



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Bir İşletmeye Ait Yardımcı Tesislerin Enerji Tüketimi ve Verimliliğinin İncelenmesi

Özge CURA^{a,*}, Elif ÖĞÜT^b

^a Makine Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, TÜRKİYE

^b Makine Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: ozgecura649@gmail.com

DOI: 10.29130/dubited.878810

Öz

Bu çalışmada, bir çimento fabrikasında mevcut olan yardımcı işletmeler kısmının enerji tüketimleri incelenmiştir. Yardımcı işletmeler kısmı; kazan dairesi, kompresör dairesi, soğutma havuzu, idari bina, merkezi kontrol binası ve atölyeleri kapsamaktadır. Basınçlı hava tesisatının verimliliği hesaplanmış ve yorumlanmıştır, hesaplamalar sonucunda basınçlı hava tankı kapasitesi için 7125 Litre hacmin yeterli olduğu sonucuna varılmıştır. Diğer bölümlerin yıllık enerji tüketimlerinden ve yapılabilecek iyileştirme çalışmalarından bahsedilmiştir. Yıllık enerji tüketimleri bölümlere göre grafiklerle açıklanmış ve yorumlanmıştır. Kazan dairesi için yıllık enerji tüketimi 665686,6 kWh, kompresör dairesi için yıllık enerji tüketimi 1213552 kWh, soğutma havuzu için yıllık enerji tüketimi 77062 kWh, merkezi kontrol binası (CCR) için yıllık enerji tüketimi 177052 kWh, atölyeler için yıllık enerji tüketimi 41267 kWh olarak bulunmuştur. Ayrıca yapılan diğer çalışmalar detaylı bir şekilde incelenmiş ve fırın manto yüzeyindeki kayıplardan ve iyileştirme çalışmalarından bahsedilmiştir. Atık ısı geri kazanım sistemlerinin enerji verimliliği açısından faydalarına değinilmiştir. Sonuç olarak, gerek basınçlı hava tesisatında meydana gelen gerekse sistemsel olarak meydana gelen kayıpları en aza indirmek için , çevre boyutu da düşünülerek yapılması gereken ek tedbirlerden bahsedilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çimento, Enerji verimliliği, Yardımcı işletmeler

Investigation of Energy Consumption and Efficiency an Enterprise's Auxiliary Facilities

ABSTRACT

In this study, the energy consumption of the auxiliary enterprises part of a cement factory was investigated. Auxiliary businesses; It includes boiler room, compressor room, cooling pool, administrative building, central control building and workshops. The efficiency of the compressed air installation has been calculated and interpreted, as a result of the calculations, it has been concluded that the volume of 7125 liters is sufficient for the compressed air tank capacity. Annual energy consumption of other departments and possible improvement works are mentioned. Annual energy consumptions are explained and interpreted with graphics according to the departments. The annual energy consumption for the boiler room is 665686.6 kWh, the annual energy consumption for the compressor room is 1213552 kWh, the annual energy consumption for the cooling pool is 77062 kWh, the annual energy consumption for the central control building (CCR) is 177052 kWh, the annual energy consumption for the workshops is 41267 kWh found. In addition, other studies were examined in detail and the losses and improvement works on the furnace mantle surface were mentioned. The benefits of waste heat recovery systems in terms of energy efficiency are mentioned. As a result, additional measures that need to be taken considering the environmental dimension are mentioned in order to minimize the losses that occur both in the compressed air installation and in the system.

Keywords: Cement, Energy efficiency, Utility businesses

I. GİRİŞ

Enerji verimliliği veya enerji tasarrufu, mevcut enerjii en aza indirerek kaliteyi düşürmeden ekonomik kalkınmayı ve refahı sağlamanın başka bir boyutudur. Enerji verimliliği genel hatları ile düşünüldüğü taktirde, gaz, buhar, atık ısı, elektrik enerjisi, otomasyon sistemleri gibi birbirleriyle bağlantılı olan sistemlerde kaliteyi düşürmeden tasarruf sağlamak olarak da ifade edilebilir.

Enerji verimliliği çoğu gelişmiş ülkeler için bir politika olarak benimsenmektedir. Bu durumun başlıca sebebi olarak ise; enerjinin yoktan var edilememesi ve her enerji kaynağının bir gün ömrünü tamamlayacağı düşünülebilir, şartlar böyle olduğu için de gelişmiş ülkeler enerjii verimli kullanma konusunda daha duyarlı davranışlar sergilemektedir. Aynı zamanda yapılan enerji verimliliği çalışmaları sayesinde CO2 emisyon oranlarının da azaltılması çevre boyutu açısından önemli iyileştirme çalışmaları arasındadır [1].

Teknoloji tüm dünyada büyük ölçüde büyümüş ve bu büyüme ile büyük ölçüde otomasyon sistemlerini kullanılmaya başlanılmış, bu sebeple de elektrik tüketimi dolayısıyla enerji tüketimi de artmıştır. Endüstriyel alanlarda teknoloji ile üretilen makineler, üretim tesisleri için geliştirilen sistemler ve yaşam alanlarına konfor getirmek için üretilen elektronik cihazlar, doğal gaz sistemi, elektrik ve su tesisat sistemleri daha fazla enerji tüketimine neden olmaktadır. Enerji üretiminden daha fazla tüketilmesi söz konusu olduğu durumlarda enerjinin verimli kullanılmasını ve aynı zamanda maddi kayıpların minimuma indirilmesi daha sürdürülebilir bir çevre ortamına olanak tanıyacaktır, aynı zamanda ekonomik boyut düşünüldüğü taktirde mevcutta var olan enerjii doğru zamanda ve doğru şekilde kullanmak maddi kayıpları en aza indirecektir.

Literatürde enerji verimliliği, enerjinin kullanım alanları ve sanayi kuruluşlarındaki mevcut sistemlerin verimlilik çalışmalarından bahsedilmiştir.

Kojenerasyon sistemleri, sanayide kullanılan en önemli ve yüksek verimlilik sağlayan sistemlerdir. Bu sistemler ısı ve elektriğin birlikte üretildiği sistemler olduğu için bileşik üretim anlamına gelen kojenerasyon adını almıştır. Aynı yakıt kaynağından daha fazla enerji üretebildiği için tek amaçlı üretim sistemlerinden daha avantajlıdır. Bir diğer avantajı ise çevreye daha duyarlı olmasıdır. Çünkü sistemde atık ısı kullanılmakta ve böylece doğaya daha az CO₂ salınımı yapılmaktadır. Günümüzde termik santrallerde elektrik ortalama %36 verimle, ısı ise ortalama %80 verimle üretilmektedir. Elektrik ve ısının ayrı ayrı üretilmesi sonucu ortalama %58'lik bir verim ortaya çıkmaktadır. Elektrik ve ısının birlikte üretildiği kojenerasyon uygulamalarında ise verim %85 dolaylarındadır ki bu değer çok büyük bir enerji verimliliği anlamına gelmektedir [1].

Birçok sanayi kuruluşunda basınçlı hava kullanılmaktadır ve basınçlı havayı sağlayan kompresörlerin ihtiyaca göre uygun seçilmeleri ile çalışma şartları verimlilik açısından oldukça önemlidir. Kompresör seçiminde işletmede kullanılacak gerekli hava miktarı ile basınç göz önünde bulundurulmalıdır. Kompresöre verilen enerjinin sürtünmeler haricinde kalan kısmının ısı enerjisi olarak havaya ve dış ortama verilmesi söz konusudur. Dışarıya atılan enerji termik olarak %94 civarındadır. Bu enerjinin tamamen geri kazanılması mümkün olmamakla beraber bir kısmı geri kazanılarak yapıların sıcak hava ile ısıtılması veya sıcak su elde edilmesi sağlanabilir [2].

Fırımlar, özellikle yüksek sıcaklıklarda çalışan tavlama fırınları, endüstriyel işletmelerde gerek yakıt tüketimi açısından gerekse çevreye verdiği atık gazların oluşturduğu kirlilik açısından mümkün olduğunca verimli çalıştırılması gereken sistemlerdir. Tav fırınlarının genelde ısı verimleri %35-45 arasındadır. Kayıplar en çok baca gazından olmaktadır ve bunun nedeni tav fırınlarının işlevleri gereği çok yüksek sıcaklıklarda ısıtma yapması, bunun için brülörlerde gerçekleşen yanma sonucunda sistemden dışarıya atılan gazın yüksek sıcaklıkta olmasıdır. 650°C civarında olan baca gazı enerjisi baca gazı debisi çok düşük olmamak kaydıyla muhtelif ekonomizer ve eşanjör uygulamaları ile ortam ısıtmasında, sistem girdilerinin ön ısıtmasında, kızgın su ve buharı ihtiyacının karşılanmasında ya da sıcak su üretiminde

kullanılabilir. Yüzey kayıplarının azaltılması için fırın iç yüzeyinin yalıtımı artırılarak bu sayede fırın yüzeyinden gerçekleşen radyasyon ve konveksiyon kayıplarının önüne geçilebilir [3]. Enerji yönetimi veya enerjinin işletmelerde daha verimli ve ekonomik kullanımı ile ilgili çalışmalar çeşitli aşamalardan oluşmaktadır. Bunlar;

- Ön enerji etüt çalışmalarının yapılması
- Yönetim onayı ve diğer personellerin desteği
- Enerji tasarrufu sağlamaya yönelik tasarımlar ve düzenlemeler
- Son olarak ise eski sistem ile yeni sistemin karşılaştırılmasıdır.

Bu çalışmada, bir çimento fabrikasının yardımcı işletmeler kısmının yıllık enerji tüketimleri incelenmiştir. Enerji kullanımlarını daha verimli hale getirmek için çeşitli önerilerde bulunulmuştur. Ayrıca döner fırınının termodinamik analizi yapılarak verimlilik değeri bulunmuştur. Bu çalışmanın, çimento fabrikasından alınan veriler sayesinde ve yapılan alt yapı araştırmalarından sonra (yatırım ,bütçe-maliyet, geri ödeme süresi vb.) proje olarak değerlendirilmesiyle literatüre katkı sunması beklenmektedir.

II. ÇİMENTO SEKTÖRÜNDE ENERJİ

TS EN 197-1 standardında çimentonun tanımı, “Çimento su ile karıştırıldığında hidrasyon reaksiyonları ve prosesler nedeniyle çeşitli tepkimelere giren ve bunun sonucunda sertleşen bir hamur (pasta) oluşturan ve sertleşme sonrası suyun altında bile dayanımını ve kararlılığını koruyan, inorganik ve ince öğütülmüş, hidrolik bağlayıcıdır” olarak yer almaktadır [4].

Çimento Üretim Aşamaları

- Hammadde çıkarma
- Öğütme
- Klinker üretimi
- Çimento öğütme
- Paketleme

Çimento sektörü ülkemizin en eski ve enerji tüketiminin yoğun olduğu sanayi türlerinden biri olarak karşımıza çıkmaktadır [5].

Çimento sektöründe ısı ve elektrik enerjisi yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Çimentonun üretim maliyetinin yaklaşık %60-70'i enerjidir [6].

Çimento üretim süreçlerinin verimi hem prosesin çok büyük olmasından dolayı hem de sistemin belli bölgelerinde yüksek miktarda ısı kaybı olmasından dolayı düşüktür. Çimento üretim aşamalarından biri olan klinker üretim aşamasında yoğun olarak kullanılan ısı enerjisi nedeniyle ortaya çıkan atık gazların geri kazanımıyla enerji üretilmesi kavramı, 2008 yılından itibaren sektörel açıdan değerlendirilmeye başlanmıştır ve ilk tesislerin işletmeye alınması 2011 yılının ikinci yarısına tekabül etmektedir [7].

A. ATIK ISI GERİ KAZANIMI

AIGK (Atık Isı Geri Kazanım) sistemi ile, atmosfere atılan sıcak gazların belirli işlemlerden geçmesi sonucunda elektrik enerjisi üretimi mümkündür. Basit bir yaklaşımla, çimento sektöründe ortalama 3000 ton/gün (4 kademeli ön ısıtıcı ve pre-kalsinatörlü) klinker üretimine sahip bir klinker üretim hattından, kullanılan teknolojiye ve hammaddenin rutubetine bağlı olarak 3,0 ila 6,0 MW arasında bir elektrik enerjisi elde edilebilmek mümkün olabilmektedir. Fabrikaların enerji verimliliği şartlarına bağlı olarak, bu sistem ile elektrik üretimi 30 kw/ton.klinker ile 45 kw/ton klinker arasındadır [8]. Böylece, hem doğaya atılan atık ısı tekrardan kullanılarak elektrik üretilip ekonomik fayda temin edilmekte hem de

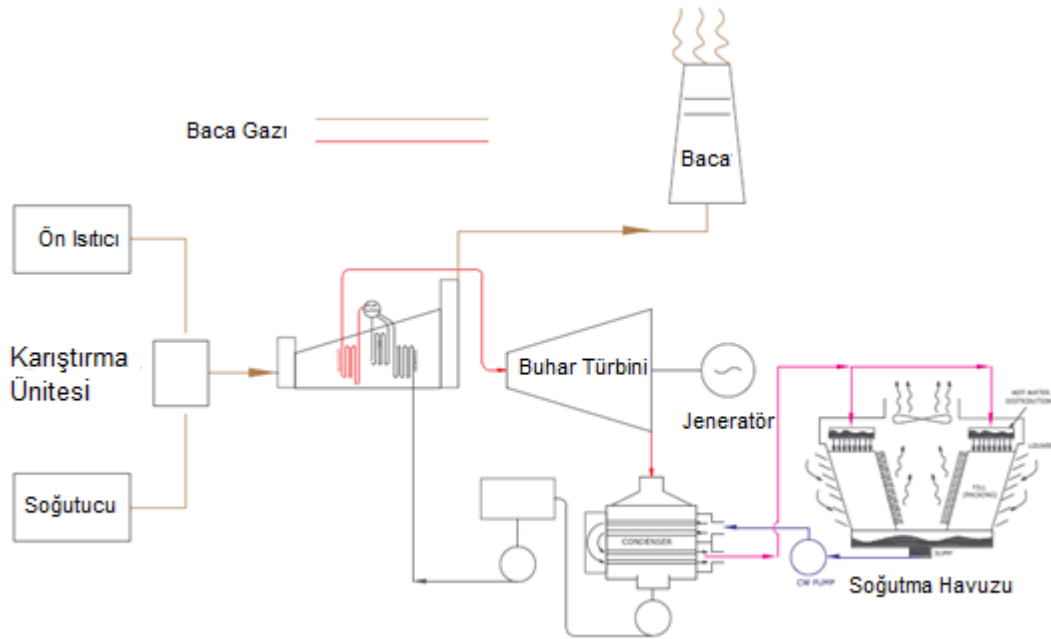
çevre boyutu düşünüldeği takdirde atık gazların atılma oranı azaltılarak sürdürülebilir çevre açısından önemli katkı sağlanmaktadır.

AIGK sisteminde, klasik buhar teknolojisi ile ısı değeri yüksek olan atık gazın enerjisinden faydalanmak mümkün olmakta ve buhar kazanlarında, buhar üretimi gerçekleştirilmektedir. Daha sonra bu buhar, türbine gönderilerek ve jeneratör yardımı ile elektrik enerjisi elde edilmektedir. Türbin çıkışından elde edilen su soğutularak yeniden kullanılmak üzere kimyasal arıtma ünitesine gönderilmektedir. Çimento fabrikalarının kapasitelerini %90 kullandıkları düşünüldeğinde, atık ısıdan elektrik üretiminin ortalama 35 kw/ton klinker olacağı kabul edilirse; 54.000.000 ton/yıl klinker üretimden 1.900.000 MWh/yıl elektrik üretimi gerçekleştirilebilir. Bu da neredeyse 270 MW değerinde bir elektrik üretim santraline eşdeğerdir. Atık ısıdan elektrik üretiminin yanı sıra; bacaların toz yüklerinde önemli miktarlarda düşüş sağlamak ve elektrik üretiminde fosil kaynaklar kullanılmadığından karbondioksit kredisi kazanmak mümkündür. Zira 1 kWh elektrik üretimi sayesinde yaklaşık 0,65 kg CO₂ kredisi sağlanabilir. Klinker üretim sürecindeki yüksek ısıl prosesten kaynaklı gaz çıkış sıcaklığı, teknolojik yapılarına göre farklılaşmakla beraber ön ısıtıcı sonrasında 280 °C – 350 °C arasında, klinker soğutma çıkışında da 250 °C – 300 °C arasında değişen ve klinker üretim kapasitesine bağlı olarak artan debilerdeki atık sıcak gazlar, yüksek ısıl işlemdeki üretim sürecinde tekrar kullanılmadığından direkt olarak atmosfere atılmaktadır. Klinker üretim prosesinde atıl olan bu sıcaklıktaki gazlar, klasik buhar teknolojisine dayalı elektrik enerjisi üretimi için önemli bir ısı kaynağı oluşturmaktadır [8].

AIGK sistemlerinin kullanılmasıyla meydana gelen başlıca faydalar şu şekilde sıralanabilir;

- Fosil yakıt kullanımının minimum düzeye indirilmesi
- Sektörel bazda enerji yoğunluğunun azaltılmasına katkı
- Enerji maliyetlerinde azalma ve artan kar marjı
- Enerji fiyatlarındaki artış riskinin minimum düzeye indirilmesi
- Elektrik enerjisi tüketimi güvenilirliğinin artırılması çevre imajının güçlendirilmesi
- CO₂ emisyonlarının azaltılması ve CO₂ ticareti için fırsat yaratılması

Naeimi ve diğ.[9] yaptığı çalışmada enerji israfının çoğunun ön ısıtıcı bölümünde olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 1. Atık ısı geri kazanımı

Şekil 1’de de görüldüğü gibi bu çalışmada ön ısıtıcıdan çıkan egzoz gazları karıştırma odasından çıkan sıcak hava ile karşılaşır. Sıcak gazlar ile su arasındaki ısı transferi nedeniyle su buhara dönüşür. Ardından buhar türbinine gönderilir ve burada güç üretmek amacıyla kullanılır. Isı geri kazanım sistemi kurulduğu takdirde elektrik enerjisinin %30 civarında geri kazanıldığı hesaplanmıştır. Isı geri kazanım sayesinde ısınma israfının %32,32’ye kadar azaltıldığından bahsedilmiştir [9].

B. DÖNER FIRIN YÜZEYİNDEN ISI GERİ KAZANIMI

Çimento üretim sürecinde klinker, ön ısıtıcı, fırın ve soğutucu ünitelerinde işleme tabi tutulur. Ham hazırlanmış karışım döner fırına girmeden önce kısmen kalsinasyon işlemi gerçekleşir ve döner fırında da tam kalsinasyon işlemleri yapılır. Döner fırında klinkerde faz hazırlığı için gerekli sıcaklık yaklaşık 1450 ° C’dir. Yüksek sıcaklığa ulaşmak için yanmada yanıcı yakıt kaynağı olarak kömür kullanılır. Fırın çıkışından boşaltılan sıcak klinker soğutma amacıyla ızgaralı soğutucuya gönderilir. Bu süreçte, klinker sıcaklığı zorlanmış hava akımı kullanarak 1350–1450 ° C’den 100–120 ° C’ye düşürülür.

B.1 Döner Fırın Termodinamik Analizi

Engin ve Ari [10] çalışmalarında egzoz gazlarından kaynaklanan ısı kayıplarının yanı sıra, %15 enerji kaybı potansiyeline sahip sıcak kilodaki belirgin ısı kayıplarının varlığından bahsetmişlerdir. Fırın kabuğundan ısı kaybı, ışınlama ısı transferi ve konvektif ısı transferi şeklindedir [11]. Mittal ve Rakshit [12] döner fırında mantosundan enerji eldesi için çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmadaki egzoz gazları yoluyla boşa harcanan ısının geri kazanımı, çimento endüstrisinin enerji tüketiminde daha sürdürülebilir hale gelmesine değinmişlerdir.

Mittal ve Rakshit [12] bu sistem için aşağıdaki varsayımları kabul etmişlerdir.

- Fırın kabuğu yüzey sıcaklıkları (ortalama) ve ortam sıcaklığı sabittir.
- Fırın sistemi içerisindeki gazlar ideal gaz niteliği sergiler.
- Sistem sürekli akış prosesi ile kararlı durumdadır.

Kütlenin korunumu prensibine göre; bir kontrol hacmine giren ve çıkan toplam kütle miktarları eşit olmak zorundadır ve aşağıdaki eşitlikle verilir [12].

$$\sum \dot{m}_{giriş} = \sum \dot{m}_{çıkış} \quad (1)$$

Burada

$\dot{m}_{giriş}$ = Fırın giriş kütle miktarı

$\dot{m}_{çıkış}$ = Fırın çıkış kütle miktarı

Benzer şekilde enerji dengesi denklemleri şu şekilde ifade edilebilir: [12].

$$\dot{Q}_{net,giriş} - \dot{W}_{net,giriş} = \sum \dot{m}_{çıkış} \sum h_{çıkış} - \sum \dot{m}_{giriş} \sum h_{giriş} \quad (2)$$

Burada

Q = ısı transfer miktarı

W = Yapılan iş

h = entalpi, (J / kg)

Birinci yasaya göre enerji verimlilik (η) terimi şu şekilde yazılabilir: [12].

$$\eta = \sum E_{çıkış} / \sum E_{giriş} \quad (3)$$

Tablo 1. Giren kütleli debi

Fırın Besleme (Kuru Farin)	$\dot{m}_{\text{kurufarin}}$	222.450	kg/h
Farin İçindeki Nem	\dot{m}_{nem}	2.200	kg/h
Kömür	$\dot{m}_{\text{kömür}}$	16.680	kg/h
Kömür Nemi	\dot{m}_{knem}	180	kg/h
Sürme Havası	$\dot{m}_{\text{sürme}}$	23.594	kg/h
Yakma Havası	\dot{m}_{yakma}	339.765	kg/h
Kaçak Hava	\dot{m}_{khava}	18.103	kg/h
TOPLAM		802.792	kg/h

Tablo 2. Çıkan kütleli debi

Kaçak Farin (kuru)	$\dot{m}_{\text{kaçakfarin}}$	9.418	kg/h
Buharlaşan Su (Kömür+Farin)	\dot{m}_{buhar}	2.317	kg/h
Üretilen Klinker	\dot{m}_{klinker}	146.853	kg/h
Elektrofiltreye ve Kömüre Giden Hava	$\dot{m}_{\text{çıkış}}$	184.115	kg/h
Kömür Külü	$\dot{m}_{\text{kül}}$	2.105	kg/h
Yanma Gazları	\dot{m}_{yanma}	457.984	kg/h
TOPLAM		802.792	kg/h
GİREN KÜTLE - ÇIKAN KÜTLE =		0	kg/h

İç enerji (u) ve entalpi (h) 'deki değişim şu şekilde ifade edilmiştir:

$$U = \int_1^2 C(T) dT = C_{\text{ort}}(T_c - T_g) \quad (4)$$

$$h = u + P \quad (5)$$

$h_{\text{giriş}} = C_{\text{ort}}(T_1 - T_0); h_{\text{çıkış}} = C_{\text{ort}}(T_c - T_0)$

Burada c_{ort} = Özgül ısı (ortalama), J /kg K

P = basınç değişimi, atm

T_g = Giriş sıcaklığı, K

T_c = Çıkış sıcaklığı, K

T_0 = Ortam sıcaklığı, K

Tablo 3. Döner fırına giren enerjiler

Sıra No	Madde Adı	Kütlesel Debi (kg/h)	Özgül ısı (kJ/kgK)	Sıcaklık İlk (K)	Sıcaklık Son (K)	(kJ/h)
1	Fırın Besleme (Fırın Giriş) Kuru Farinin Duyulur Isısı	322450	0,2320	283	333	3740420
2	Fırın Besleme Neminin Duyulur Isısı	6220	0,2120	283	333	65932
3	Beslenen Yakıtın Duyulur Isısı	46680	0,2815	283	333	657021
4	Sürme Havaasının Duyulur Isısı	33594	0,2375	283	293	79785
Sisteme Yakıt İle Enerji Geçışı		Kütlesel Debi (kg/h)	Yakıt Kalorifik Değeri(kcal/kg)		(kJ/h)	
5	Yakıtın Kalorifik Enerjisi	46680	6456		1.259.710,214	
Sisteme İş İle Enerji Girişi		Motorun Gücü (kW)	kW x 3600 = kJ/h		(kJ/h)	
6	Elektrik Enerjisi	190	3600		684000	
TOPLAM						1.264.937,372

Cura [13] Tablo 3 ve Tablo 4'teki verilerden yola çıkarak konveksiyon ve radyasyonla olan kayıpları da göz önünde bulundurarak döner fırın yüzeyindeki ısı kayıplarını ve verimliliğini hesaplamıştır.

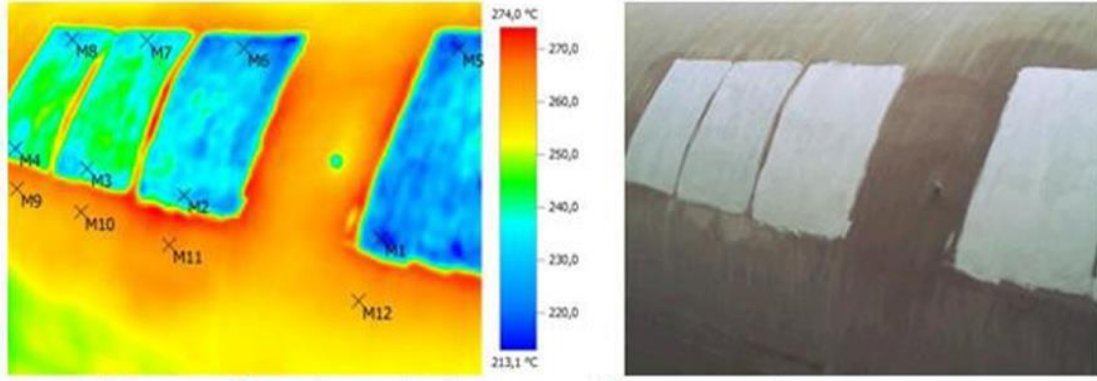
Tablo 4. Döner fırından çıkan enerjiler

Sıra No	Madde Adı	Madde Bileşeni	Kütlesel Debi (kg/h)	Özgül ısı (kJ/kgK)	Sıcaklık İlk (K)	Sıcaklık Son (K)	(kJ/h)
1	Baca Gazlarının Hissedilir Isısı	CO ₂	120464	0,2310	283	613	9.182.970
		H ₂ O	7100	0,4590	283	613	1.075.437
		SO ₂	180	0,1660	283	613	9860
		NO ₂	691	0,2410	283	613	54955
		N ₂	182598	0,2510	283	613	15.124.592
		O ₂	4644	0,2290	283	613	350.947
		TOPLAM					
2	Soğutma Çıkış Havaısı Hissedilir Isısı	N ₂	135095	0,2510	283	604	10.884.739
		O ₂	40951	0,2290	283	604	3.010.267
		TOPLAM					1.389.506
3	Klinkerin Hissedilir Isısı		141658	0,1900	283	400	3.149.057
4	Su Buharı Hissedilir Isısı		2.630	0,4590	283	613	387.501
5	Kaçak Farinin Hissedilir Isısı		9.313	0,2360	283	613	705.515
	Klinker Oluşum Isısı	Kütlesel Debi (kg/h)		(kJ/kg)			(kJ/h)
6	Klinker Oluşum Isısı	141658		1749,4			247.761.591
	Suyun Buharlaşma Isısı	Kütlesel Debi (kg/h)		Suyun Buharlaşma Isısı (kcal/kg)			(kJ/h)
7	Suyun Buharlaşma Isısı	2630		540			5.967.226
	Sistemden Isı İle Enerji Çıkışı						(kJ/h)
8	Isı Kaybı						184.125.231
	TOPLAM						465.042,315

Konveksiyon ve radyasyon ile oluşan ısı kayıpları ihmal edildiği durumda verim değeri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\eta = \frac{\sum E_{\text{çıkış}}}{\sum E_{\text{giriş}}}$$

$$\eta = 0.36$$



Şekil 2. Döner fırın yüzeyine refrakter boyası izolasyonu görüntüsü

Cura [13], fırın manto yüzeyinin izolasyonsuz halde iken 270 °C sıcaklıkta olduğunu ve bu sıcaklığın izolasyonlu halde 214 °C'ye düştüğünü deneme çalışması sonucunda gözlemlemiştir. Elde edilen sonuçlara göre döner fırın yüzeyinin refrakter boya ile boyanması durumunda enerji kayıplarının %21 oranında azalacağını belirtmiştir.

III. SOMA ÇİMENTO FABRİKASI YARDIMCI İŞLETMELER **ENERJİ ANALİZİ**

Çimento Fabrikası içerisindeki ana yardımcı üniteler;

- Kazan dairesi
- Kompresör odası
- Su deposu ve Soğutma Havuzu
- İdari Bina, CCR (Merkezi Kontrol Odası)
- Atölyeler

Kazan dairesi; Isıtma, soğutma ve kullanım suyu temininde kullanılır. İki kazan, iki soğutucu, iki kazan tankı, bir 28 ton su tankı ve yumuşatma cihazı (iki kum filtresi, bir aktif karbon, bir reçine, bir tuz tankı, bir UV bakteri tutucu) bulunmaktadır.

Kompresör odası; Sistem için gerekli olan basınçlı havayı ve tüm sistemin verimli çalışmasını sağlayan önemli faktörlerden biridir. 5 kompresör ve 5 kurutucu içermektedir.

Soğutma havuzu; sistem yatakları için gerekli soğutma suyunu sağlar ve tüm sistemin can damarıdır. 1 kimyasal dozajlama ünitesi ile sürekli iyileştirme çalışmaları yürütülmektedir.

Bu birimlerin enerji tüketimini ayrı ayrı incelersek;

A. KAZAN DAİRESİ

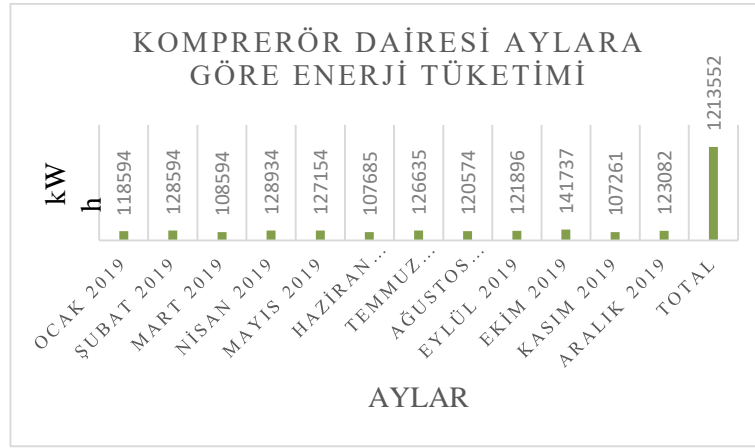


Şekil 3. Kazan dairesi toplam enerji tüketim tablosu

Şekil 3'te görüldüğü üzere kazan dairesi enerji tüketim tablosu incelendiği zaman; yaz aylarında daha çok enerji tüketimi söz konusudur. Aksine bu durumun kış ayları için olması beklenirdi. Durumu şu şekilde izah etmek gerekirse; kazan dairesinde bulunan ve soğutma amaçlı kullanılan 2 adet Chiller cihazı bulunmaktadır. Bu cihazların içinde soğutucu akışkan R134a dolaşarak tüm sistemlerin yani binaların soğutulması ve paket cihazların dahi soğutulması dahildir. Durum bu olunca enerji tüketimi fazlalaşmaktadır. Aynı zamanda yaz aylarında kapalı kulelerin soğutulması daha da zorlaşmakta olduğu için sisteme sürekli taze su alımı yapılmakta ve pompalar daima çalışmaktadır. Kapalı kulelerin kimyasal analiz sonuçlarına göre istenilen düzeyde tutulması için (iletkenlik, ph ,Fe vs) sürekli taze su alımı ile sürekli blöf yapılması gerekli olduğu için hem su kaybı hem de enerji kaybı yaşanmaktadır. Bu durumu azaltmak ve iletkenlik değerlerini istenilen düzeyde tutmak için kimyasal şoklama işlemleri yapılmaktadır.

Kışın ise ısıtma amaçlı kullanılan kazana yıllık ortalama 38.876 kg civarında LNG (likit natural gaz) beslenmektedir. Isıtılan mahaller idari bina, CCR, atölyeler, lojmanlar, yemekhane olup aynı zamanda sıcak su eldesini de kazandan temin edilmektedir. Daha detaylı bir şekilde düşünülürse İdari binada bulunan 17 çalışma odası, 2 dinlenme odası, 2 mutfak ve 2 de toplantı odasının bulunması, CCR binasında 1 adet kimya laboratuvarı, 1 adet fizik laboratuvarı, 1 adet beton harç laboratuvarı, 1 adet yakıt laboratuvarı ,1 adet X ray laboratuvarı,2 adet numune hazırlama, 1 adet ana kumanda odası ve 13 adet çalışma odası ,1 adet mutfak bulunması ve aynı zamanda sıcak su tüketiminin de göz önüne alınması durumunda ısıtma amaçlı kullanımın normal olduğu düşünülebilir.

B. KOMPRESÖR DAİRESİ



Şekil 4. Kompresör odası toplam enerji tüketimi

Şekil 4 incelendiğinde; aylara göre çok büyük enerji tüketimi değişikliği söz konusu olmadığı görülmektedir. Bu durumun ana sebebi yeterli sayıda kompresörün çalıştırılması ve gerek görülmedikçe diğer kompresörlerin devreye alınmamasıdır.

Şekil 5 incelendiğinde ise kompresör dairesinde 5 adet kompresör olmakla birlikte 5 adet de kurutucu ünite gözlemlenmektedir. Gerekli durumlarda 5 kompresör de aynı anda çalıştırılmakta olup yeterli durumlarda çalışan kompresör sayısı azaltılabilmektedir. Düzenli olarak eşanjör temizliği yapılarak gelen ve giden hattın temiz tutulması sağlanmaktadır.



Şekil 5. Kompresör odası genel yerleşimi

Tablo 5. Kompresörlerin çalışma özellikleri

	Birim	Kompresör 1	Kompresör 2	Kompresör 3	Kompresör 4	Kompresör 5
Maksimum Çalışma Basıncı	Bar	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
Kapasite	m^3/dk	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5
Güç	kW	160	160	160	160	160
Periyot	rpm	1485	1485	1485	1485	1485

Tablo 5’te fabrika bünyesinde kullanılmakta olan kompresör markalarının katalog bilgilerinden yola çıkılarak çalışma özellikleri yer almaktadır.

Tablo 6. Gözlemlenen ve ölçülen değerler

	Birim	Kompresör 1	Kompresör 2	Kompresör 3	Kompresör 4	Kompresör 5
Fiili Çalışma Basıncı	<i>Bar</i>	6,1	6	6	6	6,1
Boşa Geçme Basıncı	<i>Bar</i>	6,6	6,6	6,8	6,5	6,4
Yüke Geçme Basıncı	<i>Bar</i>	6,4	6	6	5,6	5,6
Yükte Çalışma Saati	<i>Saat</i>	64686	72577	69411	24407	56656
Boşta Çalışma Saati	<i>Saat</i>	4504	2000	3650	5	1743
Çıkış Boru Çapı	<i>DN</i>	65	65	65	100	100

Tablo 6 ‘dan yola çıkılarak kompresörlerin toplam çalışma saatleri bulunmuştur ve ardından tablo 7’de kompresörlerin kullanım yüzdeleri bulunmuştur.

Tablo 7. Kompresörlerin kullanım yüzdesi değerleri

	Kompresör 1	Kompresör 2	Kompresör 3	Kompresör 4	Kompresör 5
Toplam Çalışma Süresi (saat)	69190	74577	73061	24412	58399
Yükte Çalışma Süresi (saat)	64686	72577	69411	24407	56656
Boşta Çalışma Süresi (saat)	4504	2000	3650	5	1743
Boşta Çalışma Yüzdesi (%)	6.5	2.7	5	0.02	3
Kullanım Yüzdesi (%)	93.5	97.3	95	99.98	97

B.1. Basınçlı Hava Tankı İncelemesi ve Hacim Doğrulaması

Kompresör dairesinde basınçlı hava tankları bulunmaktadır. Basınçlı hava tanklarının ana görevi basınçlı havayı depolamaktır. Bununla birlikte, basıncın stabil kalmasını, ani hava ihtiyaçlarının sağlanmasını ve

soğutma yüzeyi sağlayıp yoğuşma tankı görevini gerçekleştirir. Bu nedenle basınçlı hava tanklarının uygun kapasitede seçilmesi önemlidir [14],[15]. Bu nedenle basınçlı hava tankı için hacim hesabı yapılarak doğruluğu kontrol edilmiştir. Tüm kompresörler için basınçlı hava tankları kullanılmakta olup, tankın hacmi 10.000 litredir. Tank hacminin yeterli olup olmadığını inceleyelim;

$$V_t = A * Q * \frac{P_{atm}}{P_{ç}} \quad (6)$$

V_t = Tank Hacmi

A = Hava Kullanım Faktörü (Sabit Hava Kullanımı $A= 1.5$)

Q = Kompresör Emiş Debisi (m³/dak)

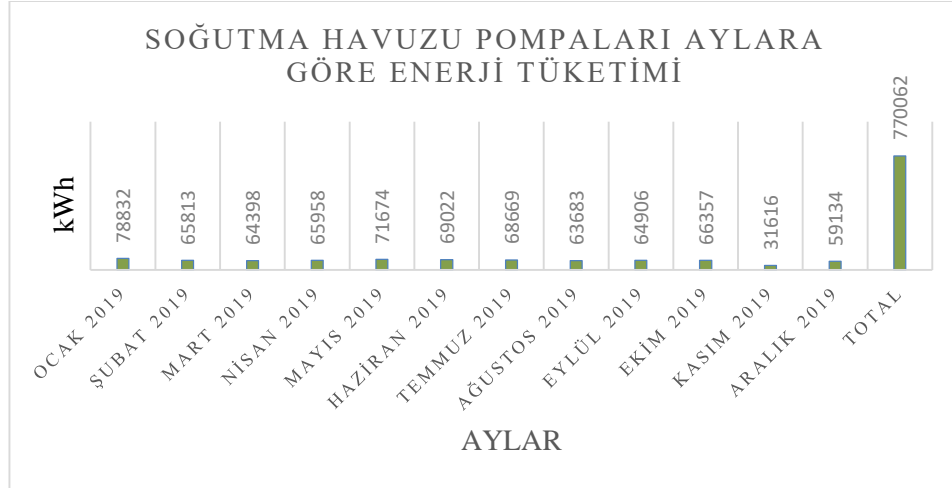
P_{atm} = Atmosfer Basıncı (bar)

$P_{ç}$ = Çalışma Basıncı (bar)

V_t = 7.125 Litre

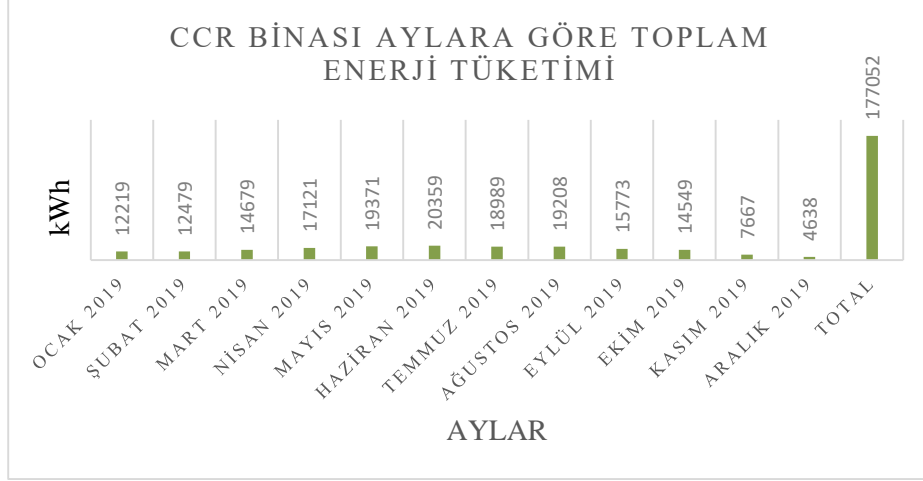
Bu durumda tank hacminin yeterli olduğu görülmektedir [15],[16],[17].

C.SOĞUTMA HAVUZU, CCR BİNASI VE ATÖLYELER



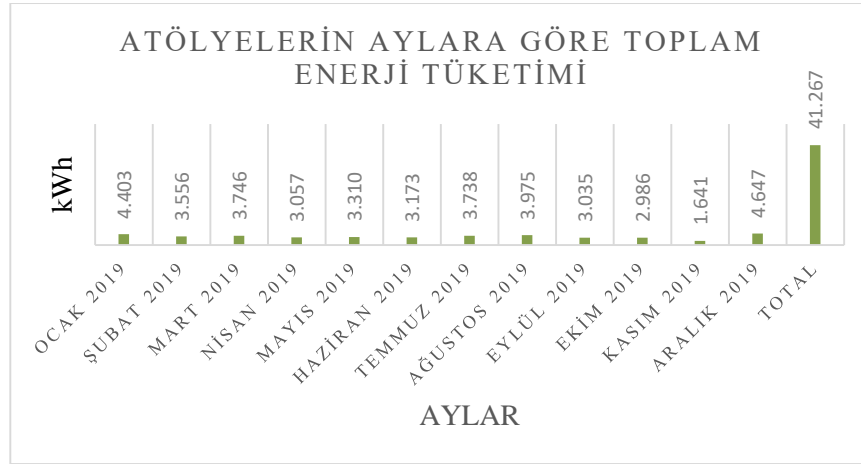
Şekil 6. Soğutma havuzu toplam enerji tüketimi

Şekil 6’da görüldüğü gibi soğutma havuzu pompalarının enerji tüketimi mayıs ayından itibaren artış göstermekte olup Kasım ayında ise minimum düzeydedir. Bunun sebebi ise yaz aylarında soğutmanın kış aylarına göre daha zor gerçekleştirilmesidir.



Şekil 7. CCR binası toplam enerji tüketimi

Şekil 7’de görüldüğü gibi mayıs ayından Kasım ayına kadar enerji tüketimi artışı söz konusudur. Bunun sebebi CCR binasında gerek oda sayısının fazla olması gerek laboratuvarın ve deney odalarının bu binada bulunması ve gerekse ana kumanda sisteminin bu binada bulunmasından kaynaklıdır.



Şekil 8. Atölyelerin toplam enerji tüketimi

Şekil 8 incelendiğinde mekanik ve elektrik olmak üzere 2 adet atölye bulunmasından dolayı ve sadece küçük el aletlerinin olması sebebiyle toplam enerji tüketimi en az olan kısımdır.

IV. SONUÇ

Bu çalışmada, bir çimento fabrikasında mevcut olan yardımcı işletmeler kısmının enerji tüketimleri incelenmiştir.

Yardımcı birimler olarak her bölüm için ayrı ayrı iyileştirme çalışmaları yapılmıştır. Elde edilen bu sonuçlara göre;

Kazan Dairesinde;

- Yıllık toplam enerji tüketimi 665686,6 kWh’tir.
- Yıllık ortalama 38.876 kg likit doğal gaz harcanmaktadır.
- Likit doğal gaz yakmak yerine alternatif yakıtlarla maliyetler azaltılabilir.

- Döner fırın mantosundaki ısı reküparatör ile kazan dairesinde sıcak su eldesinde kullanılabilir.
- Kapalı kuleler ve kapalı devreler, kimyasallarla koşullandırılabilir. Böylece, suyun sertlik ve iletkenlik değerleri istenen seviyelerde tutularak sistemin kirlenmesi ve kireç oluşumu önlenir.
- Kapalı kulelerin hava emme kısımları tamamen değiştirilebilir ve kaset tipi geçmeli hava tutucular yerleştirilebilir, böylece su temiz kalır ve sistemin verimliliği sağlanır.
- Döner fırın soğutma atık sıcak gazı kullanılarak reküparatör sistemi kurulabilir. Bu sayede elde edilen buhar, ısınma ve sıcak su için kullanılabilir ve böylece kazana beslenen likit doğal gaz miktarında ciddi düzeyde azalma meydana gelir.

Kompresör odasında;

- Yıllık toplam enerji tüketimi 1213552 kWh'tir.
- Kompresör hattının ısı eşanjörleri düzenli olarak temizlenmelidir, böylece aşırı ısınma nedeniyle devreden çıkma sorunu ortadan kalkabilir.
- Basıncı hava tankları için otomatik boşaltma sistemi kullanılabilir, böylece hava tankında su birikmesi nedeniyle sistem çalışmasının olumsuz etkilenmesini önler. Basınç hatlarında olası bir korozyon durumu minimum düzeye indirilmiş olur.

Teknolojik Havuzda;

- Yıllık toplam enerji tüketimi 76062 kWh'tir.
- Suyu soğutmak için en önemli yer olan bu kısımda yüksek buharlaşma vardır. Çaydanlık mantığı ile aynı sistemdir. Su buharlaştıktan sonra, sistemde kalan kireç zamanla birikir ve tortu oluşumuna neden olur. Uzun vadede düşünülürse, sistemler kireç ve tortu birikimi sonucu tıkanmaya başlar, yataklarda aşırı ısınma meydana gelir. Bu durumu önlemek için kimyasal uygulama yeterli değildir. Aynı zamanda, hava emiş ağızları tozdan korunmalıdır. Bunun için toz toplama filtreleri kullanılabilir.
- Bu bölümde günlük ortalama 150 ton su harcanmaktadır. Yatakların aşırı ısınması nedeniyle havuz boşaltılır ve taze su alınır. Bu durum ekstra su kaybı, enerji kaybı (pompa çalışması vb.) gibi etkiler yaratır.

Tüm bunlara ek olarak daha önce bahsedilen atık ısı geri kazanımı sistemi kurulumu ile hem elektrik üretimi hem CO₂ emisyon tasarrufu sağlanabilir.

V. KAYNAKLAR

- [1] A. Yıldız, S. Akgül ve S. Güvercin, "Sanayide enerji verimliliği uygulamaları," *İleri Teknoloji Bilimler Dergisi*, c. 7, s. 1, ss. 16–22, 2018.
- [2] M. Kaya, "Sanayide enerji verimliliği potansiyeli ve basınçlı hava sistemlerinde verimlilik," Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2012.
- [3] O. Ünlü, "Sanayide enerji tasarrufu çalışmalarının önemi ve buhar sistemleri ile ilgili uygulama örnekleri," *Mühendis ve Makine Dergisi*, c.5, s.16, ss. 7-20, 2009.
- [4] Batı Anadolu Çimento. (2021, Nisan 15). *Çimento hakkında bilgiler* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.baticim.com.tr/>
- [5] Cementurk Dergisi. (2021, Nisan 15). *Çimento sektörü ve alternatif enerji kaynakları* [Çevrimiçi]. Erişim: <http://www.cementurk.com.tr/>
- [6] İ. Tavman, "Türkiye'nin elektrik üretimi ve tüketimi, çimento sanayinde enerji geri kazanımı," *Enerji Stratejileri İzmir Sempozyumu*, İzmir, Türkiye, 2016, ss. 1-41.

- [7] Türkiye Çimento Sanayicileri Birliđi (2021, Nisan 16). *Çimento üretiminin tarihçesi* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.turkcimento.org.tr/>
- [8] Türkiye Sınai Kalkınma Bankası (2021, Nisan 16). *Çimento sektöründe atık ısı geri kazanımı sistemleri kullanımı* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.tskb.com.tr/>
- [9] A. Naeimi, M. Bidi, M. Hossein Ahmadi, R. Kumar, M. Sadeghzadeh and M. Alhuyi Nazari, "Design and exergy analysis of waste heat recovery system and gas engine for CO₂," *Thermal Science Engineer*, vol. 9, no. 3, pp. 299–307, 2019.
- [10] T. Engin and V. Ari, "Energy auditing and recovery for dry type cement rotary kiln systems case study," *Energy Conversion and Management*, vol. 46, no. 4, pp. 551–562, 2005.
- [11] N. Akram, M. Usman Moazzam, M. Hafız, A. Ajaz, A. Saleem, M. Kılıç and A. Mobeen, "Improved waste heat recovery through surface of kiln using phase change material," *Thermal Science*, vol. 22, no. 2, pp. 1089–1098, 2018.
- [12] A. Mittal and D. Rakshit, "Utilization of cement rotary kiln waste heat for calcination of phosphogypsum," *Thermal Science and Engineering Progress*, vol. 20, no. 12, pp. 100729, 2020.
- [13] Ö. Cura, "Bir çimento işletmesinin enerji tüketimi ve verimliliğinin incelenmesi," Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, 2021.
- [14] Makine Mühendisleri Odası. (2017, Haziran 6). *Basınçlı hava tesisatı* [Çevrimiçi]. Erişim: https://mmo.org.tr/sites/default/files/9a5b5995110b36a_ek.pdf
- [15] Tesisat Bilgi ve Haber Portalı. (2016, Şubat 28). *Basınçlı hava tankı hesabı* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.thesisat.org/kategori/mekanik-tesisat/basincli-hava-tesisati-hesabi>
- [16] Kompresörler Hakkında. (2013, Mayıs 9). *Kompresör hava tankı* [Çevrimiçi]. Erişim: <http://www.kompresorhakkinda.com/?p=524>
- [17] Günsel Otomotiv Teknik Doküman. (2017, Ocak 19). *Basınçlı hava sistemlerinde enerji verimliliği* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.researchgate.net/publication/312662891>