerji kaynaklarının yıllara göre tüketimi	15
Şekil 3. 7. 2020 yılı aylara göre enerji tüketimi dağılımı.....	16
Şekil 3. 8. Jet boyama makinesi	17
Şekil 3. 9. Kondens dönüş hataları.....	19
Şekil 3. 10. Kompresör çalışma prensibi	22
Şekil 3. 11. Kompresör odası yeni hava giriş-1	23
Şekil 3. 12. Kompresör odası yeni hava giriş-2	23
Şekil 3. 13. Selenoid vana örnekleri.....	24
Şekil 4. 1. Otomotiv işletmesi için regresyon analizi	47
Şekil 4. 2. CUSUM grafiği.....	48

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1. CO ₂ emisyonunun antropojenik kaynakları	3
Çizelge 3. 1. Yıllık üretim kapasiteleri	9
Çizelge 3. 2. Enerji izleme/ölçüm cihazları ve kullanım alanları	12
Çizelge 3. 3. 24 saat gözetimsiz kazan çalışmalarının işletme bazında değerlendirilmesi.....	18
Çizelge 4. 1. Jet makineleri için yapılan hesaplamalar	28
Çizelge 4.2. Jet makineleri izolasyonu sonucu işletmeye ve çevreye olan etkiler.....	29
Çizelge 4. 3. Su seviyesi otomatik kontrolünün işletmeye ve çevreye olan etkileri	31
Çizelge 4. 4. Kondens dönüşlerinin toplanmasının işletmeye ve çevreye olan etkileri	32
Çizelge 4. 5. Kondens tankı sıcaklığını kontrol altında tutmanın işletmeye ve çevreye olan etkileri	33
Çizelge 4. 6. Kazan kışırının temizlenmesi ve kazana beslenen suyun ters osmozla arıtılmasının işletmeye ve çevreye olan etkileri.....	34
Çizelge 4. 7. Kompresör emiş havası sıcaklığının düşürülmesinin işletmeye ve çevreye olan etkileri	35
Çizelge 4. 8. Yapılan iyileştirmenin işletmeye ve çevreye olan etkileri.....	36
Çizelge 4. 9. Basınçlı hava kaçaklarının giderilmesi uygulamasının etkileri ve maliyeti.....	37
Çizelge 4. 10. İşletmedeki kompresör enerji tüketimleri ve tasarruf sonuçları	38
Çizelge 4. 11. Basınçlı hava sisteminin 1 bar düşürülmesinin etkileri ve maliyeti .	39
Çizelge 4. 12. Kompresör emiş havasının düzenlenmesi tasarruf miktarı	40
Çizelge 4. 13. Kompresör emiş havasının düzenlenmesinin etkileri ve maliyeti	40
Çizelge 4. 14. Selenoid vana uygulamasının etkileri ve maliyeti	42
Çizelge 4. 15. Flash buhar uygulamasının etkileri ve maliyeti	42
Çizelge 4. 16. Vana ve armatür yalıtımının etkileri ve maliyeti	44
Çizelge 4. 17. Sıcak hatlara izolasyon uygulanmasının etkileri ve maliyeti.....	45
Çizelge 4. 18. Son 3 yıla ait üretim ve enerji tüketim verileri	46
Çizelge 4. 19. Varyans analizi	47
Çizelge 5. 1. Sektörel enerji verimliliği uygulamaları ve kazanımlar.....	52

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 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, küresel piyasalarda çevreci yaklaşımların zorunlu hale gelmesi gibi nedenler de enerji verimliliğinin gerekliliğini ortaya koymaktadır (Karyeyen ve ark., 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.

Bu çalışma kapsamında üç farklı sanayi tesisine yer verilmiş olup, bu tesislerde yapılan ön ve detaylı etüt çalışmalarıyla yapılabilecek enerji verimliliği uygulamaları belirlenmiş ve önerilen iyileştirmelerin yapılması durumunda işletmeye ve çevreye olacak etkiler ortaya konulmuştur.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Dünyada teknolojinin gelişmesiyle paralel olarak, üretilen enerjiyle daha çok iş yapılması yönünde adımlar atılırken, ısı ve gaz gibi enerji kayıplarının yaşandığı noktalar ile atıkların değerlendirilmesi yönünde yeni politikalar ve stratejiler geliştirilmektedir. Türkiye’de sanayi sektöründe enerji tasarrufu potansiyelinin en az %20 olduğu ve bu oranın yaklaşık %50’sinin yüksek yatırım maliyeti gerektirmeyen ve iki yıldan daha az süreli geri ödemelerle gerçekleştirilebileceği tespit edilmiştir (Yılankırkan ve Doğan, 2015). Enerjinin kullanımı sırasında açığa çıkan ve sera gazlarının en yüksek paya (%80) sahip olan CO₂ emisyonunun azaltılması için enerji verimliliği çalışmalarının yaygınlaştırılması gerekmektedir.

2.1. Enerji ve Çevre İlişkisi

Enerji ve çevre birbirleriyle yakından ilişkili kavramlardır. Enerjinin üretimi, taşınması, ticareti, çevrimi, iletimi, dağıtımı ve tüketimi sırasında çevre kirliliği meydana gelmektedir. Fosil yakıtların (kömür, petrol, doğal gaz vs.) yanması sonucu oluşan katı, sıvı ve gaz halindeki atıklar hava, su ve toprak kirliliğine neden olarak atmosfere yaydıkları sera gazları ile küresel ısınma ve iklim değişikliği sorununda da önemli rol oynamaktadırlar (Erdoğan, 2020). Küresel ısınma başta olmak üzere iklim değişiklikleri, tüm dünyanın karşılaştığı en önemli sorunlardan biridir. İklim değişikliğine neden olan başlıca sera gazları; karbondioksit (CO₂), metan (CH₄), nitroz oksit (N₂O), hidroflorokarbon (HFC), perflorokarbon (PFC) ve kükürt hekzaflorid (SF₆)’dir. Bunların içinde en önemlisi karbondioksit gazıdır ve toplam sera gazı miktarı içindeki payı %80’i bulmaktadır. Çevreye kirlletici etkide bulunan CO₂ emisyonunun antropojenik (insan kökenli) kaynakları çizelgede de belirtildiği üzere (Çizelge 2.1) 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 gözlemlenebilecektir. Enerji verimliliğinin sağlanması enerji üretim ve tüketim

miktarını minimuma indireceğinden, 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. Çevreye verilen tahribata bakıldığında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaştırılması ve hali hazırda kullanılan enerjinin verimli tüketilmesi zorunluluğu oluşmaktadır.

Çizelge 2. 1. CO₂ emisyonunun antropojenik kaynakları (Işık ve Kılınç, 2014)

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	

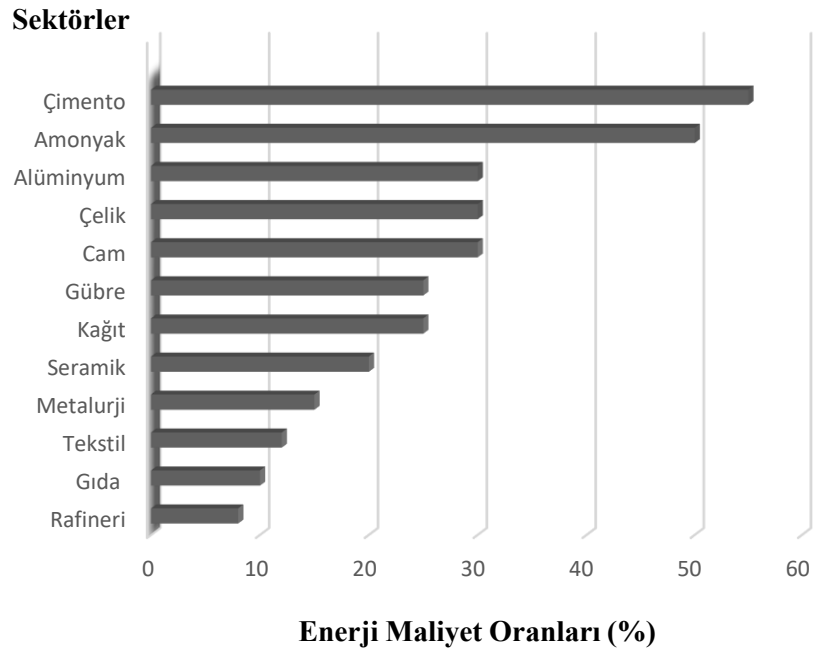
2.2. Enerji Verimliliği ve Faydaları

Dünyada fosil yakıt kaynaklarının sınırlı olması ve üretim maliyetlerinin giderek artması gibi nedenler yeni enerji kaynakları arayışına ve var olan enerjinin verimli kullanılmasını zorunlu hale getirmiştir. Enerjinin aşırı tüketilmesinin hava kirliliği, küresel iklim değişikliği, asit yağmuru ve solunum yolu hastalıkları gibi olumsuz etkilere neden olduğu bilinmektedir. Bu nedenlerle birlikte, enerji maliyetlerinin artması ve özellikle sera gazı emisyonlarının azaltılması yönünde çevre bilincinin artması nedeniyle enerji verimliliği uygulamaları daha önemli hale gelmiştir (Ruşen, 2019).

Enerji verimliliği; tüketilen enerjinin üretimdeki miktar ve kaliteyi düşürmeden, iktisadi kalkınma ve sosyal refahı engellemeden en aza indirilmesi şeklinde ifade edilmektedir (UNDP, 2017). Ülkemizin enerji kullanımında dışa bağımlılığını göz önünde bulundurursak enerji verimliliği uygulamalarının yaygınlaştırılması enerji kullanımında ülkemizi rahatlatacak bir adım olacaktır.

2.3. İşletmelerde Enerji Verimliliği Uygulamalarının Sağladığı Faydalar

Bir işletmede üretim maliyetleri, hammadde, işçilik, işletme ve enerji maliyetlerinin toplamını içerir. Enerji maliyetleri fabrikanın faaliyetine bağlı olarak toplam üretim maliyetlerinin önemli bir kısmını teşkil etmekle beraber bu durum çoğu kez fabrika yöneticileri tarafından göz ardı edilebilmektedir. Enerji, aşağıdaki şekilde (Şekil 2.1) 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 ile %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 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2. 1. Bazı sanayi kollarında toplam üretim maliyetleri içinde enerji maliyetlerinin oranı (TMMOB MMO, 2008)

Enerjinin yoğun olarak kullanıldığı sanayi sektöründe enerji verimliliği çalışmalarına odaklanmak yalnızca ulusal değil küresel ölçekte de büyük önem arz etmektedir. Enerji verimliliği uygulamaları ile hem mali kazanç hem de çevresel fayda sağlanmaktadır.

2.4. Sektörel Enerji Verimliliği İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Sanayide enerjinin yoğun olarak tüketildiği pek çok sektör mevcuttur. Literatürde bu sektörlerle ilgili enerji verimliliği çalışmalarına sıklıkla rastlanmaktadır. Tez kapsamında tekstil, gıda ve otomotiv sektörü ele alınmış olup bu bölümde literatürdeki sektörel enerji verimliliği çalışmalarına yer verilmiştir.

Tekstil Sektörü ve Enerji Verimliliği Çalışmaları:

Sanayide enerjiyi yoğun olarak tüketen sektörlerden biri tekstil sektörüdür. 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 uygulamanın 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 bağılı 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 Tekniğın (MET) uygulanmasıyla teknik ve çevresel performanslar, potansiyel faydalar ve tasarruflar belirlemiş ve gerçekteştirilecek 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 termo ekonomik analizler ile sağlanabilecek tasarruflar belirlenmiştir.

Gıda Sektörü ve Enerji Verimliliğı Çalışmaları:

İmalat sanayi içinde gıda üretim prosesi, ısıtma ve soğutma işlemlerinin sıklıkla kullanılması nedeniyle, enerjinin yoğun olarak kullanıldığı sistemlerdir (Genç, 2017). Diğerk sektörlerde olduğu gibi gıda sanayinde yapılan enerji verimliliğı uygulamaları da enerji tüketiminin azalmasına katkı sağlamaktadır. Literatürde gıda sanayinde enerji verimliliğı uygulamalarının pek çok örneğı mevcuttur. Bu örneklerden bazıları; Pradella ve ark. (2017) gıda endüstrisi ile ilgili verileri ve süreçlerde benimsenen enerji verimlilik göstergelerinin neler olduğunu araştırmak amacıyla sistematik bir literatür taraması yöntemini kullanmışlar ve proses verimliliğini ölçmede kullanılan göstergelerin hala tam olarak anlaşılamamış olması nedeniyle gıda sektöründe geniş bir araştırma alanı olduğu sonucuna varmışlardır. Jagtap ve ark. (2019) çalışmalarında içecek doldurma pompalarında yapılan revizyon ve soğutma tesisini nemlendirme tesisine dönüştürme gibi uygulamalarla işletmeye geri ödeme süreleri 3 yılı aşmayan enerji verimliliğı uygulamalarıyla olumlu dönüşlerin sağlanacağı vurgulanmıştır. Semkov ve ark. (2013) çalışmasında İrlanda'da faaliyet göstermekte olan orta ölçekli bir et üretim tesisi ele alınmış ve tesiste atık ısı kullanılarak yakma havasının ön nemlendirilmesi ile kazan baca gazı sıcaklığında azalma sağlanarak işletmeye olan etkiler belirlenmiştir. Wang (2014) tarafından yayımlanan derleme makalede ise gıda işleme tesisleri için enerji tasarrufu fırsatları ve tasarruf önlemleri belirlenmiş ve yorumlanmıştır. Fischer ve ark. (2007) tarafından, endüstriye birincil enerji girdilerinin yaklaşık %57' sinin, amaçlanan işleme faaliyetlerine ulaşmadan önce kaybolduğu bildirilmiştir. Çeşitli çalışmalardan elde edilen

sonuçlara göre sermaye yatırımı olmadan, yalnızca prosedürel ve davranışsal değişiklikler kullanılarak ortalama %20 ile %30 enerji tasarrufunun sağlanabileceği ortaya konulmuştur. Türkiye’de de araştırmacılar gıda sanayinde enerjiyi verimli kullanabilmek amacıyla çeşitli çalışmalar yapmışlardır. Örneğin, Ruşen (2019) tarafından Karaman’da faaliyet göstermekte olan bir hazır gıda fabrikasının üretim hattında kullanılan elektrik motorları belli başlı parametreler göz önünde bulundurularak sınıflandırılmıştır. İşletmede hali hazırda kullanılmakta olan ve verimlilikleri düşük olan elektrik motorları yerine daha verimli motorların kullanılması durumunda elde edilebilecek tasarruf miktarı, CO₂ miktarındaki azalma ve uygulamanın geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Genç (2017), endüstriyel pekmez üretimi sürecinde her üretim basamağının ve bir bütün olarak sistemin enerji analizini yapmış ve enerji verimliliklerini değerlendirmiştir. Balkan ve ark. (2005) Denizli’de faaliyet göstermekte olan konsantre portakal suyu üretiminin yapıldığı bir fabrikada performans değerlendirmesi yapmışlardır. Söğüt ve ark. (2010) dört etkili evaporatör sistemine sahip salça üretim tesisinin verilerini kullanarak enerji ve ekserji analizini gerçekleştirmişlerdir. Genç ve ark. (2017) kırmızı şarap üretim sürecinin enerji ve ekserji analizini yaparak sistemin birinci ve ikinci yasa verimini hesaplamışlardır.

Otomotiv Sektörü ve Enerji Verimliliği Çalışmaları:

Endüstriyel istihdamın üçte birini içeren tekstil endüstrisinin önde geldiği Türkiye’de yüksek enerji tüketen ve gelişmekte olan demir-çelik sektörü, çimento sektörü, gelişen ihracatta büyük pay sahibi olan otomotiv sektörü ile gelişmekte olan gıda, kimya ve kâğıt sektörleri en önemli sektörler arasındadır. Dünyanın önde gelen otomotiv firmaları, Türk işbirlikçileri ile kurdukları tesislerle Türkiye’yi yabancı otomotiv firmalarının ihracat merkezi haline getirmişlerdir. Otomotiv sanayi, tüm bu nedenlerden dolayı gerek ülke ekonomisi gerekse işletmeler için önemli oranda maliyet azalımı sağladığı için bu sektörde enerji verimliliği çalışmaları büyük önem arz etmektedir (Kılınç, 2019).

Bursa sanayisinde önemli ölçüde üretim payına sahip otomotiv sektöründe yapılacak enerji çalışmaları ile enerjiden büyük oranda tasarruf eldesi sağlanabilecektir. Literatürde otomotiv sanayinde yapılmış pek çok çalışma mevcuttur. Örneğin; Akbaş ve arkadaşlarının gerçekleştirdiği çalışma kapsamında incelenen işletmede kullanılan

pompaların daha verimli pompalar ile değiştirilmesi, düşük verimli fanların değiştirilmesi, işletmede halihazırda kullanılmakta olan kompresörlerin basınçlarının düşürölmesi gibi uygulamalarla elde edilecek kazanımlar belirlenmiştir (Akbaş ve ark., 2018). Kılıç ve arkadaşlarının (2018) yaptığı çalışma ile tesiste bulunan buhar ve su kazanları, basınçlı hava, boyahane HVAC fan, çiller ve soğutma kulesi, boya fırınları, su pompaları sistemlerinin enerji tüketimleri ve bu sistemlerde gerçekleştirilebilecek enerji verimliliği çözümleri incelenmiştir. Uylukçuoğlu'nun 2009'da bir otomobil fabrikasında yaptığı çalışmalar sonucunda ısı ve elektrik enerjisi tüketimi açısından tesiste yapılabilecek tasarruf çalışmaları sonucunda işletmeye olacak kazanımlar ele alınmıştır. Kılınç (2019) tarafından yapılan çalışmada otomotiv montaj fabrikalarındaki üretim süreçleri, birincil enerji kaynaklarının enerji tüketimindeki payları ve uygulanabilecek enerji tasarrufu yöntemleri hakkında bilgi verilerek otomotiv fabrikalarında soğutma suyu pompalarında debimetre kullanımı ve asansörlerde matris sürücü kullanımı ile elde edilebilecek enerji tasarrufu miktarları hesaplanmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. İncelenen İşletmelerin Tanıtımı

3.1.1. Tekstil işletmesi

İncelenen 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’lık tüketim söz konusudur.

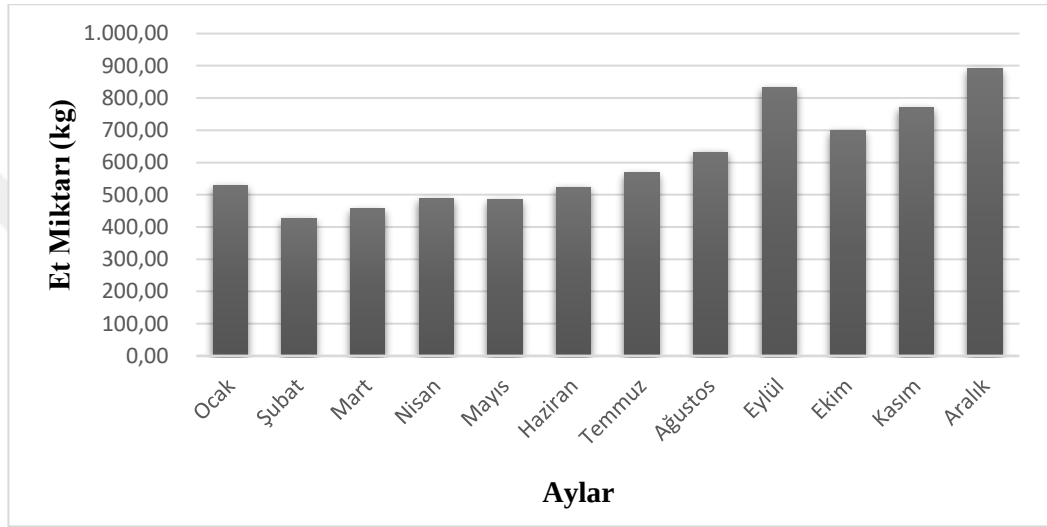
3.1.2. Gıda işletmesi

Tez kapsamında incelenen tesis Bilecik ilinde gıda sektöründe faaliyet göstermekte olan bir et üretim fabrikasıdır. 2001 yılında Eskişehir karayolu üzerinde kurulan tesisin toplam kapladığı alan 13 630 m²’dir. Üretim bölümüne ait 4 adet kapı bulunmaktadır. Bu kapılar personel kapısı, büyükbaş hayvanların girdiği kapı, küçükbaş hayvanların girdiği kapı ve kanatlı hayvanların giriş yaptığı kapılardır. Tesiste 237 kişi çalışmaktadır. Ana üretim ürünleri; karkas et, parçalanmış et ve şarküteridir. Yıllık üretim kapasitesi aşağıdaki (Çizelge 3.1) gibidir.

Çizelge 3. 1. Yıllık üretim kapasiteleri

Yıllık Üretim Kapasitesi	Kapasite/yıl(kg)
Büyükbaş Karkas Et	18 000 000
Küçükbaş Karkas Et	1 838 000
Hazırlanmış Et	3 600 000
Hazırlanmış Et Karışımları	2 400 000
Et Mamülleri	2 500 000
Kanatlı Hayvan Eti Mamül Üretimi	300 000

İşletmenin 2020 yılı boyunca her ay ürettiği et miktarının histogram grafiği (Şekil 3.1) verilmektedir. Buna göre 2020 yılı içerisinde üretimin en fazla olduğu ay 891 837 kg ile aralık ayı iken en az üretim 427 785 kg ile şubat ayında gerçekleşmiştir. 2020 yılında, tüm dünyayı etkisi altına alan COVID-19 koşulları sebebiyle özellikle virüsün Türkiye’de yoğun olarak görüldüğü ilkbahar aylarında üretim miktarlarında düşüş gerçekleşmiştir. Yazın havaların ısınması ve vaka sayılarının azalması ile firmanın üretimi kademeli olarak artırılmıştır.



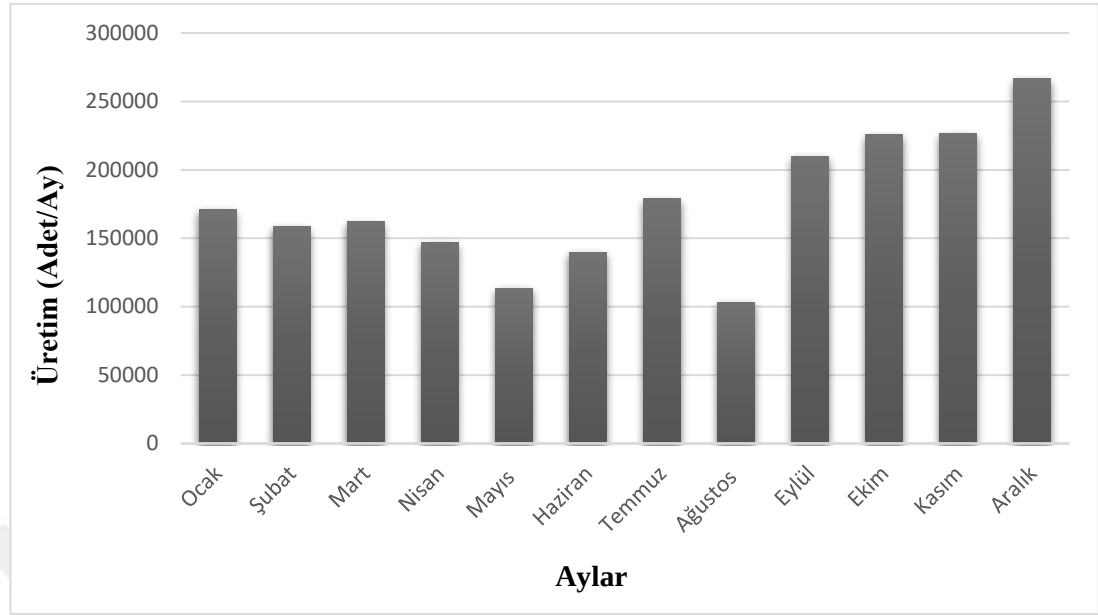
Şekil 3. 1. 2020 yılı için aylara göre üretim miktarları

3.1.3. Otomotiv işletmesi

Tez kapsamında incelenen tesis 2004 yılında Bursa ilinde üretime başlamış ve otomotiv yan sanayinde faaliyet göstererek süspansiyon körüğü üretmektedir. İşletmede ana hammadde olarak kauçuk ve karbon siyahı malzemeleri kullanılmakta ve enerji türü olarak da elektrik ve doğalgaz kullanılmaktadır.

Ham kauçuk tesise gelir ve kimyasal ilave edilerek işlenir, belirli proseslerden geçtikten sonra tekstil malzemesi ile birleştirilerek ürün haline getirilir. Ürün test ve kontrol edildikten sonra hazır hale gelir.

İşletmenin 2020 yılı boyunca her ay ürettiği körük miktarının histogram grafiği aşağıda (Şekil 3.2) verilmektedir. Buna göre 2020 yılı içerisinde üretimin en fazla olduğu ay 266 792 adet ile aralık ayı iken en az üretim 103 114 adet ile ağustos ayında gerçekleşmiştir.



Şekil 3. 2. 2020 yılı için aylara göre üretim miktarları

3.2. Enerji Etütleri ve Kullanılan Cihazlar

Enerji etüdü yapılırken toplanan ve analiz edilen verinin miktarı ile bulunacak enerji tasarruf olanaklarının sayısı arasında doğrudan bir ilişki vardır. Enerji etüdünün maliyeti enerji tasarrufu etüdünün tipini belirleyen ilk belirleyici unsurdur. İkinci unsur ise tesisin tipidir, örneğin bir endüstriyel tesisin enerji tasarrufu etüdü yapılırken proses ihtiyaçları göz önüne alınır. Enerji tasarrufu etüdü genellikle üç etkinlik düzeyinde sınıflandırılır. Bunlar; ön enerji tasarrufu etüdü, tesis taramaları (mini-enerji tasarrufu etüdü) ve detaylı enerji tasarrufu etüdü (maksi-enerji tasarrufu etüdü) olarak sayılabilir. Enerji tasarrufu etüdünün detaylı yöntemleri, her ne kadar sanayiden sanayiye, hatta bir sanayi içinde tesisten tesise değişse bile, işletmenin yapısı ve boyutu ne olursa olsun, belirli temel unsurlar tüm enerji tasarrufu etütleri için geçerli olmaktadır (Hepbaşlı ve ark., 2001).

Enerji etütlerinin amacı, tesisin enerji tüketen tüm birimlerinin incelenerek bu noktalarda ölçümlerin yapılmasıyla enerji kayıplarının yaşandığı bölgelerin tespit edilmesidir. Çizelge 3.2’de incelenen 3 tesiste yapılan enerji ölçümleri sırasında kullanılan cihazlar verilmiş ve ölçüm sırasında kullanıldığı yerler açıklanmıştır. Ayrıca kullanılan cihazların görselleri de Çizelge 3.2’deki gibidir.

Çizelge 3. 2. Enerji izleme/ölçüm cihazları ve kullanım alanları

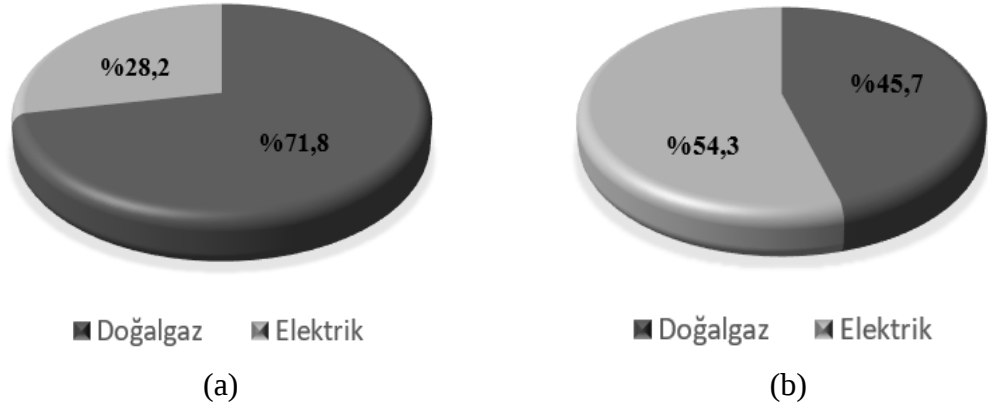
Kullanılan Cihaz Görseli						
Cihaz Tipi	Enerji Analizörü	Çok Yönlü Ölçüm Cihazı	Baca Gazı Analizörü	Ultrasonik Debimetre	Hava Kaçağı Test Cihazı	Termal Kamera
Ölçüm Sırasında Kullanılan Yer	Kompresör Trafo ve Pompa	Ortam Hava Sıcaklık Ölçümü	Akışkan Yataklı Kazan Bacası Debi ve Sıcaklık Ölçümü	Muhtelif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

Tez kapsamında incelenen tekstil ve gıda sektörlerinde çizelgede (Çizelge 3.2) verilen cihazların tamamı kullanılmış olup, otomotiv tesisinde ultrasonik debimetre haricindeki diğer ölçüm cihazları kullanılmıştır. Çalışma kapsamında yapılan enerji etütleri Bursa Ticaret ve Sanayi Odası Enerji Verimliliği Merkezi (BTSO EVM) tarafından gerçekleştirilmiştir.

3.3. Enerji Tüketimlerinin Yıllara Göre Dağılımları

3.3.1. Tekstil işletmesinde enerji tüketimlerinin yıllara göre dağılımı

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 Şekil 3.3 (a) ve Şekil 3.3 (b)'de verilmiştir.

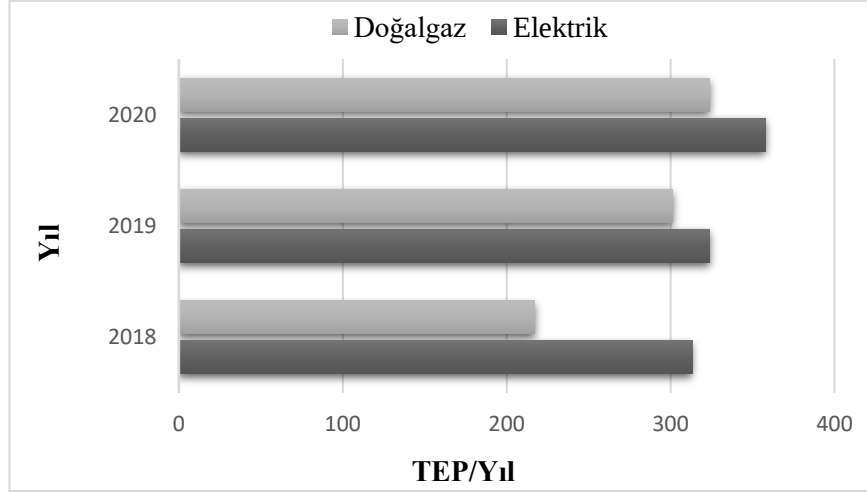


Şekil 3. 3. (a) 2020 yılı enerji tüketim dağılımı, (b) 2020 yılı enerji maliyet dağılımı

3.3.2. Gıda işletmesinde enerji tüketimlerinin yıllara göre dağılımı

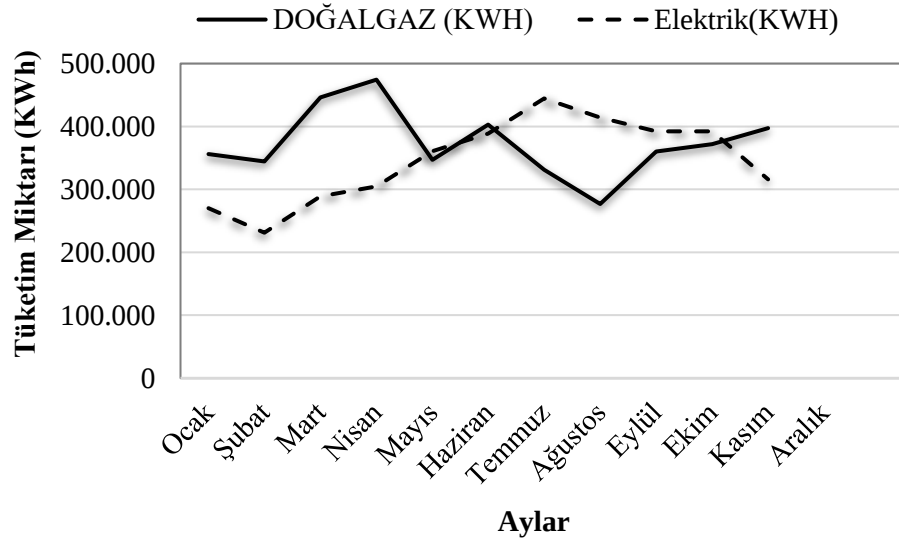
Tesiste kullanılan enerji tüketim miktarını belirleyebilmek ve öngörülen iyileştirmeleri gerçekleştirebilmek amacıyla son 3 yılın (2018-2019-2020) doğalgaz ve elektrik tüketim değerleri incelenmiş (Şekil 3.4) olup enerji maliyetleri hesaplanmıştır.

2018 yılına ait verilere göre işletmede kullanılan elektrik, toplam enerji tüketiminin %59'unu oluşturmakta ve yıllık 313 TEP'e karşılık gelmektedir. Bu miktar 2018 yılı elektrik maliyetinin 1 331 562 TL'sine tekabül etmektedir. Doğalgaz ise 217 TEP/yıl iken %41'e karşılık gelmektedir. Ayrıca 2019 yılı doğalgaz maliyeti 608 680 TL'dir. 2019 yılı verilerine göre işletmede kullanılan elektrik, %52 ile 324 TEP'e karşılık gelirken yıllık maliyet 2 109 575 TL'dir. 301 TEP'e karşılık doğalgaz tüketiminde ise maliyet 1 036 677 TL şeklindedir. 2020 yılına ait verilere göre işletmede kullanılan elektrik, toplam enerji tüketiminin %52,4'ünü oluşturmakta olup 358 TEP/yıl'dır. Doğalgaz ise 324 TEP/yıl ile %47,6'lık dilimini oluşturmaktadır. İşletmede enerji maliyetleri ise elektrik için 2 331 038,08 TL iken doğalgaz için 1.092.757 TL şeklindedir. Bu durumda doğalgaz toplam enerji maliyetinin %31,9'luk kısmını oluştururken elektrik ise %68,1'lik bölümünü oluşturmaktadır.



Şekil 3. 4. İşletmede kullanılan enerji kaynaklarının yıllara göre tüketimi

İşletmenin 2020 yılındaki doğalgaz ve elektrik tüketimlerinin aylara göre dağılımları aşağıdaki şekilde (Şekil 3.5) verilmektedir. Buna göre doğalgazın en az tüketildiği ay 276 770 kWh ile ağustos ayı iken, elektriğin ise en az tüketiminin 231 146 kWh ile şubat ayında olduğu görülmektedir. En fazla tüketim ise doğalgazda 474 360 kWh ile nisan ayında, elektrikte ise 444 546 kWh ile temmuz ayında gerçekleşmiştir.

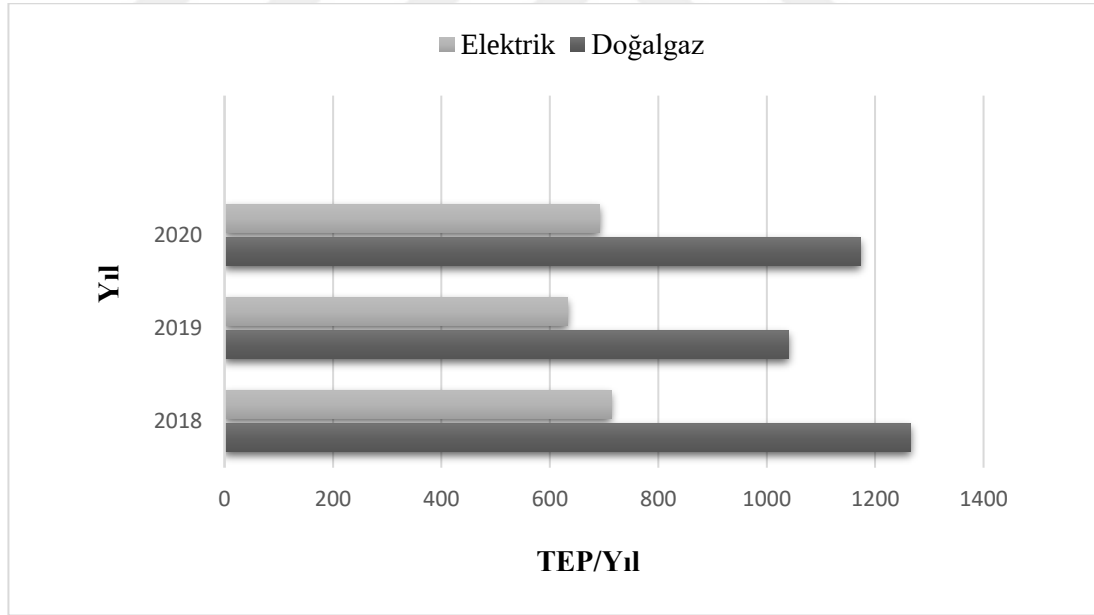


Şekil 3. 5. 2020 yılı aylara göre enerji tüketimi dağılımı

3.3.3. Otomotiv işletmesinde enerji tüketimlerinin yıllara göre dağılımı

Tesiste kullanılan enerji tüketim miktarını belirleyebilmek ve öngörülen iyileştirmeleri gerçekleştirebilmek amacıyla son 3 yılın (2018-2019-2020) doğalgaz ve elektrik tüketim değerleri incelenmiş (Şekil 3.6) olup enerji maliyetleri hesaplanmıştır.

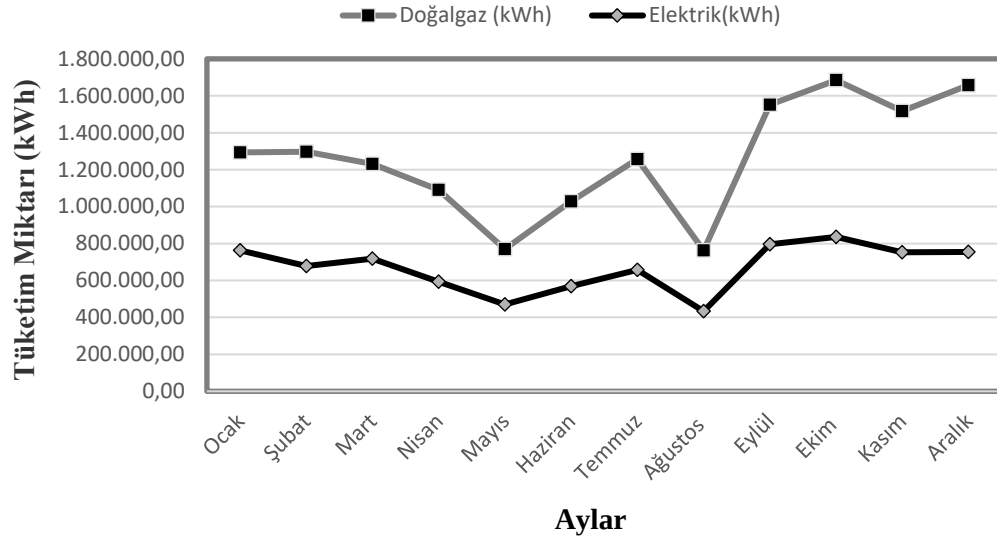
2018 yılına ait verilere göre işletmede kullanılan elektrik, toplam enerji tüketiminin %36'sını oluşturmakta ve yıllık 713 TEP'e karşılık gelmektedir. Bu miktar 2018 yılı elektrik maliyetinin 4 077 127 TL'sine tekabül etmektedir. Doğalgaz ise 1 266 TEP/yıl iken %64'e karşılık gelmektedir. Ayrıca 2018 yılı doğalgaz maliyeti 1 708 556 TL'dir. 2019 yılı verilerine göre işletmede kullanılan elektrik, %38 ile 633 TEP'e karşılık gelirken yıllık maliyet 3 624 315 TL'dir. 1 041 TEP'e karşılık gelen doğalgaz tüketiminde ise maliyet 1 991 108 TL şeklindedir. 2020 yılına ait verilere göre işletmede kullanılan elektrik, toplam enerji tüketiminin %37'sini oluşturmakta olup 692 TEP/yıl'dır. Doğalgaz ise 1 173 TEP/yıl ile %63'lük dilimini oluşturmaktadır. İşletmede enerji maliyetleri ise elektrik için 4 568 489 TL iken doğalgaz için 2 319 403 TL şeklindedir.



Şekil 3. 6. İşletmede kullanılan enerji kaynaklarının yıllara göre tüketimi

İşletmenin 2020 yılındaki doğalgaz ve elektrik tüketimlerinin aylara göre dağılımları Şekil 3.7'de verilmektedir. Buna göre doğalgazın en az tüketildiği ay 762 849 kWh ile ağustos ayı iken, elektriğin ise en az tüketiminin 433 449 kWh ile yine ağustos ayında

olduğu görülmektedir. En fazla tüketim ise doğalgazda 1 684 608 kWh ile ekim ayında, elektrikte ise 835 950 kWh ile yine ekim ayında gerçekleşmiştir.



Şekil 3. 7. 2020 yılı aylara göre enerji tüketimi dağılımı

3.4. İşletmelerde Enerji Verimliliği İle İlgili Çalışma Yapılan Üniteler/Birimler

3.4.1. Tekstil işletmesinde incelenen üniteler/birimler

Tez çalışması kapsamında incelenen tesiste yerinde yapılan enerji etütleriyle enerji verimliliği uygulamalarının gerçekleştirilebileceği alanlar aşağıda başlıklar halinde verilmektedir.

Jet Makineleri:

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 3.8’de gösterilmiştir.

belirlenmiştir. Buhar kazanının patlamaması için gereken şartlar aşağıda verilmiştir. Bu şartlar İSG şartlarını sağlamaktadır. Çizelgede (Çizelge 3.3) enerji verimliliği açısından önem arz eden madde 6. Madde olup Su Seviyesi Otomatik Kontrolünün sağlanmasıyla elde edilecek tasarruf miktarlarına ilişkin hesaplamalar Bölüm 4.1.2’de verilmiştir.

Kazan donanımlarının TRD 604’e göre 24 saat gözetimsiz şartları sağlaması esas alınarak aşağıdaki çizelge (Çizelge 3.3) düzenlenmiştir. İşletmede kullanılan kazanda olmayan özelliklerin karşısı çarpı işareti ile belirlenmiştir.

Çizelge 3. 3. 24 saat gözetimsiz kazan çalışmalarının işletme bazında değerlendirilmesi

No	Fonksiyon	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	☒

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. İşletmedeki hatalı kondens dönüşlerine örnek Şekil 3.9’da verilmektedir. Bu durumun kazan tüketimine etkisi ve yapılabilecek iyileştirmeler Bölüm 4.1.3’te verilmiştir.



Şekil 3. 9. Kondens dönüş hataları

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 sağlayan vanalardır (Anonim, 2021). Bu uygulamayla elde edilecek kazanımlar Bölüm 4.1.4’te verilmiştir.

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). BİTSE EVM (2020) 1 mm kireç ve kısır kalıntısında %3 oranında daha fazla yakıt harcadığını vurgulamaktadır. Mevcut kirecin kazandan temizlenmesinin ve kazana beslenen suyun ters osmozla arıtılmasının çevreye ve işletmeye sağlayacağı faydalar Bölüm 4.1.5’te çizelge (Çizelge 4.6) halinde verilmiştir.

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 verimin alınamamasına 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 4.1.6’da verilmiştir.

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 (BTSO EVM, 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). Bölüm 4.1.7’de bahsedilen revizyonların enerji, maliyet ve CO₂ emisyonlarına olan olumlu etkileri verilmiştir.

3.4.2. Gıda ve otomotiv işletmesinde ortak incelenen üniteler/birimler

Enerji verimliliği analizlerinin yapıldığı gıda ve otomotiv işletmelerinde yer alan ünitelerde yapılması önerilen iyileştirmelerin bir kısmı ortak olup, her tesiste elde edilen verimlilik oranları değişiklik göstermektedir. Önerilen ortak iyileştirmeler bu bölümde tek başlık altında verilmiştir.

Basınçlı Hava Kaçakları:

İşletmelerde zaman içerisinde oluşan kayıp ve kaçaklar enerjinin verimli bir şekilde kullanılmasını önlemekte ve sarfiyatların artmasına neden olmaktadır (Özer ve Güven, 2021). Basınçlı hava basılan hatlarda meydana gelen kaçaklar bunlardan biridir. Basınçlı havanın kullanıldığı tüm proseslerde hava hatlarında gerek ekipmanların eskiliği ve bakımsızlığından, gerek hava hattında yüksek basınçlı havanın akışından kaynaklanan kaçaklar oluşmaktadır. Mevcut sistemde var olan hava kaçakları önemli ölçüde sistem

verimini düşürmektedir. Ayrıca bu kaçaklar basınçlı hava hattına daha fazla hava basılmasına ve dolayısıyla enerji tüketiminin artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle hava kaçaklarının düzenli olarak tespitlerinin yapılması ve kaçak noktalarının onarılması oldukça önemlidir.

Gıda ve otomotiv firmalarında hatlarda hava kaçağı test cihazıyla yapılan ölçümler sonucunda hava kaçaklarının varlığı tespit edilmiş olup, kaçaklardan çıkan sesten, delik çaplarına geçilerek hatların onarılması önerilmektedir. Söz konusu öneriye ilişkin hesaplamalara Bölüm 4.2.1’de yer verilmiştir.

Basınçlı Hava Sistemi Basıncının 1 Bar Düşürülmesi:

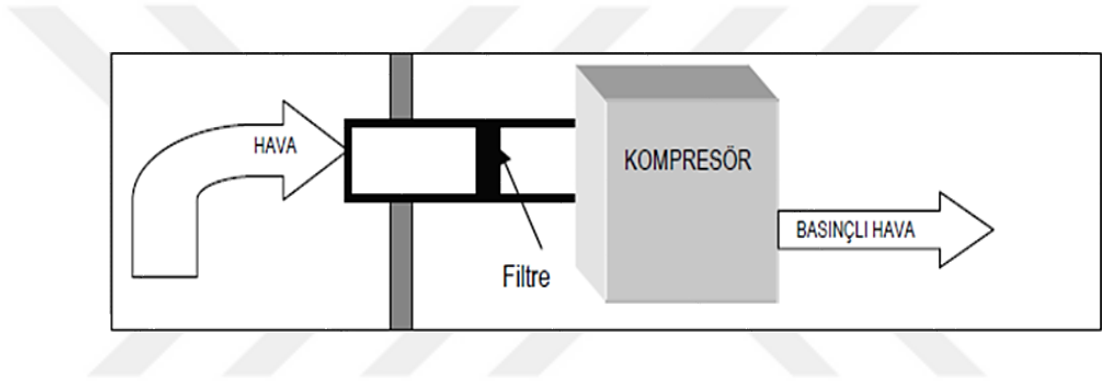
Basınçlı hava sistemi için gerekli olan filtre, tank, kurutucu ve borulama elemanları ve hatlarda oluşan delikler birer basınç kaybı nedenidir. Dolayısıyla basınçlı hava sistemi tasarlanırken yardımcı ekipmanlar, hat dizaynları ve kayıp kaçak dijital izleme sistemleri sistemin verimliliği için oldukça önemlidir.

Ring hattı, boru sistemini hava tüketiminin gerçekleşeceği bölgenin etrafında kapalı çevrim şeklinde bir ring oluşturacak şekilde tasarlanmasıyla oluşan hattır. Ring hattından ayrılan boru hatları, çeşitli tüketim noktalarına gider. Bu da değişken kullanıma rağmen dengeli basınçla hava temin edilmesini sağlar. Çünkü hava tüketiminin gerçekleştiği nokta iki yönden beslenmektedir. Mevcut hattan uzakta büyük miktarda hava tüketilen noktalar varsa, böyle bir sistem için ayrı bir hava hattı kullanılması tavsiye edilir (BTSO, EVM 2020). Gıda tesisinde makine dairesinden itibaren tüketim noktalarına dağılımı ring hattı üzerinden tamamlanarak sistem hatlarının da rezerv olarak kullanılması sağlanacaktır.

Çalışma basıncı yaklaşık 1 bar düşürülerek elektrik tüketiminde yaklaşık olarak %7 oranında tasarruf sağlanması beklenmektedir (BTSO EVM, 2020). Tesisatı yeterli verimliliğe sahip olmayan hatlarda basıncın tüketim noktasına vardığında ilgili noktanın ihtiyacını karşılayabilmesi için kompresörden fazla hava basmak gerekir. Bunu uygulamak yerine tesisat revizyonu ile birlikte kompresörden basılan hava basıncının düşürülmesiyle maliyet ve enerjide azalma sağlanabilecektir. Söz konusu uygulamanın hayata geçirilmesiyle elde edilecek kazanımlar Bölüm 4.2.1’de verilmiştir.

Kompresör Emiş Havaasının Düzenlenmesi:

Kompresör, gaz basıncını artıran bir makinedir (Şekil 3.10). Bu nedenle kompresöre belli bir basınçta giren gaz, daha yüksek basınçla çıkmaktadır. Emiş havası sıcaklığının her 3 °C düşüşünde, enerji tüketimi %1 oranında azalmaktadır (Kaya ve Güngör, 2002). Havanın sıcaklığı arttıkça havayı sıkıştırmak için kompresörün harcayacağı güç de artar. Dolayısıyla basınçlı hava odaları mümkün olduğunca işletmenin en serin yerine konumlandırılmalıdır. Ayrıca kompresörden çıkan sıcak egzoz havası kompresör odasından uzaklaştırılmalıdır. Sıcak egzoz havası mümkün ise bir kanal vasıtasıyla taşınarak ortam ısıtmasında kullanılabilir. Atık egzoz ısısından yeniden faydalanılacak şartlar olmasa bile odadan bir kanal vasıtasıyla çıkartılıp atmosfere verilmelidir.



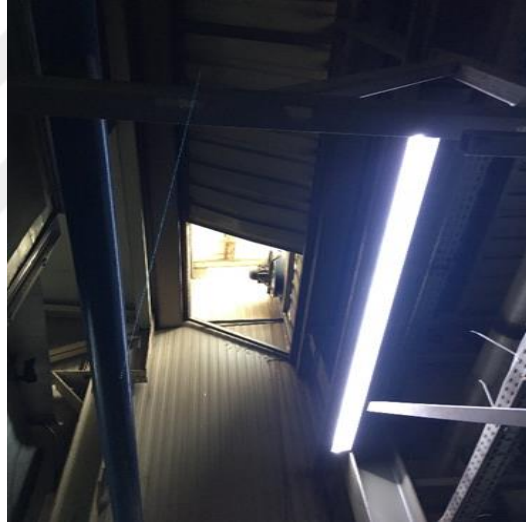
Şekil 3. 10. Kompresör çalışma prensibi

Basınçlı hava sistemleri yoğun enerji tüketen ünitelerdir. Bu nedenle kompresörlerde enerji verimliliği uygulamaları da oldukça önemlidir. Kayıp ve kaçakların önlenmesinin yanı sıra, otomatik çalışma sistemi, kompresörlerin emiş havası sıcaklığının ayarlanması gibi uygulamalarla enerji tasarrufu sağlanabilir (Özer ve Güven, 2021).

İncelenen tesislerde kompresörler, dış ortam havasını değil daire içerisindeki havayı bünyesine alarak sıkıştırmaktadır. Daire içerisindeki havanın sıcak olması nedeniyle serin hava elde edilememekte ve kompresörden yeteri kadar verim alınamamaktadır. Bu nedenle kompresör emiş havasının dış ortamdan (serin, temiz ve kuru) temin edilmesinin verimi arttıracakı öngörülmektedir. Sıcaklığın düşmesi ile yoğunluk artacağından daha az güç ile daha fazla hava sıkıştırma imkanı doğacaktır. Şekillerde (Şekil 11 ve Şekil 12) otomotiv tesisindeki kompresör odasına alınacak temiz havanın giriş yerlerine ait görüntüler yer almaktadır.



Şekil 3. 11. Kompresör odası yeni hava giriş-1



Şekil 3. 12. Kompresör odası yeni hava giriş-2

Bu önerinin uygulamaya konulmasıyla elde edilecek kazanımlara Bölüm 4.2.1’de yer verilmiştir.

Selenoid Vana Uygulaması:

Selenoid vana uygulamasıyla basınçlı buhar hatlarında hattın sadece bir bölümüne hava iletilmesi gereken durumlarda havanın kontrolünü sağlayan ekipmanlardır (Şekil 3.13). Kayıpların önlenebilmesi için makinaların çalışmadığı durumlarda havanın makine ile

olan bağlantısının kesilmesi gerekir. Selenoid vana uygulamasıyla güç tüketimi %2 azalmaktadır (BTSO EVM, 2020).

İşletmede basınçlı hava hattında selenoid vana uygulamasıyla hattın tamamına basınçlı hava basılmasının önüne geçileceği için enerjiden tasarruf edilmesi sağlanacaktır (Bölüm 4.2.1).



Şekil 3. 13. Selenoid vana örnekleri (Anonim 2021)

Sıcak Hatlara Yalıtım Uygulaması:

Ekipmanların yalıtımı ile metal yüzeylerinden gerçekleşen ısı kayıplarının önüne geçilerek her iki tesiste de ısı enerjisinden tasarruf eldesi amaçlanmaktadır. Vanalarda yüzey kısımlarında ısı kaybı meydana gelebilir. Isı ceketleri ile kaplamak suretiyle kayıpların minimize edilmesi mümkündür.

İşletmelerde, vanaların ve armatürlerin yalıtımı için taş yünü izolasyon malzemesi ile kaplanması önerilmektedir. Bu uygulamaya ilişkin hesaplamalara Bölüm 4.2.2 ve Bölüm 4.2.3'te yer verilmiştir.

Gıda İşletmesinde (İlave) İncelenen Ünite/Birim:

Flash Buhar Uygulaması: Isıl işlemlerin yer aldığı işletmelerde, üretim sırasında atık su, soğutma suyu ve flaş buhar oluşumu gözlenir. Otomotiv, gıda gibi sektörler bunlar arasında yer almaktadır. Bu işletmelerde, enerji verimliliği sağlamak için flaş buhar ve soğutma suyu geri kazanım sistemleri kurulabilir (Güven ve Özer, 2021). Yüksek sıcaklıktaki kondensin basıncı aniden düşürüldüğünde, bir miktar kondens buhara dönüşür ve oluşan buhar flash buhar olarak adlandırılır. Flash buhar oluşumu genellikle buhar kapanlarının çıkışlarında meydana geldiği gibi otomatik yüzey blöf sisteminde, blöf yapılan yüksek sıcaklıktaki suyun flash buhar tankına verilmesi ile yüksek

sıcaklıktaki sudan flash buhar olarak elde edilebilmektedir. Proseslerinde buhar kullanan tesislerde geri dönen yüksek basınç ve sıcaklıktaki kondensin enerjisinin bir kısmı basınç kaybı sebebiyle flash buhar olarak ortaya çıkmaktadır. Açığa çıkan bu buharın, kondens tanklarından dışarı atılmasıyla enerji, su ve kimyasal madde kayıpları meydana gelmektedir. Bu kayıp, üretilen buhar miktarının %20'sine kadar ulaşabilmektedir. Flash buharın enerjisini geri kazanabilmek bu buharı, flash buhar kazanına döndürmekle sağlanabilir. Çalışma kapsamında ele alınan gıda tesisinde bu uygulamanın yapılması ile beklenen sonuçlar Bölüm 4.2.2'deki gibidir.

3.5. Enerji Verimliliği ile İlgili Hesaplamalar

3.5.1. Kullanılan başlıca formüller ve değerler

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

Isı Kaybı Hesaplamaları:

Tekstil işletmesindeki 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.

Enerji Tasarrufu Hesaplamaları:

Enerji tasarrufu hesaplamalarında temel olarak;

$$Q = m \times c \times \Delta T \quad (3.1)$$

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

Emisyon Azaltım Hesaplamaları:

Emisyon hesaplamalarında BTSO EVM referans alınarak doğalgaz ve elektrik enerjisinin birim tüketiminden CO₂ eşdeğeri kabulü yapılarak hesaplama yapılmıştır.

Geri Ödeme Süreleri Hesaplamaları:

İşletmelere önerilen iyileştirmelerin geri ödeme sürelerinin hesabında (Demir 2020);

$$GÖS = \frac{Yatırım \text{ Harcaması}}{Kazanç} \quad (3.2)$$

formülasyonu kullanılmıştır.

3.5.2. İstatistiksel değerlendirme yöntemleri

Tez kapsamında incelenen tesislerden tekstil ve gıda firmalarına ait verilerin temininde yaşanan aksaklık nedeniyle yalnızca otomotiv fabrikası için istatistiksel analizler yapılabilmektedir. Bu kapsamda regresyon grafiği oluşturularak, varyans analizi (ANOVA) yapılmış ve işletmenin enerji verimliliği performansını değerlendirebilmek için CUSUM grafiği oluşturularak yorumlanmıştır.

CUSUM grafiği, gerçek ve teorik olarak tahmini enerji tüketimini esas alır ve tahmini enerji tüketiminden sapmaların toplamının kümülatif olarak elde edilir. Prosesin sürekli kontrolünü ve analizini sağlamak için veriler CUSUM grafiğine göre düzenlenmiştir. CUSUM kontrol grafiği, süreçlerin ortalama değerlerindeki değişimlerin ve değişim zamanının belirlenmesini sağlar. Negatif eğimli diyagramdaki değerler ve negatif bölgede kalan alanlar tesisin iyi performans gösterdiği zamanları, pozitif bölgede kalan alanlar ise fabrika performansının düştüğünü gösterir. ANOVA tek başına üç veya daha fazla grubun aritmetik ortalamalarını kümülatif olarak karşılaştırarak bu karşılaştırmalardan en az birinin anlamlı bulunması halinde ANOVA sonucu da anlamlı bulunur (Otrar, 2022).

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde tez kapsamında ele alınan tekstil, gıda ve otomotiv işletmelerinde yapılması önerilen enerji verimliliği uygulamalarının devreye alınmasıyla birlikte işletmelere sağlanacak kazanımlar ve çevresel etkinin azaltılması (CO₂ emisyonunda azalma) incelenmiş olup hesaplamalara ilişkin detaylar yer almaktadır.

4.1. Tekstil İşletmesi İçin Önerilen Enerji Verimliliği Uygulamaları ve Kazanımlar

İncelenen tekstil işletmesinde 7 farklı noktada enerji iyileştirmesi yapılabileceği saptanarak iyileştirmelere ilişkin hesaplamalar aşağıdaki bölümde verilmiştir.

4.1.1. Jet makineleri izolasyonu

Bölüm 3.4.1’de bahsedildiği üzere jet makinelerinin izolasyonunu sağlamakla elde edilecek sonuçlar bu başlık altında verilmiştir. Aşağıda (Çizelge 4.1) 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.

Hesaplamalarda kullanılan formülasyonlar aşağıdaki gibidir:

Mevcut durumda izolesiz konveksiyon ile gerçekleşen 1 saatlik ısı kaybı (Chopey 2004);

$$Q_c = B \times A \times (T_s - T_o)^{1,25} \quad (4.1)$$

Q_C: Konveksiyon ile gerçekleşen ısı kaybı

T_o: İlk sıcaklık (°K)

B: Çarpım faktörü (W/m².°K)

T_s: Son sıcaklık (°K)

A: Yüzey alanı (m²)

Mevcut durumda izolesiz Radyasyon ile gerçekleşen 1 saatlik ısı kaybı (Chopey 2004);

$$Q_R = 5,67 \times E \times A \times ((T_s/100)^4 - (T_o/100)^4) \quad (4.2)$$

Q_R: Radyasyon ile gerçekleşen ısı kaybı

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

Mevcut durumda izolesiz yüzeylerden gerçekleşen 1 saatlik toplam ısı kaybı;

$$Q_T = Q_C + Q_R \quad (4.3)$$

İzolasyonlu Yüzeyden Meydana Gelen Isı Kaybı (Chokey 2004);

$$Q_{izo} = A \times \frac{(T_s - T_0)}{t/k} \quad (4.4)$$

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

$$Q_{En.Tas} = Q_T - Q_{izo} \quad (4.5)$$

Şarj süresince bu sıcaklığa maruz kaldığı sürede gerçekleşen ısı kaybı;

$$Q_{En.Tas1} = \frac{Q_{En.Tas.} \times \text{süre}}{60} \quad (4.6)$$

Çizelge 4. 1. Jet makineleri için yapılan hesaplamalar

Makine No	Proses Sıcaklığı (°C)	Q _C	Q _R	Q _T	Q _{izo}	Q _{En.Tas.}
1	40	6 402	16 117	22 518	3 840	23 024 (86 dk için)
2	50	15 226	33 881	49 107	7 680	83 131 (140 dk için)
3	65	30 647	63 855	94 503	13 440	220 761 (190 dk için)
4	85	53 921	110 633	164 554	21 120	185 030 (90 dk için)
5	100	72 891	151 345	224 236	26 880	28 288 (10 dk için)
6	110	86 132	181 399	267 532	30 720	33 943 (10 dk için)
7	120	99 794	213 935	313 730	34 560	200 072 (50 dk için)

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

$$\begin{aligned}
 Q_{En.Tas} &= Q_{En.Tas1} + Q_{En.Tas2} + Q_{En.Tas3} + Q_{En.Tas4} + Q_{En.Tas5} + Q_{En.Tas6} + Q_{En.Tas7} \\
 &= 23 024 + 83 131 + 220 761 + 185 030 + 28 288 + 33 943 + 200 072 \\
 &= 774 249 \text{ kcal/şarj}
 \end{aligned} \quad (4.7)$$

BTSO EVM tarafından yapılan hesaplamalarla elde edilecek doğalgaz tasarrufu (Buhar sistem verimi %85)= 110 Nm³/şarj

Tam yükte şarj başına sağlanacak tasarruf Denklem (4.7) ile 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

BTSO EVM tarafından yapılan hesaplamalara göre bu uygulamanın doğalgaz faturasında sağlayacağı tasarruf %2,3 şeklindedir. Bu veriden hareketle;

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
 Önlenebilir Emisyon Miktarı : 16 980 Nm³/yıl x 1,8 kg CO₂ /Nm³ x 1 ton /1 000 kg
 30,6 ton/yıl
 Geri Ödeme Süresi : 25 500 TL / 28 866 TL/yıl = 0,88 yıl

Yukarıdaki hesaplamaların işletmeye ve çevreye olan etkileri Çizelge 4.2'deki gibidir.

Çizelge 4. 2. Jet makineleri izolasyonu sonucu işletmeye ve çevreye olan etkiler

Tasarruf Miktarı			Önlenebilir Emisyon Miktarı	Yatırım Maliyeti		Geri Ödeme Süresi
Nm ³ /yıl	TL/yıl	Euro/yıl	Ton CO ₂ /yıl	TL	Euro	Yıl
16 980	28 866	3 800	30,6	25 500	3 357	0,88

Literatürdeki pek çok çalışmada tekstil sanayinde kullanılan boyama makinelerinin enerji kayıplarının bir kısmına yol açtığı ortaya konulmuştur (Sert, 2018). Sert'in (2018) yılında yaptığı çalışmada incelenen işletmedeki 24 adet boyama kazanına uygulanacak yalıtım ile enerjiden 4 190 546,33 kWh/yıl, maliyetten 134 516,54 TL/yıl tasarruf sağlanabileceği sonucuna varılmıştır.

4.1.2. Kazan

Bölüm 3.4.1'deki çizelgede (Çizelge 3.3) 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 ($T_d = 152\text{ }^{\circ}\text{C}$) olduğu için KV 6,3 ve / veya KV 10 basıncını karşılayacak vana kullanılması uygundur.

Oransal vana sistemiyle kazan su seviyesinin kontrol altında tutulmasıyla on/off sistemlerdeki kazan sıcaklığının +1 derece oynamasını engellemek için oransal vana sistemiyle kazan seviyesinin kontrol edilmesi önerilmektedir.

Kazan su hacmi : $26,6\text{ m}^3$

Basınçlar arasındaki farktan;

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

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

Bu hacmi $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ısıtmak için gerekli ısıtma miktarı Denklem (3.1) ile hesaplandığında 23 300 kcal/sa olarak bulunur. İSG ve Bakım kaynaklı kazanlar çalışma kapsamına dahil edilmemiştir.

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	:	$18\ 800\text{ Nm}^3/\text{yıl} \times 1,8\text{ kg CO}_2/\text{Nm}^3 = 33,84\text{ ton /yıl}$
Geri Ödeme Süresi	:	$80\ 881\text{ TL} / 32\ 000\text{ TL/yıl} = 2,5\text{ yıl}$

Su seviyesi otomatik kontrolünün işletmeye ve çevreye olan etkileri Çizelge 4.3'te özetlenmiştir.

Çizelge 4. 3. Su seviyesi otomatik kontrolünün işletmeye ve çevreye olan etkileri

Kazanç Türü	Tasarruf Miktarı			Önlenen Emisyon Miktarı	Yatırım Maliyeti		Geri Ödeme Süresi
	Nm ³ /yıl	TL/yıl	Euro/yıl	Ton CO ₂ /yıl	TL	Euro	Yıl
Su Seviyesi Otomatik Kontrolü	18 828	32 000	4 213	33,84	2 692	354	-
Diğer Kazançlar	İSG ve Bakım Kazancı	-	-	-	78 189	10 293	-
Toplam	18 828 + İSG ve Bakım	32 000	4 213	33,84	80 881	10 647	2,5

4.1.3. Boya makineleri kondens dönüşleri

BTSSO 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°C sıcaklıkta kondens tankına dökülmesi gereken saf su, drenaja döküldüğü için kondens tankına yumuşak su tankından 23°C soğuk su alınmaktadır. Bu durumda tam yük için kondens geri dönüşümü yapılmaması nedeniyle meydana gelen kayıp;

$$2\,959\text{ kg/sa} \times (95-23) = 213\,048\text{ kcal/sa}$$

$$213\,048\text{ kcal/sa} / (8\,250 \times 0,9) = 28,69\text{ Nm}^3/\text{sa}$$

$$28,69\text{ Nm}^3/\text{sa} \times 6\,000\text{ sa/yıl} = 172\,140\text{ Nm}^3/\text{yıl}$$

Kondens dönüşlerinin toplanarak atık ısısından faydalanılması ile tam yükte işletme kapasitesi %60 olduğu için;

$$2\,959\text{ kg/sa} \times (95-23) = 213\,048\text{ kcal/sa}$$

$$213\,048\text{ kcal/sa} / (8\,250 \times 0,9) = 28,69\text{ Nm}^3/\text{sa}$$

$$28,69\text{ Nm}^3/\text{sa} \times 6\,000\text{ sa/yıl} = 172\,140\text{ Nm}^3/\text{yıl}$$

Enerji Tasarrufu	:	$172\,140\text{ Nm}^3/\text{yıl} \times 0,6 = 103\,284\text{ Nm}^3/\text{yıl}$
Maliyet Tasarrufu	:	$103\,284\text{ Nm}^3/\text{yıl} \times 1,7\text{ TL/Nm}^3 = 175\,583\text{ TL/yıl}$
Önlenen Emisyon Miktarı	:	$103\,284\text{ Nm}^3/\text{yıl} \times 1,8\text{ kg CO}_2/\text{Nm}^3$ $186\text{ ton CO}_2/\text{yıl}$
Geri Ödeme Süresi	:	$475\,000\text{ TL} / 175\,583\text{ TL/yıl} = 2,7\text{ yıl}$

Önerilen iyileştirmenin etkileri Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4. 4. Kondens dönüşlerinin toplanmasının işletmeye ve çevreye olan etkileri

Tasarruf Miktarı			Önlenen Emisyon Miktarı	Yatırım Maliyeti		Geri Ödeme Süresi
Nm ³ /yıl (tam yük)	TL/yıl	Euro/yıl	Ton CO ₂ /yıl	TL	Euro	Yıl
103 284	175 583	23 114	186	475 000	62 530	2,7

İşletmelerde prosesten çıkan kondensin atık ısısından faydalanmak için izlenen yol olan kondens dönüşlerinin toplanmasıyla ısıdan elde edilecek kazanım miktarı ile ilgili Öztürk'ün (2012) yaptığı çalışmada enerjiden yıllık 447 000 m³, maliyetten ise 165 390 USD kazanç sağlanabileceği ve uygulamanın amortisman süresinin 1,5 ay olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada ise önerilen işletmenin uygulanmasıyla geri ödeme süresi 3 yılı aşmayan kazanımların sağlanabileceği ortaya konulmuştur.

4.1.4. Kondenslerde seviye kontrol sistemi uygulaması

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

Kondens tankı sıcaklığını kontrol altında tutulması ile on/off sistemlerdeki kondens tankı sıcaklığının +1 derece 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 (su kütlesi)	:	2 800 kg

Kondensin %100'ünün toplanması ön şartıyla ilave edilen suyun, mevcuttaki 10-15 °C sıcaklık düşmesini engelleyecek oransal beslenme yönteminde kazanç Denklem 3.1 kullanılarak hesaplanırsa;

$$28\ 000\ (\text{kcal/sa}) / (8\ 250 \times 0,9) = 3,77\ \text{Nm}^3/\text{sa}$$

Enerji Tasarrufu	:	$3,77\ \text{Nm}^3/\text{sa} \times 10\ \text{sa/gün} \times 300\ \text{gün/yıl} = 11\ 310\ \text{Nm}^3/\text{yıl}$
Maliyet Tasarrufu	:	$11\ 310\ \text{Nm}^3/\text{yıl} \times 1,7 = 19\ 227\ \text{TL/yıl}$
Önlenen Emisyon Miktarı	:	$11\ 310\ \text{Nm}^3/\text{yıl} \times 1,8\ \text{kg CO}_2 / \text{Nm}^3 = 20,4\ \text{ton CO}_2/\text{yıl}$
Geri Ödeme Süresi	:	$2\ 692\ \text{TL} / 19\ 227\ \text{TL/yıl} = 0,14\ \text{yıl}$

Önerilen iyileştirmenin işletmeye ve çevreye olan etkileri Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4. 5. Kondens tankı sıcaklığını kontrol altında tutmanın işletmeye ve çevreye olan etkileri

Tasarruf Miktarı			Önlenen Emisyon Miktarı	Yatırım Maliyeti		Geri Ödeme Süresi
Nm ³ /yıl	TL/yıl	Euro/yıl	Ton CO ₂ /yıl	TL	Euro	Yıl
11 310	19 227	2 531	20,4	2 692	354	0,14

4.1.5. Kazan besi suyu şartlandırma sisteminin kurulması

4 bar basınçtaki buharın özgül entalpi ve sıcaklık değerleri Doymuş Buhar Tablosu'ndan alınan değerlerle hesaplamalara dahil edilmiştir.

4 bar basınçtaki buharın özgül entalpisi	:	2 748,8 kJ/kg
4 bar basınçtaki buharın sıcaklığı	:	151,96 °C
Kondens tankındaki suyun sıcaklığı	:	70 °C
Kazana beslenen su miktarı	:	2 400 kg
Kazan verimi	:	%90

$$Q = 2\ 400\ \text{kg} \times [2\ 748 / 4\ 186 + (152-70) \times 1] = 1\ 772\ 337\ \text{kcal/sa}$$

70 °C suyun sıcaklığını 151,96 °C'ye yükseltmek için harcanması gereken doğalgaz miktarı: $1\ 772\ 337 / (8\ 250 \times 0,9) = 238\ \text{Nm}^3/\text{sa}$

Bölüm 3.4.1’de bahsedildiği gibi 1 mm kireç ve kışır kalıntısında %3 oranında daha fazla yakıt harcanmaktadır. Kazan cidarında oluşan kışırın kazandan temizlenmesiyle ve ters osmoz sisteminin kazan besli suyuna uygulanmasıyla elde edilecek kazanımlar;

$$\begin{aligned} 238 \text{ Nm}^3/\text{sa} \times 0,03 &= 7,14 \text{ Nm}^3/\text{sa} \\ 238 + 7,14 &= 245 \text{ Nm}^3/\text{sa} \text{ (kışır kaplıyken)} \end{aligned}$$

Enerji Tasarrufu	:	$7 \text{ Nm}^3/\text{sa} \times 6\,000 \text{ sa/yıl} = 42\,000 \text{ Nm}^3/\text{yıl}$
Maliyet Tasarrufu	:	$42\,000 \text{ Nm}^3/\text{yıl} \times 1,7 \text{ TL/Nm}^3 = 71\,400 \text{ TL/yıl}$
Önlenen Emisyon Miktarı	:	$42\,000 \text{ Nm}^3/\text{yıl} \times 1,8 \text{ kg CO}_2/\text{Nm}^3 \times 1 \text{ ton}/1\,000 \text{ kg} = 75 \text{ ton CO}_2/\text{yıl}$
Geri Ödeme Süresi	:	$138\,736 \text{ TL} / 71\,400 \text{ TL/yıl} = 1,9 \text{ yıl}$

Önerilen iyileştirmenin etkileri Çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4. 6. Kazan kışırının temizlenmesi ve kazana beslenen suyun ters osmozla arıtılmasının işletmeye ve çevreye olan etkileri

Tasarruf Miktarı			Önlenen Emisyon Miktarı	Yatırım Maliyeti (Ters Osmoz)		Geri Ödeme Süresi
Nm ³ /yıl	TL/yıl	Euro/yıl	Ton CO ₂ /yıl	TL	Euro	Yıl
42 000	71 400	9 400	75	138 736	18 264	1,9

4.1.6. Kompresör emiş havası

Tesisteki kompresöre ait edinilen bilgiler çerçevesinde %50 yükte çalışan kompresörün enerji tüketimi;

$$55 \text{ kW/sa} \times 50/100 = 27 \text{ kW}$$

Kompresör veriminin %82 ve tesisin yılda 300 gün çalıştığı göz önüne alındığında;

$$27 \text{ kW} \times 0,82 \times 6\,000 \text{ sa / yıl} = 197\,561 \text{ kWh/yıl}$$

Bölüm 3.4.1’de bahsedildiği üzere kompresör içerisine alınan emiş havasının 3 °C düşürülmesi durumunda güç tüketiminde %1 oranında bir azalma görülmektedir. Kompresör hava emiş kanallarının dış ortama alınması ile emiş sıcaklığı yaklaşık 10 °C

azaltılabilmektedir (Sapmaz ve Kaya 2017). Bu kapsamda tesiste kompresöre alınan emiş havasının 10 °C düşürülmesiyle elde edilecek tasarruf miktarı %3 olmaktadır.

Enerji Tasarrufu	: 197 561 kW/yıl x 0,03 = 5 927 kWh/yıl
Maliyet Tasarrufu	: 5 927 kWh/yıl x 0,53 TL/kWh = 3 141 TL/yıl
Önlenen Emisyon Miktarı	: 5 927 kWh/yıl x 0,46 kg CO ₂ /kWh x 1 ton / 1 000 kg 2,72 ton CO ₂ /yıl
Geri Ödeme Süresi	: 1 500 TL / 3 141 TL/yıl = 0,5 yıl

Önerilen iyileştirmenin etkileri Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4. 7. Kompresör emiş havası sıcaklığının düşürülmesinin işletmeye ve çevreye olan etkileri

Tasarruf Miktarı			Önlenen Emisyon Miktarı	Yatırım Maliyeti		Geri Ödeme Süresi
kWh/yıl	TL/yıl	Euro/yıl	Ton CO ₂ /yıl	TL	Euro	Yıl
5 927	3 141	413	2,72	1 500	197	0,5

4.1.7. Ring hattı ve tesisatı

Bölüm 3.4.1’de bahsedildiği üzere ring hattına verilen hava basıncının düşürülmesiyle enerjiden tasarruf eldesi amaçlanmaktadır. Bu çalışma kapsamında ele alınan fabrikada düşürülmesi önerilen hava basıncı 1 bardır. Bu uygulamayla elde edilecek tasarruf oranının %7 olması beklenmektedir. Tesiste kullanılan kompresör kapasitesi 27 kWh’tır. Buna göre;

$$27 \text{ kWh} \times 6\,000 \text{ sa / yıl} = 162\,000 \text{ kWh / yıl}$$

Enerji Tasarrufu	: 162 000 x 0,07 = 11 340 kWh/yıl
Maliyet Tasarrufu	: 11 340 kWh/yıl x 0,53 TL/kWh = 6 010 TL/ yıl
Önlenen Emisyon Miktarı	: 6 010 kWh/yıl x 0,46 kg CO ₂ /kWh x 1 ton/1 000 kg 2,76 ton CO ₂ /yıl
Geri Ödeme Süresi	: 20 000 TL / 6 010 TL/yıl = 3,3 yıl

Önerilen iyileştirmenin etkileri Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4. 8. Yapılan iyileştirmenin işletmeye ve çevreye olan etkileri

Tasarruf Miktarı			Önlenen Emisyon Miktarı	Yatırım Maliyeti		Geri Ödeme Süresi
kWh/yıl	TL/yıl	Euro/yıl	Ton CO ₂ /yıl	TL	Euro	Yıl
11 340	6 010	791	2,76	20 000	2 633	3,3

4.2. Gıda ve Otomotiv İşletmeleri İçin Önerilen Enerji Verimliliği Uygulamaları ve Kazanımlar

Bu çalışma kapsamında gıda ve otomotiv tesislerinde yapılan enerji verimliliği analizlerinin bir kısmı ortak olup ortak olan uygulamalar aşağıda verilmiştir.

4.2.1. Ortak uygulamalar

Basınçlı Hava Kaçaklarının Giderilmesi:

Gıda ve otomotiv tesislerinde basınçlı hava hatlarında kaçakların olduğu belirlenmiştir. Özellikle otomotiv tesisinin muhtelif yerlerinde 67 adet hava kaçak noktası tespit edilmiştir. Bunlar basınçlı hava kullanan işletmelerde sıklıkla karşılaşılan hava tabancası, hava separatörü, valf, pnömatik hortum, regülatör vb. noktalarda olan arızalar veya gevşek bağlantılardan kaynaklanmaktadır.

Gıda işletmesi için yapılan hesaplamalar:

Enerji Tasarrufu	:	72 448 kWh/yıl
Maliyet Tasarrufu	:	72 448 kWh/yıl x 0,53 TL/kWh = 36 224 TL/yıl
Önlenen Emisyon Miktarı	:	72 448 kWh/yıl x 0,46 kg CO ₂ /kWh 33 ton CO ₂ /yıl
Geri Ödeme Süresi	:	10 000 TL / 36 224 TL/yıl = 0,3 yıl

Otomotiv işletmesi için yapılan hesaplamalar:

Enerji Tasarrufu	:	331 048 kWh/yıl
Maliyet Tasarrufu	:	331 048 kWh/yıl x 0,647 TL/kWh = 214 188 TL/yıl
Önlenen Emisyon Miktarı	:	331 048 kWh/yıl x 0,46 kg CO ₂ / kWh 152,28 ton CO ₂ /yıl
Geri Ödeme Süresi	:	15 000 TL / 214 188 TL/yıl = 0,07 yıl

Her iki tesis için hava kaçak noktalarının onarılmasıyla sağlanabilecek kazanımlar Çizelge 4.9’da verilmektedir.

Çizelge 4. 9. Basınçlı hava kaçaklarının giderilmesi uygulamasının etkileri ve maliyeti

İşletme	Tasarruf Miktarı			Önlenen Emisyon Miktarı	Yatırım Maliyeti		Geri Ödeme Süresi
	kWh/yıl	TL/yıl	Euro/yıl	Ton CO ₂ /yıl	TL	Euro	Yıl
Gıda	72 448	36 224	4 140	33	10 000	1 143	0,3
Otomotiv	331 048	214 188	25 169	152,28	15 000	1 763	0,07

Gıda ve otomotiv tesislerinde basınçlı hava hatlarında gözlenen hava kaçakları, basınçlı havanın boşa harcanmasına ve dolayısıyla verim düşüklüğüne neden olmaktadır. Literatürde basınçlı hava hatlarındaki kaçakların tespit edilmesi ve bu kaçakların önlenmesiyle enerji tasarrufu sağlanabileceği gözlenmektedir (Turan, 2019). Turan’ın (2019) yaptığı çalışmada ele alınan tesisin hava hattı incelenmiş ve hatta 87 adet hava kaçağı tespit edilmiştir. Kompresör emiş havasının yıllık 4 °C ve işletme basıncının da 100 kPa düşürülmesi sonucunda enerjiden 683 396 kWh, maliyetten 294 294 TL tasarruf sağlanabileceği hesaplanmıştır. İyileştirmenin geri ödeme süresi ise 0,13 yıl şeklindedir. Bu çalışma kapsamında ele alınan gıda tesisindeki basınçlı hava hatlarındaki kaçakların giderilmesiyle enerjiden yıllık 72 448 kWh tasarruf sağlanması beklenirken, otomotiv tesisinde ise yıllık 331 048 kWh tasarruf sağlanması beklenmektedir.

Kompresör Basınçlarının Azaltılması:

Her iki işletmede de basınçlı hava hattına kompresörlerden fazla miktarda basılan hava basıncı enerji sarfiyatına neden olmaktadır. Hatlara basılan hava basıncının düşürülmesiyle gerektiği kadar basınçlı hava hat içerisine verilerek enerjiden tasarruf eldesi amaçlanmaktadır.

Gıda işletmesi için yapılan hesaplamalar:

Enerji Tasarrufu : 28 770 kWh/yıl
Maliyet Tasarrufu : 28 770 kWh/yıl x 0,5 TL/kWh = 14 385 TL/yıl
Önlenen Emisyon Miktarı : 28 770 kWh/yıl x 0,46 kg CO₂/kWh
= 13,2 ton CO₂ /yıl

Otomotiv işletmesi için yapılan hesaplamalar:

1 adet 120 kW ve 2 adet 37 kW kapasiteli kompresörler için tahmini tüketime verilerine dayanarak yapılan hesaplama ilişkin sonuçlar Çizelge 4.10'da yer almaktadır.

Çizelge 4. 10. İşletmedeki kompresör enerji tüketimleri ve tasarruf sonuçları

	120 kW Kompresör	37 kW (1) Kompresör	37 kW (2) Kompresör
Yıllık Enerji Tüketimi	454 526 kW	131 921 kW	198 403 kW
Yıllık Tasarruf Miktarları	31 817 kW	9 235 kW	13 888 kW
	20 586 TL	5 975 TL	8 986 TL

Hesaplamalara ilişkin sonuçların genel haline Çizelge 4.11'te yer verilmiştir.

Enerji Tasarrufu : 54 940 kWh/yıl
Maliyet Tasarrufu : 54 940 kWh/yıl x 0,647 TL/kWh = 35 547 TL/yıl
Önlenen Emisyon Miktarı : 54 940 kWh/yıl x 0,46 kg CO₂ / kWh
= 25,3 ton CO₂ /yıl
Geri Ödeme Süresi : 0 TL / 35 547 TL/yıl = 0 yıl (hemen)

Bahsedilen uygulamayla elde edilecek kazanımlar Çizelge 4.11'de özetlenmiştir.

Çizelge 4. 11. Basınçlı hava sisteminin 1 bar düşürülmesinin etkileri ve maliyeti

İşletme	Tasarruf Miktarı			Önlenen Emisyon Miktarı	Yatırım Maliyeti		Geri Ödeme Süresi
	kWh/yıl	TL/yıl	Euro/yıl	Ton CO ₂ /yıl	TL	Euro	Yıl
Gıda	28 770	14 385	1 644	13,2	-	-	-
Otomotiv	54 940	35 547	4 177	25,3	0	0	Hemen

Basınçlı hava sistem tasarımının uygun şekilde yapılması ve doğru ekipman seçimi ile basınç kayıpları en aza indirgenip kompresörlerin işletme basıncı azaltılabilir. Böylece, basınçlı hava üretilirken tüketilen enerji miktarı azalır, mevcut basınçlı hava kaçak miktarları düşürülür ve büyük oranda enerji tasarrufu sağlanabilir. Kompresör basınçlarının azaltılmasıyla enerji verimliliği sağlandığı literatürde yapılan çalışmalarla ortaya konulmuştur (Sapmaz ve Kaya, 2017). Örneğin; Sapmaz ve Kaya'nın (2017) yaptıkları çalışmada incelenen işletmedeki kompresör çıkış basıncının düşürülmesi ile enerjiden 328 946 kWh/yıl, maliyetten 62 935 TL/yıl tasarruf sağlanabileceği görülürken, önlenen CO₂ miktarı da 152 ton/yıl olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada ele alınan otomotiv tesisinde aynı uygulama ile yıllık 54 940 kWh enerji tasarrufu sağlanabileceği hesaplanırken, önlenen emisyon miktarı 25,3 ton CO₂'dir. Kıyaslama yapılırsa, enerji tasarrufları arasındaki 1/6'lık oranın CO₂ miktarında da aynı olduğu görülmüştür.

Kompresör Emiş Havaasının Düzenlenmesi:

Artan emme havası sıcaklığı kompresör verimini düşürdüğü için emme havası sıcaklığı düşürülerek daha az hava ihtiyacı ile enerji tasarrufu sağlanabilir (Özer ve Güven, 2021). Kompresörler çalışırken bulundukları ortamın şartlarından etkilenen ekipmanlardır. Bu sebeple kompresör odalarının konumu ve iç hava koşulları oluşturulurken kompresörlerin verimli çalışabilmesi için belirlenmiş olan uygun şartlar gözetilmelidir. Gıda ve otomotiv işletmelerindeki mevcut kompresörler bünyesine aldığı havayı iç ortamdan temin etmektedir. Kompresörlerden daha iyi verim alınabilmesi amacıyla emiş havaasının dış ortamdan (serin, temiz ve kuru) temin edilmesi önerilmektedir.

Gıda işletmesi için yapılan hesaplamalar;

Enerji Tasarrufu	: 16 440 kWh/yıl
Maliyet Tasarrufu	: 16 440 kWh/yıl x 0,5 TL/kWh = 8 220 TL/yıl
Önlenen Emisyon Miktarı	: 16 440 kWh/yıl x 0,46 kg CO ₂ /kWh = 7,56 ton CO ₂ /yıl

Otomotiv işletmesi için yapılan hesaplamalar;

1 adet 120 kW ve 2 adet 37 kW kapasiteli kompresörler için tahmini tüketime verilerine dayanarak yapılan hesaplama ilişkin sonuçlar Çizelge 4.12’de yer almaktadır.

Çizelge 4. 12. Kompresör emiş havasının düzenlenmesi tasarruf miktarı

	120 kW Kompresör	37 kW (1) Kompresör	37 kW (2) Kompresör
Yıllık Enerji Tüketimi	454 526 kW	131 921 kW	198 403 kW
Yıllık Tasarruf Miktarları	9 056 kW	2 638 kW	3 968 kW
	5 859 TL	1 707 TL	2 567 TL

Enerji Tasarrufu	: 15 662 kWh/yıl
Maliyet Tasarrufu	: 15 662 kWh/yıl x 0,647 TL/kWh = 10 133 TL/yıl
Önlenen Emisyon Miktarı	: 15 662 kWh/yıl x 0,46 kg CO ₂ / kWh = 7,2 ton CO ₂ /yıl
Geri Ödeme Süresi	: 20 000 TL / 10 133 TL/yıl = 1,97 yıl

Hesaplamalara ilişkin sonuçların genel haline Çizelge 4.13’te yer verilmiştir.

Çizelge 4. 13. Kompresör emiş havasının düzenlenmesinin etkileri ve maliyeti

İşletme	Tasarruf Miktarı			Önlenen Emisyon Miktarı	Yatırım Maliyeti		Geri Ödeme Süresi
	kWh/yıl	TL/yıl	Euro/yıl		TL	Euro	
Gıda	16 440	8 220	939	7,56	-	-	-
Otomotiv	15 662	10 133	1 191	7,2	20 000	2 350	1,97

Selenoid Vana Uygulaması:

Basınçlı hava sistemlerinde üretilen havanın hat üzerinde en kısa yoldan kullanılacağı alana geçmesi istenmektedir. Kullanılacak ekipman ya da bölümlere basınçlı havanın gitmesi, kullanılmayan alanlara gidişlerin selenoid vana yardımı ile engellenmesi, hat üzerinde meydana gelen deliklerden havanın kaçmasını engellemek için oldukça önemlidir. Gıda ve otomotiv işletmelerinde bu iyileştirmenin yapılması önerilmektedir.

Gıda işletmesi için yapılan hesaplamalar;

Enerji Tasarrufu	: 8 220 kWh/yıl
Maliyet Tasarrufu	: 8 220 kWh/yıl x 0,5 TL/kWh = 4 110 TL/yıl
Önlenen Emisyon Miktarı	: 8 220 kWh/yıl x 0,46 kg CO ₂ /kWh = 3,8 ton CO ₂ /yıl
Geri Ödeme Süresi	: 13 000 TL / 4 110 TL/yıl = 3,2 yıl

Otomotiv işletmesi için yapılan hesaplamalar;

İşletmede pnömatik ve sürekli çalışan cihazların sayısı 60 adettir ve bu uygulama için 60 adet selenoid vana alınmalıdır.

İşletmedeki 3 adet kompresörün tükettiği enerji	: 784 850 kWh/yıl
Enerji Tasarrufu	: 784 850 kWh/yıl x 0,02 = 15 697 kWh/yıl
Maliyet Tasarrufu	: 15 697 kWh/yıl x 0,647 TL/kWh = 10 156 TL/yıl
Önlenen Emisyon Miktarı	: 15 697 kWh/yıl x 0,46 kg CO ₂ / kWh = 7,2 ton CO ₂ /yıl
Geri Ödeme Süresi	: 19 130 TL / 10 156 TL/yıl = 1,9 yıl

İşletmede basınçlı havanın kullanıldığı noktalara havanın iletilmesini sırasında bu noktalar haricinde hattın geri kalanına gereksiz yere basınçlı hava verilmesini engelleyen selenoid vana uygulamasıyla elde edilecek kazanımlar Çizelge 4.14'te verilmektedir.

Çizelge 4. 14. Selenoid vana uygulamasının etkileri ve maliyeti

İşletme	Tasarruf Miktarı			Önlenen Emisyon Miktarı	Yatırım Maliyeti		Geri Ödeme Süresi
	kWh/yıl	TL/yıl	Euro/yıl	Ton CO ₂ /yıl	TL	Euro	Yıl
Gıda	8 220	4 110	470	3,8	13 000	1 486	3,2
Otomotiv	15 697	10 156	1 193	7,2	19 130	2 248	1,9

4.2.2. Gıda işletmesi için önerilen enerji verimliliği uygulamaları ve kazanımlar

Bu bölümde çalışma kapsamında ele alınan tesislerden yalnızca gıda fabrikasında yapılması önerilen uygulamalar yer almaktadır.

Flash Buhar Uygulaması:

Flash buharın kullanılması aynı miktarda buharın kazanda eksik üretilmesine sebebiyet vereceği için enerji verimliliği sağlayacaktır. Tesiste elde edilen flaş buhar degazörlerdeki degaze işleminde, besi suyu ön ısıtmasında, degazör ısıtılması gibi proseslerde kullanılabilir. Önerilen bu iyileştirmenin etkileri ve maliyeti Çizelge 4.15'te görülmektedir.

Enerji Tasarrufu	:	26 660 Nm ³ /yıl
Maliyet Tasarrufu	:	26 660 Nm ³ /yıl x 2,8 TL/Nm ³ = 74 647,16 TL/yıl
Önlenen Emisyon Miktarı	:	26 660 Nm ³ /yıl x 1,8 kg CO ₂ / Nm ³ = 48 ton CO ₂ /yıl
Geri Ödeme Süresi	:	50 160 TL / 74 647 TL/yıl = 0,67 yıl

Çizelge 4. 15. Flash buhar uygulamasının etkileri ve maliyeti

Tasarruf Miktarı			Önlenen Emisyon Miktarı	Yatırım Maliyeti		Geri Ödeme Süresi
Nm ³ /yıl	TL/yıl	Euro/yıl	Ton CO ₂ /yıl	TL	Euro	Yıl
26 660	74 647	8 531	48	50 160	5 733	0,67

Buhar enerjisi ile çalışan tesislerde enerji verimliliğini arttırmada en önemli yöntemlerden biri olan flash buharın içerisinde bulunan enerjiden faydalanmak amacıyla flash buharı, kondenzen ayırıp uygun yerlerde geri kazanarak tekrar kullanmak oldukça önemlidir. Literatürde bu hususta yapılmış çalışmaya örnek olarak; Öztürk'ün (2012) yaptığı çalışma kapsamında incelediği tesiste flash buharın ısısından faydalanmak amacıyla yapılan iyileştirmede enerjiden yıllık 327 500 m³, maliyetten 121 175 USD tasarruf sağlanabileceği ortaya konulmuştur. Bu çalışma kapsamında flash buhar uygulamasından elde edilen sonucun Öztürk'ün yaptığı çalışmaya kıyasla çok daha düşük sonuçlar vermesi, işletmelerin faaliyet konularının birbirinden farklı olması ve/veya flash buhar oluşumuna zemin hazırlayan proseslerin değişkenlik göstermesi olarak yorumlanabilir.

Vana&Armatür Yalıtımı:

Isıtma ve soğutma tesisatlarında vanalar, boru hatları ve armatürlerin yalıtılması da oldukça önemlidir. Yalıtımı olmayan vana ve armatürler, ısı ve enerji kaybına neden olup işletme maliyetini arttırdığı gibi yüksek sıcaklık ve buharlı armatürler iş kazalarına da sebebiyet verebilmektedir. Bu nedenle özellikle ısı enerjisinin kullanıldığı hatlarda topyekün yalıtım yapılması oldukça önem taşımaktadır. Vanalar için yapılan ısı kaybı hesabında, bağlı bulunduğu boruya flanş ile bağlantı yapılmış yalıtımsız bir vanadan olan ısı kaybı aynı çapta ve yüzey sıcaklığında 2,5 m uzunluğunda yalıtımsız borudan olan ısı kaybına eş değer olduğu kabulüyle hareket edilir (BTSO EVM, 2021).

İşletmede halihazırda kullanılan ekipmanların yüzeyinden ısı kaybı gerçekleşmektedir. Bu ekipmanların taş yünlü kolaylıkla takılıp çıkarılabilen ceketler ile yalıtılmasıyla ısı kayıpları engellenebilecektir. Bu uygulamanın işletmeye ve çevreye etkileri Çizelge 4.16'da verilmiştir.

Enerji Tasarrufu	: 8 243 Nm ³ /yıl
Maliyet Tasarrufu	: 8 243 Nm ³ /yıl x 2,8 TL/Nm ³ = 23 080 TL/yıl
Önlenen Emisyon Miktarı	: 8 243 Nm ³ /yıl x 1,8 kg CO ₂ / Nm ³ = 15 ton CO ₂ /yıl
Geri Ödeme Süresi	: 16 251 TL / 23 080 TL/yıl = 0,7 yıl

Çizelge 4. 16. Vana ve armatür yalıtımının etkileri ve maliyeti

Tasarruf Miktarı			Önlenen Emisyon Miktarı	Yatırım Maliyeti		Geri Ödeme Süresi
Nm ³ /yıl	TL/yıl	Euro/yıl	Ton CO ₂ /yıl	TL	Euro	Yıl
8 243	23 080	2 638	15	16 251	1 857	0,7

İşletmelerde ısı kayıplarının yaşandığı alanlardan olan vanalarda yapılacak yalıtım uygulamalarıyla kısa vadeli geri ödeme süreleriyle enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Güven'in (2019) yaptığı çalışmada ele alınan tesiste 234 adet vanada yaşanan enerji kaybının 993 753 kWh/yıl olduğu hesaplanmış ve vanalara ceket uygulaması ile yalıtımının sağlanmasıyla yıllık 85,46 TEP enerji tasarrufu sağlanacağı sonucuna varılmıştır. Aynı uygulamanın çalışma kapsamında ele alınan gıda tesisine uygulanması ile 6,8 TEP'lik tasarruf sağlanabileceği hesaplanmış ve uygulamanın gıda tesisi için enerji tasarrufu bazında yüksek sonuçlar vermediği sonucuna varılmıştır.

4.2.3. Otomotiv işletmesi için önerilen enerji verimliliği uygulamaları ve kazanımlar

Sıcak Hatlara İzolasyon Uygulaması:

İşletmede yalıtımsız hatlar sebebiyle saatlik 10 Nm³ doğalgaz boşa harcanmaktadır. Bu sebeple işletmede enerji kaybında önemli bir paya sahip olmaktadır. Yalıtım uygulamasının devreye alınmasıyla aşağıdaki denklemler kullanılarak ((4.8), (4.9), (4.10)) elde dillecek sonuçlara ilişkin bilgiler Çizelge 4.17'de özetlenmektedir.

Yalıtım Öncesi Isı Kaybı:

Konveksiyon İle Isı Transfer Katsayısı (Holman, 2010);

$$U_c = 1,15x \left(\frac{T_s - T_a}{d_1} \right)^{0,25} \quad (4.8)$$

Radyasyon İle Isı Transfer Katsayısı (Holman, 2010);

$$U_r = 5,67x10^{-8}xEx(T_s^2 + T_a^2)x(T_s + T_a) \quad (4.9)$$

Yalıtım Sonrası Isı Kaybı:

Konveksiyon ve Radyasyon İle Olan Isı Kaybı (Holman, 2010);

$$Q = \frac{\pi x (T_s - T_a)}{\frac{\ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right)}{2x\lambda} + \frac{1}{u_{so} x d_2}} \quad (4.10)$$

Yukarıdaki formülasyonların kullanılmasıyla yapılan hesaplamalar sonucunda;

Enerji Tasarrufu	:	72 503 Nm ³ /yıl= 771 430 kWh/yıl
Maliyet Tasarrufu	:	72 503 Nm ³ /yıl x 1,63 TL/ Nm ³ = 118 180 TL/yıl
Önlenen Emisyon Miktarı	:	72 503 Nm ³ /yıl x 1,8 kg CO ₂ / Nm ³ = 130,5 ton CO ₂ /yıl
Geri Ödeme Süresi	:	30 000 TL / 118 180 TL/yıl = 0,26

Çizelge 4. 17. Sıcak hatlara izolasyon uygulanmasının etkileri ve maliyeti

Tasarruf Miktarı			Önlenen Emisyon Miktarı	Yatırım Maliyeti		Geri Ödeme Süresi
kWh/yıl	TL/yıl	Euro/yıl	Ton CO ₂ /yıl	TL	Euro	Yıl
771 430	118 180	13 887	130,5	30 000	3 525	0,26

Turan'ın (2019) yılında yaptığı çalışmada incelenen tesisteki 26 adet sıcak hatta izolasyon eksikliği nedeniyle alüminyum kaplı cam yünü uygulaması gerçekleştirilmesiyle enerjiden yıllık 112 338 kWh, maliyetten 16 165 TL tasarruf elde edilebileceği sonucuna varılmıştır. Bu uygulamanın geri ödeme süresi se 0,29 yıl olarak hesaplanmıştır. Bu çalışma kapsamında ele alınan otomotiv tesisinde ise aynı uygulamanın enerji tasarrufu anlamında daha fazla önem arz ettiği ve yıllık 771 430 kWh enerji tasarrufu sağlanabileceği hesaplanmıştır.

4.3. İstatistiksel Değerlendirmeler

4.3.1. Tekstil işletmesi için istatistiksel hesaplamalar

İncelenen tekstil işletmesine ait son 3 yıla ait aylık enerji tüketim ve üretim verileri temin edilemediği için istatistiksel hesaplamalar yapılamamıştır.

4.3.2. Gıda işletmesi için istatistiksel hesaplamalar

İncelenen gıda işletmesinin son 3 yıla ait aylık enerji tüketim verileri temin edilemediği için istatistiksel hesaplamalar yapılamamıştır.

4.3.3. Otomotiv işletmesi için istatistiksel hesaplamalar

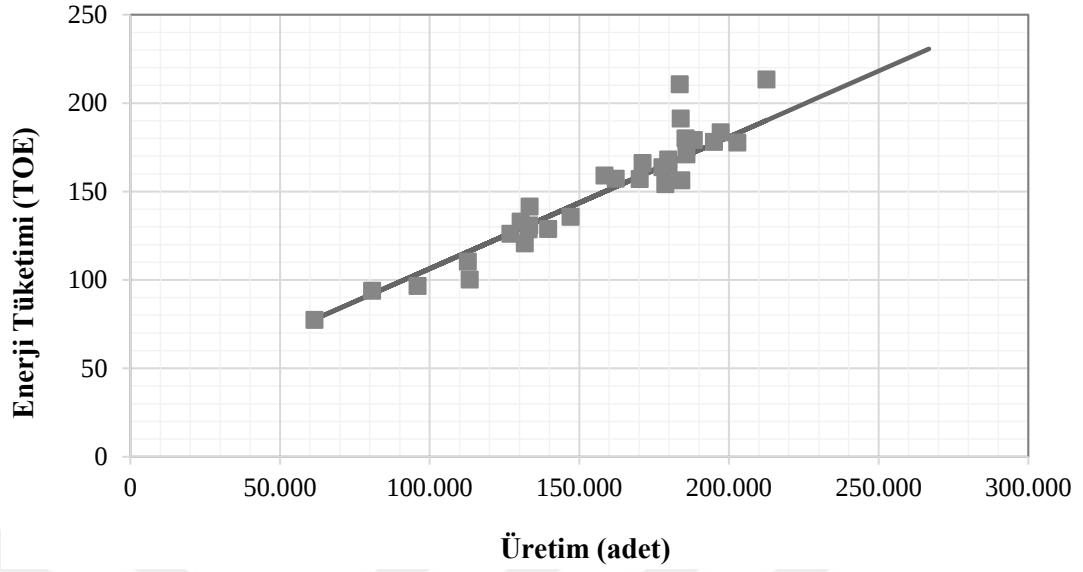
Tez kapsamında ele alınan otomotiv tesisinde üretim ve enerji tüketim verileri göz önüne alınarak veriler arasındaki ilişkiyi inceleyebilmek amacıyla regresyon ve CUSUM grafikleri oluşturulmuş ve varyans analizi yapılmıştır.

Regresyon ve Varyans Analizi (ANOVA):

Çalışma kapsamında otomotiv tesisinden elde edilen veriler ile basit regresyon analizi uygulanmıştır. Regresyon analizi için belirlenen bağımsız değişken körük üretim miktarları iken, bağımlı değişken ise enerji tüketimini ifade etmektedir. İşletmede kullanılan enerji tüketim ve körük üretim verileri arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla işletmenin son 3 yılına (2018-2019-2020) ait (Çizelge 4.18) veriler kullanılmıştır.,

Çizelge 4. 18. Son 3 yıla ait üretim ve enerji tüketim verileri

	2018 YILI		2019 YILI		2020 YILI	
Aylar	Üretim (Adet)	Enerji Tüketimi (TEP)	Üretim (Adet)	Enerji Tüketimi (TEP)	Üretim (Adet)	Enerji Tüketimi (TEP)
OCAK	183 480	210,6	194 988	178	171 068	166,1
ŞUBAT	183 832	191,3	179 620	168	158 415	159,1
MART	212 495	213,4	188 165	179,2	162 081	157,3
NİSAN	177 681	163,8	170 149	157,1	146 999	135,6
MAYIS	179 774	164,5	184 022	156,3	113 401	100,2
HAZİRAN	95 932	96,5	133 298	141,5	139 562	128,8
TEMMUZ	185 758	170,9	112 669	110,4	178 706	154,2
AĞUSTOS	130 333	132,9	126 879	126,1	103 114	96,5
EYLÜL	185 474	180	133 246	130,8	209 815	189
EKİM	202 740	177,7	131 734	120,6	225 797	202,7
KASIM	197 205	183,4	133 079	128,6	226 535	182,5
ARALIK	80 716	93,8	61 454	77,4	266 792	193,6



Şekil 4. 1. Otomotiv işletmesi için regresyon analizi

2020 yılına ait üretim ve enerji tüketim verileri arasındaki ilişkiyi inceleyebilmek amacıyla regresyon grafiği oluşturulmuş (Şekil 4.1) ve regresyon denklemi $y=31.87-0.00074x$ şeklindedir. R^2 değeri 0,86 olarak bulunmuştur. Regresyonun istatistiksel olarak anlamlılığının belirlenmesi amacıyla ANOVA testi uygulanmıştır.

Çizelge 4. 19. Varyans analizi

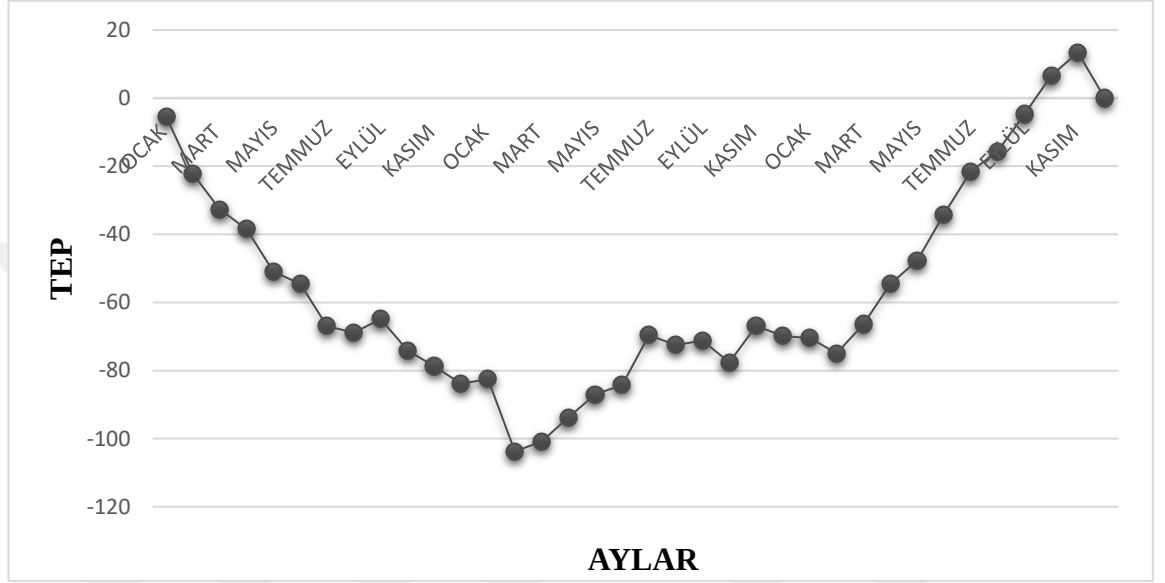
Değişkenlik Kaynağı	Kareler Toplamı (SS)	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Ortalama (MS)	F Değeri	Sonuç
Regresyon	37886,22915	1	37886,22915	216,6002589	F > 4,13 olduğu için hipotez reddedilemez.
Hata	5947,046406	34	174,9131296		
Toplam	43833,27556	35			

Çizelge 4.19’da görüldüğü üzere varyans analizi sonucu $F > 4,13$ olduğu için hipotezin reddedilemeyeceği görülmüştür. Yani üretimin, enerji tüketimine bağlı olarak değiştiği sonucuna varılmıştır.

Kümülatif Toplam Değerler (CUSUM):

Oluşturulan regresyon analizi sonucunda işletmenin enerji performansı 2018-2019-2020 yılı aylık değerleri baz alınarak kümülatif toplam (CUSUM) yöntemi ile değerlendirilerek

Şekil 4.2’deki CUSUM grafiği oluşturulmuştur. Şekil incelendiğinde işletmenin 2018 yılında enerjiyi doğru yönetebildiği, 2019 yılı şubat ayından itibaren ise enerji yönetiminin zayıfladığı ve 2020 yılı mart ayı itibarıyla enerji yönetiminin en zayıf olduğu döneme girdiği söylenebilir. Tüm dünyayı etkisi altına alan COVID-19’un bu gerilemede pay sahibi olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4. 2. CUSUM grafiği

5. SONUÇLAR

5.1. Tekstil İşletmesinde Enerji Verimliliği Çalışmaları Kapsamında Önerilen Uygulamaların Değerlendirilmesi

Tekstil işletmesinde gerçekleştirilen incelemeler neticesinde 7 alanda iyileştirme yapılabileceği ve bu uygulamaların geri ödeme sürelerinin 3 yıldan daha kısa olduğu tespit edilmiş ve 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 (Çizelge 5.1) özetlenmiştir.

Çizelgede (5.1) görüldüğü üzere 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.

5.2. Gıda İşletmesinde Enerji Verimliliği Çalışmaları Kapsamında Önerilen Uygulamaların Değerlendirilmesi

Flash buhar uygulaması ile yıllık olarak enerjiden 26 660 Nm³, maliyetten 74 647 TL tasarruf edileceği hesaplanırken bu uygulamanın geri ödeme süresi 8 ay olarak belirlenmiştir. İyileştirmenin çevre üzerindeki olumlu etkisi ise atmosfere yıllık olarak 52,9 ton daha az CO₂ salınımı gerçekleşecek olmasıdır. Vana ve armatür yalıtımı uygulamasıyla enerjiden yılda 8 243 Nm³ tasarruf elde edilebilirken maddi anlamda yıllık 23 080 TL kazanç sağlanabilecektir. İyileştirmenin geri ödeme süresi 8,4 ay olarak hesaplanmış ve uygulamayla birlikte salınan CO₂ miktarının yıllık 16,4 ton azaltılabileceği tespit edilmiştir. İşletmede kullanılmakta olan basınçlı hava hattındaki kaçakların tespit edilerek onarılmasıyla enerjiden yılda 72 448 Nm³ tasarruf ve yıllık 36 224 TL kazanç sağlanabilecektir. İyileştirmenin geri ödeme süresi 3,6 ay olarak hesaplanmış ve uygulamayla birlikte salınan CO₂ miktarının yıllık 33,3 ton azaltılabileceği tespit edilmiştir. İşletmedeki mevcut kompresöre verilen emiş havasının iç ortamdan değil dış ortamdan temin edilmesinin sağlanmasıyla enerjiden yılda 16 440

kWh tasarruf elde edilebilirken maliyetten 8 220 TL tasarruf edileceği belirlenmiştir. Ayrıca bu iyileştirme ile yıllık atmosfere verilecek CO₂ miktarındaki azalma 7,56 ton olarak hesaplanmıştır. Tesisteki mevcut ring hattına verilen hava basıncının 1 bar düşürülmesiyle enerjiden yılda 28 770 kWh tasarruf eldesi ile maliyetten yıllık 14 385 TL tasarruf edilebilecektir. Bu uygulama ile atmosfere yılda 13,2 ton daha az CO₂ verileceği belirlenmiştir. Fabrikadaki basınçlı hava hattında selenoid vana kullanılması önerilmekte olup, bu sayede hatta sadece basınçlı havanın kullanılacağı bölgeye hava verilmesi, hattın diğer bölümlerine vana ile basınçlı havanın gönderiminin durdurulması amaçlanmaktadır. Bu iyileştirmeye birlikte yılda 8 220 kWh tasarruf elde edilebilirken maliyetten 4 110 TL tasarruf edileceği belirlenmiştir. Ayrıca bu iyileştirme ile yıllık atmosfere verilecek CO₂ miktarındaki azalma 3,8 ton olarak hesaplanmıştır.

5.3. Otomotiv İşletmesinde Enerji Verimliliği Çalışmaları Kapsamında Önerilen Uygulamaların Değerlendirilmesi

Sıcak hatlara izolasyon uygulaması ile yıllık olarak enerjiden 72 503 Nm³, maliyetten 118 180 TL tasarruf edileceği hesaplanırken bu uygulamanın geri ödeme süresi 3 ay olarak belirlenmiştir. İyileştirmenin çevre üzerindeki olumlu etkisi ise atmosfere yıllık olarak 130 ton daha az CO₂ salınımı gerçekleşecek olmasıdır. Basınçlı hava kaçaklarının giderilmesi uygulamasıyla enerjiden yılda 331 048 kWh tasarruf elde edilebilirken maddi anlamda yıllık 214 188 TL kazanç sağlanabilecektir. İyileştirmenin geri ödeme süresi yaklaşık 1 ay olarak hesaplanmış ve uygulamayla birlikte salınan CO₂ miktarının yıllık 152 ton azaltılabileceği tespit edilmiştir. İşletmede kullanılmakta olan kompresörlerin basınçlarının 1 bar azaltılmasıyla enerjiden yılda 54 940 kWh tasarruf ve yıllık 35 550 TL kazanç sağlanabilecektir. İyileştirmenin geri ödeme süresi anında olarak hesaplanmış ve uygulamayla birlikte salınan CO₂ miktarının yıllık 25 ton azaltılabileceği tespit edilmiştir. İşletmedeki mevcut kompresörlerin emiş havasının iç ortamdan değil dış ortamdan temin edilmesinin sağlanmasıyla enerjiden yılda 15 662 kWh tasarruf elde edilebilirken maliyetten 10 133 TL tasarruf edileceği belirlenmiştir. Ayrıca bu iyileştirme ile yıllık atmosfere verilecek CO₂ miktarındaki azalma 7,2 ton olarak hesaplanmıştır. Fabrikada pnömatik çalışan cihazların hava girişine selenoid vana kullanılması önerilmekte olup, bu sayede hatta sadece basınçlı havanın kullanılacağı bölgeye hava verilmesi, hattın diğer bölümlerine vana ile basınçlı havanın gönderiminin durdurulması amaçlanmaktadır. Bu

iyileştirmeye birlikte yılda 15 697 kWh tasarruf elde edilebilirken maliyetten 10 156 TL tasarruf edileceği belirlenmiştir. Ayrıca bu iyileştirme ile yıllık atmosfere verilecek CO₂ miktarındaki azalma 7,2 ton olarak hesaplanmıştır.

2020 yılına ait üretim ve enerji tüketim verileri arasındaki ilişkiyi inceleyebilmek amacıyla regresyon grafiği oluşturulmuş ve R² değeri 0,86 olarak bulunmuştur. Regresyonun istatistiksel olarak anlamlılığının belirlenmesi amacıyla ANOVA testi uygulanmıştır. Varyans analizi sonucunda hipotezin reddedilemeyeceği görülmüştür. Yani üretimin, enerji tüketimine bağlı olarak değiştiği sonucuna varılmıştır.

İşletmede 2019 ile 2020 yılında üretilen körük miktarları ile TEP cinsinden harcanan enerji arasındaki ilişkiye bakılarak, işletmenin enerji performansı kümülatif toplam (CUSUM) yöntemi ile değerlendirilmiş ve işletmenin 2019 yılı mayıs ayından itibaren enerji tüketimini azalttığı, ancak özellikle 2020 yılı eylül ayından itibaren enerji kullanımını doğru yönetemediği anlaşılmıştır. Buradan hareketle işletmede yapılacak enerji verimliliği çalışmalarının gerekliliği daha net anlaşılmıştır.

Çizelge 5.1’de incelenen tekstil, gıda ve otomotiv işletmelerine ait enerji verimliliği uygulamalarının sağladığı maddi tasarruf miktarları ve çevresel faydalar (önlenen emisyon miktarları) toplu bir şekilde verilmiştir. Çizelgede (5.1) görüldüğü üzere ton eşdeğer petrol (TEP) cinsinden en fazla enerji tasarrufunun (doğalgaz) sağlanacağı uygulamanın tekstil işletmesinde kondens dönüşlerinin toplanmasıyla elde edileceği sonucuna varılmıştır. Maddi tasarruf miktarının en yüksek olduğu uygulamanın ise otomotiv sektöründe basınçlı hava kaçaklarının giderilmesi ile olacağı görülmektedir. Tez kapsamında ele alınan 3 tesiste de enerji iyileştirmelerinin sağlanmasıyla yıllık önlenecek emisyon miktarı bakımından en verimli uygulamaların kondens dönüşlerinin toplanması (186 ton CO₂/yıl), basınçlı hava kaçaklarının giderilmesi (152 ton CO₂/yıl) ve sıcak hatlara izolasyon (yalıtım) uygulamaları (130 ton CO₂/yıl) olduğu sonucuna varılmıştır.

Çizelge 5. 1. Sektörel enerji verimliliği uygulamaları ve kazanımlar

İşletme	Önerilen uygulama	Tasarruf Türü	Enerji Tasarruf Miktarı (TEP/yıl)	Maddi Tasarruf Miktarı (TL/yıl)	Önlenen Emisyon Miktarı (ton CO ₂ /yıl)
Tekstil	Jet makineleri izolasyonu	Doğalgaz	14	28 866	30,6
	Kazan su seviyesi otomatik kontrolü	Doğalgaz	15,5	32 000	33,8
	Kondens dönüşlerinin toplanması	Doğalgaz	85,2	175 583	186
	Kondenslerde seviye kontrol sistemi uygulaması	Doğalgaz	9,3	19 227	20,4
	Kazan temizlenmesi ve kazan besı suyu şartlandırma	Doğalgaz	34,6	71 400	75
	Kompresör emiş havasının düzenlenmesi	Elektrik	0,5	3 141	2,7
Gıda	Flash Buhar Uygulaması	Doğalgaz	22	74 647	48
	Vana & Armatür Yalıtımı	Doğalgaz	6,80	23 079	15
	Basınçlı Hava Kaçakları	Elektrik	6,23	36 224	33
	Kompresör Emiş Havaasının Düzenlenmesi	Elektrik	1,41	8 220	7,6
	Basınçlı Hava Sisteminin Basıncının 1 Bar Düşürülmesi	Elektrik	2,47	14 385	13,2
	Solenoid Vana Uygulaması	Elektrik	0,71	4 110	3,8
Otomotiv	Sıcak Hatlara İzolasyon Uygulaması	Doğalgaz	59,8	118 180	130,5
	Basınçlı Hava Kaçaklarının Giderilmesi	Elektrik	28,5	214 188	152,3
	Kompresör Basınçlarının 1 Bar Düşürülmesi	Elektrik	4,7	35 547	25,3
	Kompresör Emiş Havaasının Düzenlenmesi	Elektrik	1,35	10 133	7,2
	Solenoid Vana Uygulaması	Elektrik	1,35	10 156	7,2

Son yıllarda sanayileşmenin hızla artması ve ‘boru sonu yaklaşımı’ olarak da bilinen kirlilik kontrolü anlayışı nedeniyle insanoğlu kirliliği oluştuktan sonra gidermeye çalışmıştır. Ancak küresel çapta yaşanan çevresel felaketlerle birlikte kirliliğin oluştuktan sonra değil, kaynağında kontrol edilmesi/önlenmesi gerektiği anlaşılmıştır. Bu kapsamda çevresel mevzuatlar yürürlüğe girmiş ve bazı küresel girişimler ortaya konulmuştur. İklim değişikliği konusu uluslararası düzeyde ilk kez 1994 yılında yürürlüğe giren Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) kapsamında ele alınmıştır. Bu sözleşmenin sonucu olarak ortaya çıkan ve gelişmiş ülkelere sera gazı salımlarının sınırlandırılması ve azaltılması noktasında yasal olarak bağlayıcı yükümlülükler getiren Kyoto Protokolü ise 1997 yılında imzalanmış olup, 2005 yılında fiilen yürürlüğe girmiştir. Süresi 2020 yılı sonunda dolan bu Protokol yerini 2015 yılının Kasım ayında Paris’te düzenlenen 21. Taraflar Konferansı sonucunda iklim değişikliği ile mücadele edilebilmesi amacıyla kabul edilen Paris Anlaşması’na bırakmıştır (Çakmak ve ark., 2017). Paris İklim Anlaşması çevresel anlamda yeni bir umut olmuş, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeleri ortak paydada buluşturmuştur. Paris İklim Anlaşması CO₂ salınımının azaltılması ve fosil yakıt kullanımının sınırlandırılması gibi konularda devletlere yükümlülükler getirmiştir. Türkiye bu kapsamda 2030 yılına kadar fosil yakıt kullanımını sınırlama, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelme, CO₂ salınımını azaltmaya yönelik önlemleri alacağını ve 2053 için “sıfır emisyon” hedefini belirlediğini bildirmiştir. Bu hedefin sağlanmasında en büyük rolü oynayacak alanlardan biri olan enerjide, enerjinin yoğun olarak tüketildiği her alanda yapılması gereken iyileştirme çalışmaları önemli rol oynayacaktır. Bu ve benzeri çalışmalarla, enerjinin tüketildiği her alanda tasarruf imkanının da mevcut olduğu, enerji ve çevre konusunun bir bütün olarak ele alınması ve enerji verimliliği çalışmalarının ivme kazanarak devam etmesi/desteklenmesi gerekliliği ortaya konulmuştur.

KAYNAKLAR

- Anonim, 2020. Kazan Otomasyonu, (2021). Erişim Adresi: <https://www.viraisi.com/kazan-otomasyonu-1> (Erişim Tarihi: 24.12.2020)
- Anonim, 2021. Oransal Kontrol Vanası, Erişim Adresi: <https://www.bafcon.com.tr/oransal-kontrol-vanası> (Erişim Tarihi: 12.04.2021)
- Akbaş, B., Durmuş, K. A. Y. A., & Eyidoğan, M. (2018). Bir Otomobil Montaj Fabrikasının Enerji Tüketim Analizi ve Enerji Tasarrufu Potansiyelinin Değerlendirilmesi. *Mühendis ve Makina*, 59(691), 85-100.
- 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.
- Balkan, F., Çolak, N., Hepbaşlı, A., 2005. Performance evaluation of a triple-effect evaporator with forward feed using exergy analysis. *Int. J. Energy Res.* 29, 455-470.
- BTSO, EVM (2020). Bursa Ticaret Sanayi Odası Enerji Verimliliği Merkezi.
- Cabak, B. (2018). Tekstil Fabrikasında Enerji Verimliliği Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Edirne.
- Chopey P.N. (2004). Handbook of Chemical Engineering Calculations. (3rd ed.) (ed). Section: 7.4. Heat Loss From An Uninsulated Surface To Air.
- Çakmak, E. G., Doğan, T., & Hilmioğlu, B. (2017). İklim Değişikliği Süresinde Paris Anlaşması'nın Rolü ve Türkiye'nin Konumu. Akdeniz Üniversitesi Hava Kirlenmesi Araştırmaları ve Denetimi Türk Milli Komitesi, VII. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu, 1(3).
- Dağkurs, L. ve İşeri, İ. (2018). Jet Boyama Makinesinin Termal Modeli. *Journal of New Results in Engineering and Natural Sciences*, 8, 16-24.
- 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.
- Demir U. (2020). Ankara Üniversitesi Açık Ders Malzemeleri. Geri Ödeme Süresi. https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/101488/mod_resource/content/GeriÖdemeSuresi.pdf.
- Doğan, H., Yılankırkan, N. (2015). Türkiye'nin enerji verimliliği potansiyeli ve projeksiyonu. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 3(1), 375-384.

Erdoğan, S. (2020) Enerji, çevre ve sera gazları. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İİBF Dergisi*, 10 (1), 277-303. Doi: 10.18074/ckuiibfd.670673.

Fischer, J. R., Blackman, J. E., & Finnell, J. A. (2007). Industry and energy: challenges and opportunities. *Resource: Engineering & Technology for a Sustainable World*, 4, 8-9.

Gelir, B. Ç. (2017). Tekstil Sektöründe Kullanılan Ramöz Makinelerinde Isı Geri Kazanımı İle Enerji Tasarrufu. Master's thesis, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ.

Genc, M., Genc, S., Göksungur, Y., 2017. Exergy analysis of wine production: Red wine production process as a case study. *Applied Thermal Engineering*, 117, 511-521.

Genc, S. (2017). Endüstriyel pekmez üretim sürecinde enerji analizi. *Akademik Gıda*, 15(1), 51-59.

Güven, B. (2019). Tekstil terbiye sektöründe enerji verimliliği uygulama örneği. Master's thesis. Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).

Hepbaşlı, A., Günerhan, H., & Ülgen, K. (2001). Enerji Yönetim Sisteminin Altın Anahtarları: Enerji Denkliği ve Enerji Tasarrufu Etüdü. *V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi*, 192.

Holman, J. P. (2010). Heat transfer. McGraw Hill Higher Education.

Işık, N., & Kılınç, E. C. (2014). Ulaştırma Sektöründe CO2 Emisyonu ve Enerji Ar-Ge Harcamaları İlişkisi. *Sosyoekonomi*, 22(2).

Jagtap, S., Rahimifard, S., & Duong, L. N. (2019). Real-time data collection to improve energy efficiency: A case study of food manufacturer. *Journal of food processing and preservation*, 14338.

Karyeyen, S., Aksoy, M. H., Özgören, M. Ve Koçak, S. (2012). Konya Sanayisinde Enerji Verimliliği. *Bölgesel Araştırma Raporları Serisi*, 5.

Kaya, D., Güngör C, 2002, Sanayide Enerji Tasarruf Potansiyeli-I, *Mühendis Makina*, 514, 20-30.

Kılıç, F. Ç., Eyidoğan, M., & Sapmaz, S. (2018). Bir otomobil montaj işletmesinde enerji verimliliği artırıcı çözümlerin irdelenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 6(1), 149-162.

Kılınç, G. (2019). Otomotiv fabrikalarında enerji verimliliği uygulamaları. Master's thesis, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Koç, E. ve Şenel, M. C. (2013). Dünyada ve Türkiye’de Enerji Durumu-Genel Değerlendirme, *Mühendis ve Makina*, 54, 32-44.

Özer, B., & Güven, B. (2021). Energy efficiency analyses in a Turkish fabric dyeing factory. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 43(7), 852-874.

Öztürk, E. (2012). Tekstil Sektöründe Enerji Tasarrufu Olanaklarının Araştırılması ve Uygulanması. Master's Thesis, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

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.

Pradella, A. M., da Costa, S. G., de Lima, E. P., da Silva, W. V., & Velho-Curitiba-Paraná-Brazil, P. P. (2017). Energy efficiency indicators in the food industry: A systematic review. In *24th International Conference on Production Research (ICPR 2017)*, Poznan, Poland (pp. 685-690). Lancaster, Pennsylvania, (USA): DEStech transactions on engineering and technology research.

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.

Rüşen, S. E. (2019). Elektrik Motorlarının Verimlilik ve CO₂ Emisyon Analizi; Bir Gıda Fabrikası Örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 564-569.

Sapmaz, S., & Kaya, D. (2017). Investigation of Energy Efficiency and Emission Reduction Opportunities in Compressed Air Systems. *Engineer and Machinery*, 58, 23-36.

Semkov, K., Mooney, E., Connolly, M., & Adley, C. (2013). Energy efficiency improvement through technology optimisation and low grade heat recovery–industrial application. *Chemical Engineering Transactions*, 35, 1219-1224.

Sert, M. Ö. (2018). Tekstil sanayinde enerji verimliliği: Entegre bir tekstil fabrikası örneği Master's thesis. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

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.

Söğüt, Z., İlten, N., Oktay, Z., (2010). Energetic and exergetic performance evaluation of the quadrupleeffect 56vaporatör unit in tomato paste production. *Energy*, 35, 3821-3826.

TMMOB MMO, Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği Makina Mühendisleri Odası (2008). *Dünya 'da ve Türkiye 'de Enerji Verimliliği Oda Raporu*, 39.

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.

Turan, M. (2019). Bir tekstil fabrikasında enerji maliyetlerinin azaltılmasına ilişkin bir uygulama. Master's thesis. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

UNDP, 2017. GAP Bölgesi'nde Tarım ve Tarıma Dayalı Sanayide Entegre Kaynak Verimliliği, Ocak.

Otrar, M. (2022, Ekim 12) *Tek Yönlü Varyans Analizi (ANOVA)*. <https://mustafaotrar.net/istatistik/tek-yonlu-varyans-analizi-anova/>

Uylukçuoğlu, Ö. E. (2009). Otomotiv Sanayinde Enerji Verimliliği ve Enerji Tasarruf Olanaklarının Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı, İstanbul.

Uzun, A. Ve Değirmen, M. (2018). Endüstriyel İşletmelerde Enerji Verimliliği ve Enerji Yönetimi, *Uluslararası Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 4(2). 83-97.

Wang, L. (2014). Energy efficiency technologies for sustainable food processing. *Energy efficiency*, 7(5), 791-810.

Yamankaradeniz, N., Coşkun, S., ve Can, M. (2007). Tekstil Sanayiinde Atık Isıdan Yararlanılarak Enerji Tasarrufunda Klasik Sistem İle Isı Pompasının Karşılaştırılması. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 12(1).