

KÜRLENME VE KURUTMA FIRINI BACA GAZI ATIK ISISI GERİ KAZANMA SİSTEMLERİ VE ÖRNEK BİR UYGULAMA

Sezgin Çavuşoğlu¹, Mustafa Atmaca^{1*}

¹ Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 34730, İSTANBUL

Öz

Enerjinin ekonomik ve sosyal refahın önemli belirtilerinden biri olduğu ve hayat kalitesinin artırılmasında önemli bir rolü olduğu bilinmektedir. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde artan nüfus, sanayileşme ve teknolojik gelişmelerden dolayı enerjiye olan talep giderek artmaktadır. Bu artış ile ülkeler enerjiye kolay, ucuz ve kesintisiz bir biçimde ulaşmak istemektedirler. Bu nedenle ülkeler alternatif enerji kaynaklarına ve enerjiyi daha verimli kullanabilecekleri sistemlere yönelmişlerdir. Ülkemizde de bu tip sistemler için uygulamalar yaygınlaşmaktadır. Özellikle enerji tüketimi fazla olan sanayi sektöründe enerjiyi daha verimli kullanmak için baca gazı atık ısısının geri kazanımı bu uygulamaların başında gelmektedir. Bu çalışmada otomotiv sektöründe kullanılan boyahane tesislerinin boya kurutma ve kürlenme fırını atık ısısından yararlanarak enerji verimliliğini artırmak ve sıcak su kazanımının enerji tüketim yükünü azaltmak için kullanılacak enerji geri kazanım sistemleri değerlendirilmiş ve uygun bir ısı dönüştürücü sistemi tasarlanmıştır. Sistemin getireceği faydalar hesaplanmıştır.

Endüstriyel toz boya tesislerinde boyanması istenen metal parçalar, boyama safhasına gelene kadar birçok işlem görmektedir. Parçanın boyanabilmesi için öncelikle parçalar yağ alma banyolarından geçmektedir. Sonrasında metal yüzey üzerinde boyanın tutunabilmesi için çinkofosfat ile kimyasal tepkime sonucu yüzey aşındırma gerçekleştirilmektedir. Tepkime sonlandırılması için pasivasyon banyosundan geçen parçalar DI (deiyonize) su ile yıkanmaktadır. Boyama işlemine tüm parçalar tamamen kuru girmesi gerektiğinden dolayı boya işlemi öncesinde parçalar kurutma fırınından geçirilerek üzerinde kalan su kurutulmaktadır. Bu şekilde boya kabininden geçen ve boyanan parçalar mamul hale gelebilmesi için kürlenme fırınından geçerek toz boyanın pişmesi sağlanmaktadır. Son olarak fırın çıkışında kürlenme operasyonunda parçalar üzerine transfer olan ısının deşarj edilmesi için soğutma bölümünden geçerek montajlamaya uygun hale gelmektedir. Bu proseste bahsi geçen kurutma ve kürlenme fırını baca gazlarındaki atık ısı, ısı dönüştürücü ile geri kazanılarak çinkofosfat banyosundan çıkan ve doğal gaz kombisine tekrar ısıtılmak üzere dönen su borularına ısının transfer edilmesi amaçlanmaktadır. Bu sayede kombi giriş ve çıkışı arasındaki ΔT miktarını düşürmek ve bu yöntem ile doğal gaz tüketim miktarını azaltarak enerji kullanım verimliliğini artırmak amaçlanmaktadır. Sistem doğal kaynakların daha az kullanımı ve enerji verimliliğini artırmanın dışında çevre kirliliği konusunda da karbon salınımını azalttığı için daha temiz bir doğaya katkıda bulunacaktır.

Anahtar Kelimeler: Isı dönüştürücü, atık baca gazı, atık ısı, enerji tasarrufu, enerji kazanımı, yenilenebilir enerji

CURING AND DRYING OVEN CHIMNEY GAS WASTE HEAT RECOVERY SYSTEMS AND A SAMPLE APPLICATION

Extended Abstract

It is known that energy is one of the important signs of economic and social welfare, and it has an important role in increasing the quality of life. Demand for energy, especially due to increased population, industrialization and technological developments in developing countries, is increasing steadily. With this increase, countries want to achieve energy in an easy, cheap and uninterrupted manner. Thus, countries have shifted to alternative energy sources and systems where they can use energy more efficiently. In our country, applications for such systems are becoming widespread. Especially in the industrial sector, where energy consumption is high, recovery of the waste gas waste heat is at the beginning of these applications in order to use energy more efficiently. In this study, in order to increase energy efficiency of powder coating facilities, energy recycling systems researched and an heat

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author):

Prof.Dr. Mustafa ATMACA, Marmara University, Technology Faculty,
Department of Mechanical Engineering, 34722, Kadıkoy, Istanbul-Turkey.
e-mail: matmaca@marmara.edu.tr

Geliş (Received) : 12.01.2021

Kabul (Accepted) : 03.03.2021

Basım (Published) : 31.07.2021

exchanger system has been designed to utilize the paint drying and curing oven waste to heat water then systems results and benefits was investigated.

Parts which are requested to be painted by industrial powder coating facility must have several steps to be able to paint. First of all oil is eliminated from metal by passing inside of oil eliminating baths. To provide good paint sticking onto metal surface, chemical reaction is actualized with zinc phosphate to receive corroded surface. For finishing of the reaction parts go inside of passivation bath. Parts are washed with DI (deionized) water to remove chemicals from part. All parts must be totally dry before entering to paint booth therefore one drying oven is used to provide good parts. After painting parts go inside of the curing oven to get final shape. Curing oven cooks the powder and parts go out by passing inside of cooling zone for discharging of transferred heat inside of curing oven. The drying and curing ovens mentioned in this process contains waste heat inside of their chimneys. Aim of this project is decreasing ΔT of zinc phosphate bath central heating boiler's input and output values by using occurred waste heat in oven chimneys. This heat will be transferred to central heating boiler input water pipe and ought to this heat transfer boiler efficiency will be improved.

Keywords: Heat exchanger, waste heat, waste chimney gas, energy saving, energy gaining, recyclable energy

1. Giriş

Atık ısıdan enerji geri kazanımı sistemleri, baca gazı vb. gibi atmosfere bırakılan ısıların sıcak su besleme sistemlerine geri kazandırılmasına olanak sağlamaktadır. Atık ısıların kazanılabileceği farklı ortam ve şartlara göre ısı geri kazanım sistemleri çeşitlilik göstermektedir. Atık ısı geri kazanım sistemleri kurulmadan önce uygun olan sistem doğru analiz edilmeli ve seçilmelidir. Doğru seçim, daha fazla enerji kazanımı ve daha kısa sürede amortisman sağlamaktadır (Gurbuz, 2009).

Enerji kaynaklarını; kullarılarına, dönüştürülebilir olması ve ikincil enerji kaynakları parametrelerine göre ayrılmaktadır. Dışarıdan müdahale edilmemiş, böylece hiçbir değişime uğramamış enerji türü birincil enerji olarak adlandırılmaktadır. Genel olarak başlıca enerji kaynakları; kömür, petrol, doğalgaz, güneş, rüzgâr, hidrolik, nükleer, biokütle ve dalgadır. Birincil enerji kaynağına dışarıdan bir müdahale ile değişime uğratılması, böylece farklı enerji çeşidine dönüşmesiyle oluşan enerji türü ikincil enerji olarak adlandırılmaktadır. Tükener enerji kaynakları belli bir rezerv düzeyi olan ve gelecek süreçte tükeneceği öngörülen enerji kaynaklarını ifade etmektedir. Bunlar başlıca fosil kaynaklı başlık adı altında kömür, doğalgaz, petrol olarak parametrelere ayrılmaktadır. Tükenez enerji kaynağı ise uzun gelecek vaat eden, daimi kullanıma açık olan doğal yollar ile elde edilen yenilenebilir enerji anlamına gelmektedir (URL-1, 2020).

Özellikle fosil kaynaklar yönünden fakir olan AB ülkeleri ve sanayisi gelişmiş uzak doğu ülkeleri ile enerji tüketimi devasa bir aşamada olan ABD bu kaynakların geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması alanlarında liderlik etmişlerdir (Yılmaz, 2012). Diğer bir husus ise gelecek nesiller için fosil yakıtlardan, kömürün yaklaşık 250 yıl petrolün ise en fazla 50 yıl sonra tükeneceği bilindiğine göre bunlara ikame olarak yeni enerji kaynaklarının bulunup değerlendirilmesinin ne kadar önemli olduğu ortaya çıkmaktadır (Bahar, 2005).

Ülkemiz mevcut enerji kaynakları dikkate alındığında kendi kendine yetebilen bir ülke olmadığı ortaya çıkmaktadır. Ancak Türkiye, stratejik bir coğrafi konumda olduğu için enerji potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı olduğu söylenebilir. Türkiye, son zamanlarda bu önemli konumunu kullanarak sağladığı ekonomik büyümeye ile birlikte dünyanın en hızlı büyüyen enerji piyasalarından biri olmuştur. Çin'den sonra enerji talebi artışı en fazla ülke olan Türkiye'nin enerji tüketiminde fosil kaynaklardan; kömür, petrol ve doğalgazın payı oldukça yüksektir.

Petrol fiyatları çok yüksek değerlere çıktıktan sonra hızlı bir düşme gösterse de bu değerler bile enerji kullanımında "Verimlilik" kavramının önemini azaltmamıştır. Verimli olmayan enerji kullanımının küresel ısınmaya sebep olduğunu bugün ilkokuldaki öğrencilere bile hatırlatıyor olması, sektörde çalışan mühendislerin ve teknik elemanların konunun önemini anlamasına önemli katkısı olacağı kaçınılmaz bir gerçektir.

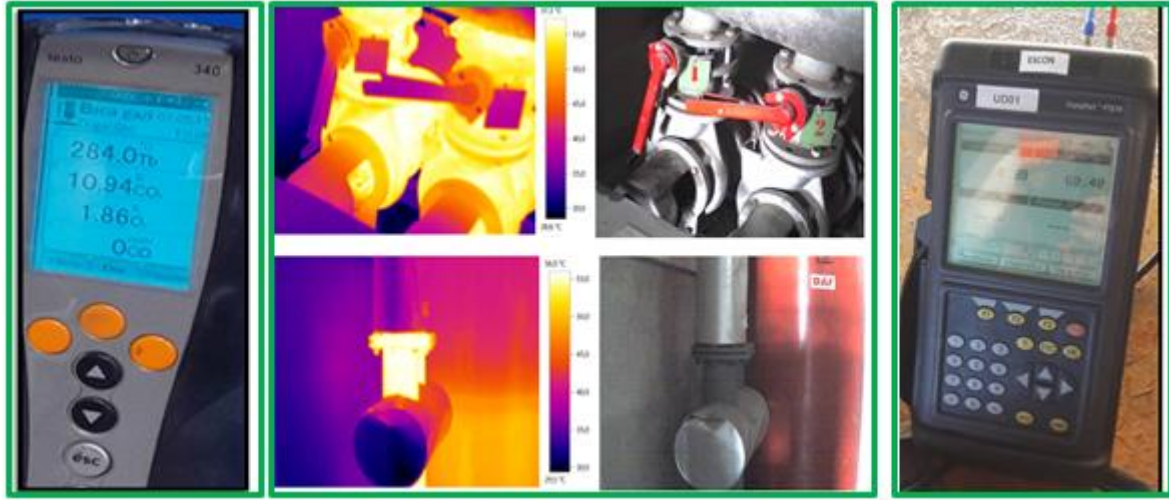
Yoğuşmalı doğalgaz kazanları dışında tüm yakma sistemlerinde baca gazı sıcaklığı elde edilen sıcak su, buhar, kızgın yağ sıcaklığının 50 °C - 100 °C üzerinde olması proses gereğidir; Demek ki baca gazı sıcaklıkları 180 °C-400 °C arasında değişmesi kaçınılmazdır. Bu enerji israfıdır. Enerji tasarrufu, enerji ekonomisi, ülkemizdeki toplam enerji tüketiminin % 40'ından fazlasını tüketen sanayimiz için mutlaka ele alınması gereken konuların başında gelmektedir. Burada bacadan atılan enerjilerin geri kazanımı için kullanılan bazı sistemlere değineceğiz.

Baca gazlarında her 20 °C' lik sıcaklık düşüşünün % 1 verim artışı sağladığı öngörülmektedir. Bacadan atılan "Atık Isı" kullanılabilir bir enerjidir. Burada "kalite" miktardan çok daha önemlidir çünkü kullanılan yakıttan çok ciddi tasarruf yapılabilmektedir.

Genel olarak tesislerde baca gazı (atık gaz) sıcaklıkları; metal ve cam üretim tesislerinde 1000 °C – 1500 °C, Çimento sanayinde 700°C, Yakma tesislerinde 650 °C – 1000 °C, Buhar tesislerinde 230 °C – 480 °C, Gaz türbinlerinde 370 °C-540 °C, Gaz motorlarında 230 °C – 600 °C, Kurutma fırınlarında 230 °C – 650 °C olmaktadır (URL-2, 2020).

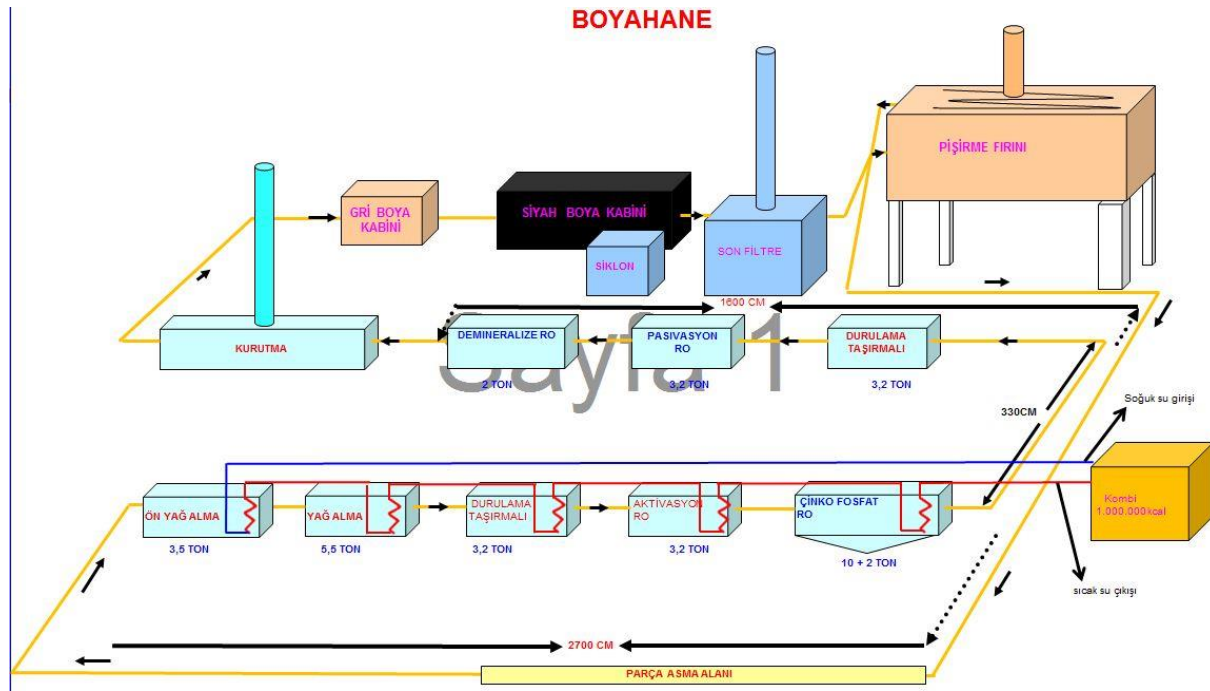
2. Materyal ve Yöntem

Şekil 1'de gösterilen ölçüm cihazları ile toz boya tesisinin kurutma, pişirme fırını bacaları ve kombi tesisatı sıcak su çıkış / soğuk su dönüş hatları belirli peryotlar ile ultrasonik ve termal olarak ölçülmüştür.



Şekil 1. Ultrasonik ve termal ısı ölçüm cihazları

Şekil 2'de enerji geri kazanım potansiyeli olduğu için ölçüm yapılan noktalar tesisin minyatür görünüşü üzerinde kırmızı oklar ile gösterilmiştir. Çıkan ölçüm sonuçlarına göre tesisin fiziki durumu ele alınarak uygulanabilecek atık baca gazından enerji kazanımı sistemleri değerlendirilmiştir.

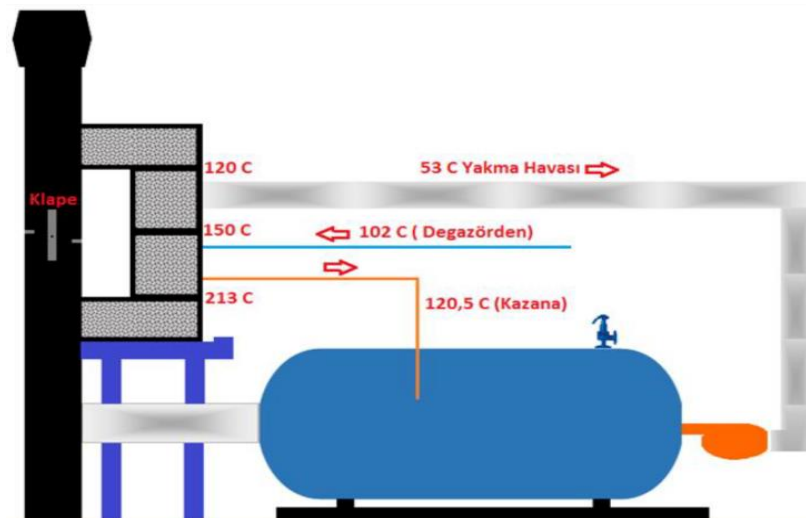


Şekil 2. Baca gazı ve kombi giriş çıkışında sıcaklık ölçümü yapılan tesisin şematik gösterimi

2.1. Isı Dönüştürücüler

2.1.1. Reküperatörler

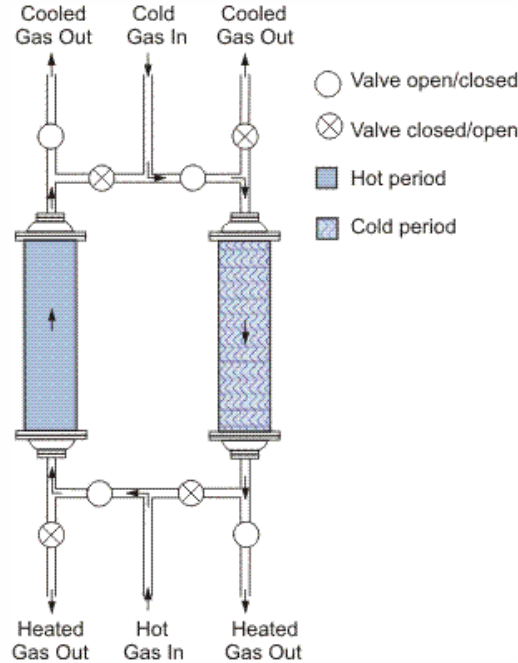
Rekuperatör, havadan havaya ısı transferi sağlayan ısı geri kazanım sistemidir. Rekuperatörde giren ve çıkan hava akımları bir cidar ile birbirinden ayrılır. İki hava akımının sıcaklık değerleri birbirinden farklı olduğu sürece, daha sıcak olan hava akımındaki ısı, cidar üzerinden daha soğuk olan hava akımına transfer edilir. Rekuperatörler yüksek sıcaklıklarda kullanıma uygundur. 600 °C ve üzeri sıcaklıklarda kullanılan bu ekipmanlar, metalik rekuperatörler ile 1000 °C ye, seramik rekuperatörler ile 1500 °C ye kadar olan sıcaklıklarda kullanılabilir. Örnek bir rekuperatör sisemi Şekil 3’te gösterilmiştir (URL-3, 2020), (URL-4, 2020).



Şekil 3. Örnek bir Reküperatör Sistemi

2.1.2. Rejeneratörler

Sıcaklığın doğrudan ve hemen bir tür bölme duvarından yapılmadığı, her ikisi de eşanjörden aynı anda akan ve sıcak bir akışkandan soğuk bir akışkana aktarım yapıldığı sistemlerdir (Shah & Sekulic, 2003), (Bell, 1981), (Tsuzuki vd., 2007), (Kays & London, 1984). Rejeneratörlerde, sıcak ve soğuk sıvılar aynı anda ancak farklı bitişik kanallardan geçer (Altınışık, 2004). Bu tip ısı değiştiricilerde ısı alışverişi doğrudan olmayıp, genellikle ısı önce sıcak akışkan tarafından bir ortamda muhafaza edilir, daha sonra soğuk akışkana verilir. Şematik olarak gösterimi Şekil 4'te verilmiştir.

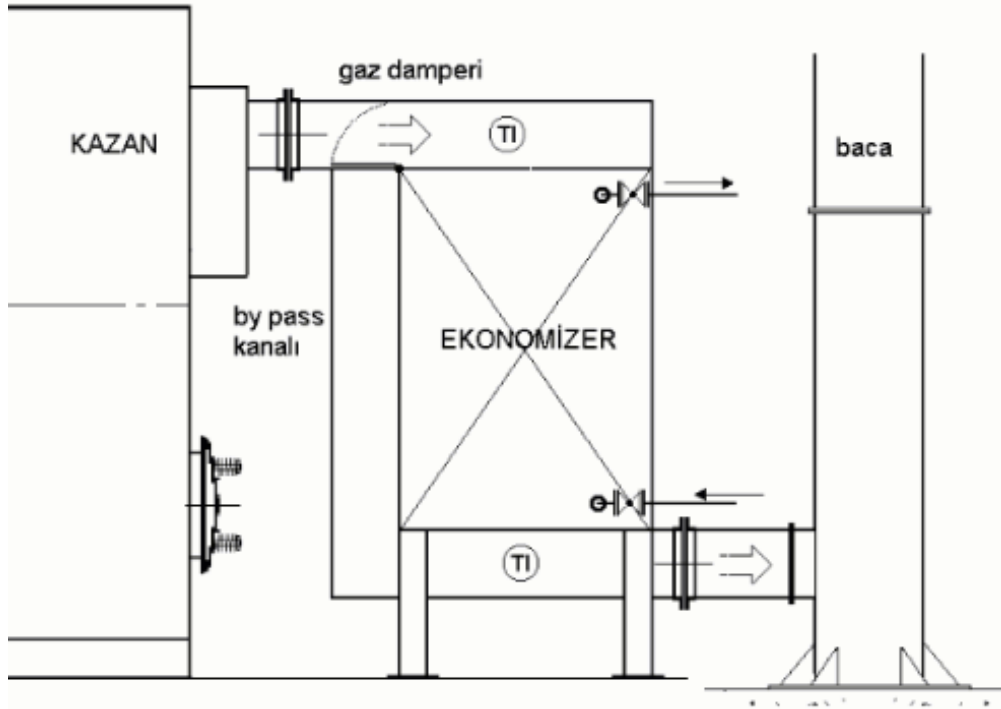


Şekil 4. Sabit Yatak Yenileyici Sistemi

Rejeneratör içinde ısının depolandığı elemanlara ise dolgu maddesi veya matris adı verilir. Isı bu dolgu malzemesinden geçen akışkana verilir. Isı önce sıcak akışkan tarafından depolanmakta, daha sonra soğuk akışkana verilmektedir. Bu tip ısı değiştiricilerde akışkanlar birbirleriyle temas etmezler (Altınışık, 2004).

2.1.3. Ekonomizerler

Ekonomizer ile ısı, buhar veya güç üretim tesislerinde kazanlardan/fırınlardan çıkıp bacaya giden sıcak duman gazları üzerinde bulunan ısının bir bölümünü geri kazanarak kazan veya tesis veriminde % 3 ile % 15 arasında verim artışı sağlanır. Verim artışına bağlı olarak yakıttan tasarruf elde edilir (URL-5, 2020). Ekonomizerler, fırınlardan çıkarak bacadan atılan gazların sahip olduğu ısının bir kısmını, kendi üstlerine alarak suya iletme, enerjiyi geri kazanmak amacıyla kullanılırlar. Şekil 5'te genel bir ekonomizer yerleşim şekli verilmiştir. Geri dönüştürülen ısı, kazan besleme suyuna aktarılabilir veya işletmede ısıtma, banyo, yıkama, vb. için kullanılan suya da aktarılabilir. Ekonomizer sisteminin bir diğer avantajı ise suyun ısıtılması esnasında, kazanda kirliliğe yol açacak yabancı maddelerin çökmesine ve kazana gitmeden sudan ayrışması sağlar. Ekonomizerde geri dönüştürülebilir ısı miktarı, kazan baca gazı çıkış sıcaklığına ve duman gazının ekonomizerden çıkış sıcaklığına bağlıdır. Kazandan duman gazı çıkış sıcaklığı, kazandaki ısı verime, kazan rejimine, kazan-brülör uyumluluğu ve yakıt cinsiyle ilişkilidir. Ekonomizer gaz çıkış sıcaklığı da, yakıt tipi ve ısının aktarılacağı akışkanın çalışma şartları ile ilişkilidir. Yani bir ekonomizerde geri kazanılabilecek ısının büyüklüğü, kazan duman gazı çıkış sıcaklığına bağlı olduğu gibi duman gazının ekonomizerden çıkış sıcaklığına da bağlıdır diyebiliriz.



Şekil 5. Genel bir ekonomizer uygulaması yerleşim şekli

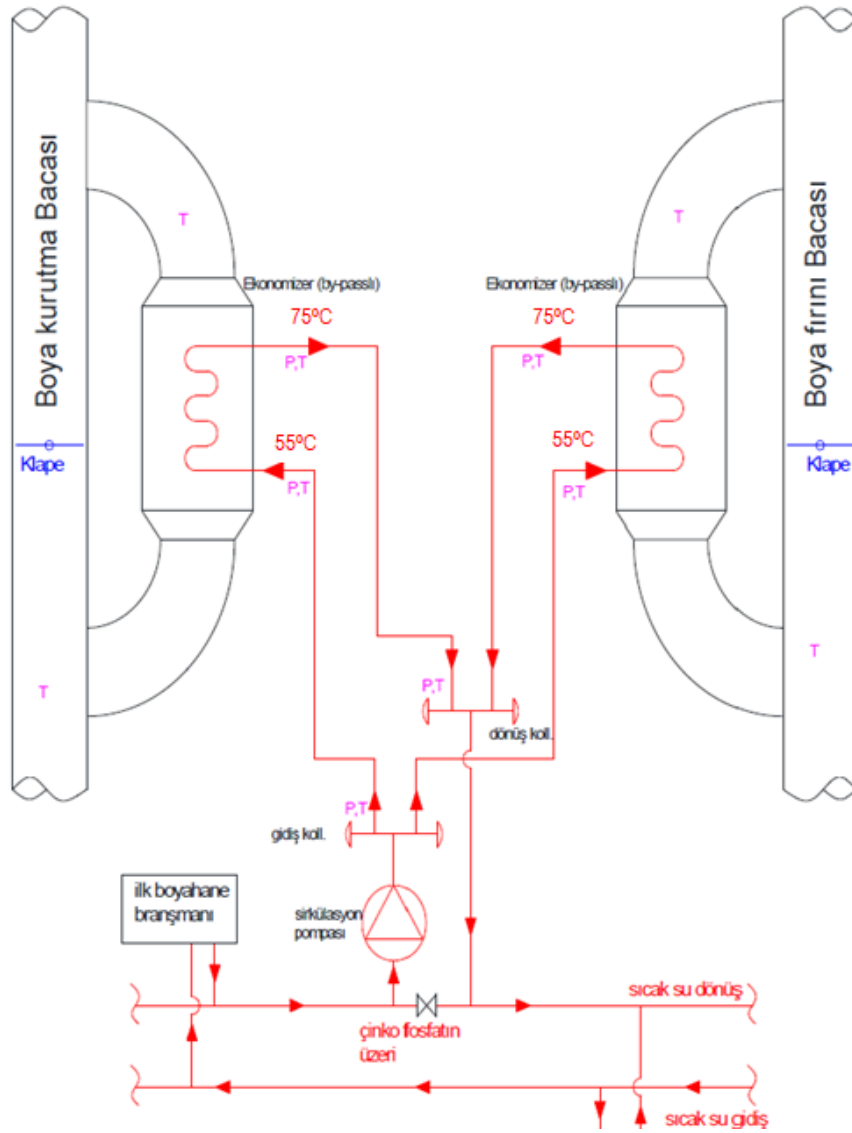
Ekonomizere giren ve çıkan duman gazları sıcaklıklarının farkı ne kadar büyük olursa verim artışı da o derece büyük olur. Ancak ekonomizer gaz çıkış sıcaklığı belli bir sıcaklığın altına indiğinde korozyona sebep olabilecek asit gazları yoğunlaşmaya başlamaktadır. Bunu önlemek adına atık gazların sıcaklıklarının belli bir derecenin altına indirilemeyeceği göz önüne tutulmalıdır. Bir duman gazı ısı geri kazanım sisteminde ulaşılacak baca gazı sıcaklığının minimum seviyesi, kullanılan yakıtın cinsine bağlıdır (URL-6, 2020).

Bu sıcaklıklar:

- Fuel oil yakıtlı kazanlarda 180°C, %1 Kükürlü 150°C.
- Motorin yakıtlı kazanlarda 150°C.
- Doğal gaz ve LPG yakıtlı kazanlarda 110°C'ye kadar düşürülebilir.
- Doğal gaz yakıtlı kazanlarda 50- 60°C ye kadar yoğunlaşmalı sistemlerde düşürülebilir. Bu durumda ekonomizer paslanmaz malzemeden imal edilmelidir.
- Daha az yakılan yakıt ile doğaya daha az CO₂ emisyonunu salınmaktadır. Daha çevreci sistemler oluşturulabilmektedir.
- Bir ekonomizerde, duman gazı giriş sıcaklığının doğalgaz ve benzeri gaz yakıtlı kazanlarda 140°C, motorin, fuel oil ve kömür yakıtlı kazanlarda 220°C ve daha büyük sıcaklıklarda ekonomik olarak yararlanmak mümkündür.
- Ekonomizer uygulama alanları oldukça geniştir. Önemli olan, sistemden geri kazanılan ısının, sistemin çalışma süresi boyunca kullanılmasıdır (Shah & Sekulic, 2003).

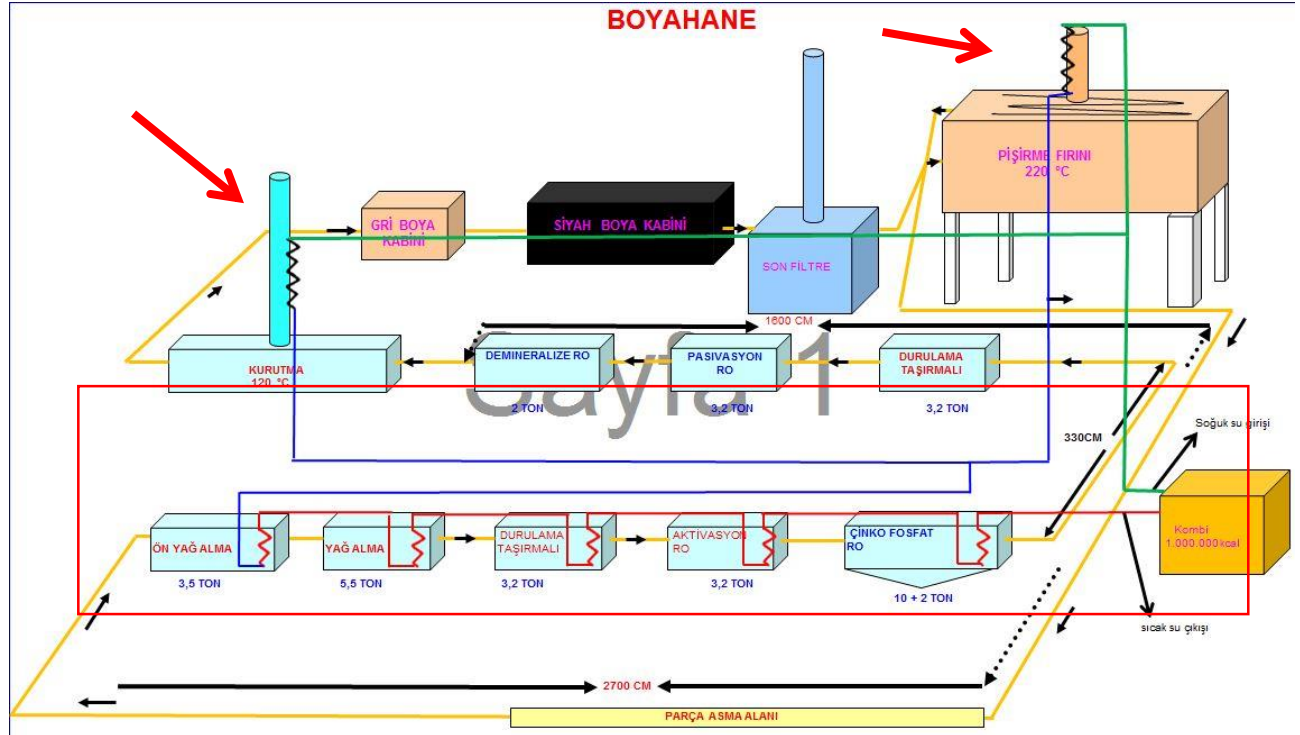
3. Analiz

Materyal ve yöntem başlığı altından incelenen ısı geri kazanım sistemleri yöntemleri içinden boyahane için en uygun sistem olarak ekonomizer sistemi tercih edilmiş ve Şekil 6'da gösterilen ekonomizer yapısı tasarlanmıştır. Şekil 2'de gösterilen tesisin bacalarına yerleştirilen ekonomizer sistemi ile yüzey işlem banyolarına sıcak su sağlayan sistemdeki geri dönüş suyu ısıtılarak kombinin suyu ısıtma aralığı azaltılmış ve atık ısıdan enerji geri dönüşümü sağlanmıştır (Ünlü, 2020).



Şekil 6. Atık ısı bacalarına uygulanan ekonomizer sistemi şematik gösterimi

Ekonomizer sistemi adaptasyonu sonucunda üretim alanındaki sıcak su tesisatının ve tesisin son durumu Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Ekonomizer ile enerji geri kazanım sistemi uygulanan tesisin şematik gösterimi

4. Bulgular ve Tartışma

Tasarlanan ekonomizer sisteminin ve boyahane tesisindeki enerji verimliliğine etkisi aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

4.1 Isıtma yükü hesaplamaları

Suyun ısı kapasitesi (C_p) 0-80 °C sıcaklık aralığında $1 \frac{\text{kCal}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$ olarak kabul edilmiştir.

$$\Delta T = T_1 - T_2 = 56,9 - 54,2 = 2,7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Anlık ısıtma yükü aşağıdaki gibi hesaplanmıştır (sıcak su sirkülasyon debisi ölçümler sonucu 68500 kg/h olarak ölçülmüştür).

$$\dot{Q} = m \cdot C_p \cdot \Delta T = 68500 \times 1 \cdot 2,7 = 184.950 \frac{\text{kCal}}{\text{h}}$$

Isıtma yükünün genel ortalaması için işletme doğalgaz tüketim değeri kullanılmıştır. Doğalgaz, fırın brülörleri dışında başka su ve ortam ısıtmasında da kullanılmaktadır. İşletmenin 2019 yılı ay bazındaki doğalgaz tüketim değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. 2019 doğal gaz tüketimleri

	kWh	TL
Ocak	953.727	80.809,15
Şubat	1.170.346	99.242,79
Mart	897.470	76.196,25
Nisan	800.397	68.068,37
Mayıs	643.419	54.748,57
Haziran	508.852	43.318,18
Temmuz	402.339	34.262,41
Ağustos	438.798	37.375,90
Eylül	338.823	28.861,18
Ekim	352.607	30.045,10
Kasım	582.060	49.615,64
Aralık	758.782	64.686,74
	kWh	
Ortalama	653.968	
En düşük	352.607	
Yaz ort.	466.446	

Boyahane yıllık çalışma süresi ortalama 300 gün/yıl olarak kabul edilmiştir. Aylık çalışma süresi ortalama 600 saat/ay olarak hesaplanmıştır.

Tablo 1'e göre mevsimsel değişikliklerindeki değişkenlikler ve üretim miktarlarındaki değişkenlikler göz önünde bulundurularak 300.000 kW-ay değeri alınmıştır.

Bu durumda, anlık ortalama tüketim= $300.000 \cdot 860 / 600 = 430.000 \text{ kcal/h} = 499,227 \text{ kW}$ olarak hesaplanır.

Bu tüketimin de yaklaşık %45'i sıcak su kazanına gitmektedir. Bu değer $430.000 \cdot \%45 = 193.500 \text{ kcal/h} = 224,67 \text{ kW}$ olarak hesaplanır.

Sonuç olarak debi ve sıcaklık ölçerek yapılan bu hesap $184.950 \text{ kcal/h} = 214,74 \text{ kW}$, doğal gaz tüketiminden giderek yapılan hesap $193.500 \text{ kcal/h} = 224,67 \text{ kW}$ vermektedir. Bu iki değer ortalama olan $189.225 \text{ kcal/h} = 219,711 \text{ kW}$ ısı enerjisi, bu tasarruf projesinde kazanılması beklenen kısmı oluşturmaktadır. Tablo 2 ve Tablo 3 ile toplam potansiyel tasarruf hesaplanmıştır.

Tablo 2. Boya kurutma fırını enerji geri kazanım hesap tablosu

Tasarım Parametreleri	Kısaltma	Değer	Birim
RS 50 285 - 630kW Saatlik yakıt miktarı $B_{hk} = \dot{Q}_k / (H_u \cdot \eta_k)$	B_{hk}	62,5	kg/h
Teorik Baca gazı ısısı $\dot{Q}_{bg} = V_{bg} \cdot c_p \cdot (T_{bg} - T_{min})$	$\dot{Q}_{bgk(teorik)}$	36,65	kW
Baca Gazındaki O ₂ Oranı (%)	y_k	11,86	%
Hava Fazlalık Katsayısı	r_k	2,3	
Özgül baca gazı hacmi	V_{bgk}	22,83	Nm ³ /kg
Baca gazı debisi $V_{bg} = B_h \cdot V_{bg}$	V_{bgk}	1.416	Nm ³ /h
Ekonomizer Verim	η_e	0,95	
Isıtılacak su giriş sıcaklığı:	T_{kg}	55	°C
Isıtılacak su çıkış sıcaklığı:	$T_{kç}$	75	°C
Isıtılacak su debisi:	\dot{m}_{kk}	1.200	kg/h
Baca gazı ısı miktarı ($\dot{Q}_{bgk(teorik)} \cdot \eta_e$)	\dot{Q}_{bgk}	34,821	kW
Sıcak su kazanı giriş çıkış sıcaklık farkı	$\Delta T_{kç-kg}$	20	°C
Baca gazı sıcaklığı	T_{bgk}	190,8	°C
Atmosfere atılabilecek baca gazı sıcaklığı	T_{min}	120	°C
Ortalama sıcaklık $T_{ort} = (T_{bg} + T_{min}) / 2$	$T_{ort,k}$	154,2	°C
Ort. Sıcaklıkta baca gazı ısınma ısısı	c_p	0,326	kcal/Nm ³ °C
Baca gazı ısısı $Q_{gk} = V_{bg} \cdot c_p \cdot (T_{bg} - T_{min})$	\dot{Q}_{bgk}	36,653	kW
Ekonomizere Baca Gazı Giriş Sıcaklığı	T_{1ggk}	190,8	°C
Ekonomizerden Baca Gazı Çıkış Sıcaklığı	$T_{2gçk}$	120	°C
Ekonomizere Su Giriş Sıcaklığı	T_{3sgk}	55	°C
Ekonomizerden Su Çıkış Sıcaklığı	$T_{4sçk}$	75	°C
Logaritmik Sıcaklık Farkı	ΔT_{mk}	84,9	°C
Isı Transfer Katsayısı (iletim ile)	K	0,0232	W/m ² °C
Isı Transfer Yüzey Alanı	A_k	18,6	m ²
Yanma verimi	η_k	90	%
Yakıt alt ısı değeri (Doğalgaz)	H_u	8.250	kcal/Sm ³
Geri kazanılan ısı	S_{Qk}	31,046	kW
Saatlik yakıt tasarrufu	G_k	4,18	m ³ /h

Tablo 3. Boya pişirme fırını enerji geri kazanım hesap tablosu

Tasarım Parametreleri	Kısaltma	Değer	Birim
Baltur TBG 85PN 170-850kW Saatlik yakıt miktarı $B_{hp} = Q_k / (H_u \cdot \eta_k)$	B_{hp}	80	kg/h
Baca gazı ısısı $Q_{bg} = V_{bg} \cdot c_p \cdot (T_{bg} - T_{min})$	\dot{Q}_{bgk}	56,85	kW
Baca Gazındaki O ₂ Oranı	y_p	1,86	%
Hava Fazlalık Katsayısı	r_p	1,1	
Özgül baca gazı hacmi	v_{bgp}	11,45	Nm ³ /kg
Baca gazı debisi $V_{bg} = B_h \cdot v_{bg}$	V_{bgp}	916	Nm ³ /h
Ekonomizer Verim	η_e	0,95	
Isıtılacak su giriş sıcaklığı:	T_{kg}	55	°C
Isıtılacak su çıkış sıcaklığı:	$T_{kç}$	75	°C
Isıtılacak su debisi:	\dot{m}_{kp}	1.861	kg/h
Baca gazı ısı miktarı	\dot{Q}_{bg}	54,017	kW
Sıcak su kazanı giriş çıkış sıcaklık farkı	$\Delta T_{kç-kg}$	20	°C
Baca gazı sıcaklığı	T_{bgp}	306	°C
Atmosfere atılabilecek baca gazı sıcaklığı	T_{min}	120	°C
Ortalama sıcaklık $T_{ort} = (T_{bgp} + T_{min}) / 2$	$T_{ort, p}$	202	°C
Ort. sıcaklıkta baca gazı ısınma ısısı	c_p	0,326	kcal/Nm ³ °C
Baca gazı ısısı $Q_{gp} = V_{bgp} \cdot c_p \cdot (T_{bgp} - T_{min})$	\dot{Q}_{gk}	56,85	kW
Ekonomizere Baca Gazı Giriş Sıcaklığı	T_{1ggp}	306	°C
Ekonomizerden Baca Gazı Çıkış Sıcaklığı	$T_{2gçp}$	120	°C
Ekonomizere Su Giriş Sıcaklığı	T_{3sgp}	55	°C
Ekonomizerden Su Çıkış Sıcaklığı	$T_{4sçp}$	75	°C
Logaritmik Sıcaklık Farkı	ΔT_{mp}	121,5	°C
Isı Transfer Katsayısı (iletim ile)	K	0,0232	W/m ² °C
Isı Transfer Yüzey Alanı	A_p	20,1	m ²
Yanma verimi	η_k	90	%
Yakıt alt ısıl değeri (Doğalgaz)	H_u	8.250	kcal/Sm ³
Geri kazanılan ısı	S_{Qp}	61,32	kW
Saatlik yakıt tasarrufu	G_p	7,11	m ³ /h

Gelecek durum şemasına göre Toplam Enerji Tasarrufu ve Yatırım Amortismanı hesaplamaları şu şekilde yapılır;

Şekil 6'da gösterilen iki fırın ekonomizerinde;
Toplam $52.280 + 31.046 = 83.326$ kcal/h=96,75 kW enerji kazanılır.

Bu enerji geri kazanımı sayesinde doğalgaz yakıtlı sıcak su kazanı gaz tüketiminden;
 $7,11 + 4,18 = 11,29$ Sm³/h tasarruf sağlanmaktadır.

Doğal gaz alt ısıl değeri 8.250kcal/Sm³ için; $11,29 \cdot 8.250 / 860 = 108,3$ kWh ısı geri kazanılmaktadır.

2019 Ocak ayı için KDV hariç birim kWh maliyeti 0,129 TL/kWh' tir.

Bu değere göre saatlik tasarruf $108,3 \cdot 0,129 = 13,97$ TL/h edilmektedir.

Bu durumda yıllık tasarruf da $300\text{gün} \cdot 24$ saat olarak tanımlanır.

Bu değerlerle yıllık kazanç $13,97 \cdot 300 \cdot 24 = 100.590$ TL/Yıl olacaktır.

Bunu da USD dolar cinsinden, 1 USD yi 6,50 TL kabul ederek (27 Mart 2020 TCMB kuru), 15.475 USD/Yıl olarak hesaplayabiliriz.

Bu işin yaklaşık yatırım maliyeti 45.000 USD olarak hesaplanmıştır. Yukarıdaki tasarruf hesabına göre amortisman süresi $45.000 / 14.475 = 2,90$ yıl olarak hesaplanmıştır.

5. Sonuçlar ve Öneriler

Yapılan çalışmalar ve hesaplamalar sonucunda, atık ısıdan enerji kazanımı uygulamasının yapılacağı kısım boya kurutma fırını ve pişirme fırını olarak tespit edilmiştir. Atık ısı geri kazanımı uygulamasının yapılmasına karar verildikten sonra, ısı değiştirici tiplerinden ekonomizerin kullanılması, ilk yatırım maliyetinin düşük olması ve amortisman süresinin buna bağlı olarak kısa olmasından dolayı daha uygun bulunmuştur. Bunlara ek olarak da kullanılacağı yer açısından en uygun ısı değiştirici tipi ekonomizer olup sanayide yaygın olarak bulunmasından dolayı bakım onarım faaliyetleri daha kısa süreli ve düşük maliyetlidir.

Bu ölçümlerden ve hesaplamalardan elde edilen sonuçlara göre; kurutma fırınından saatlik 4,04 m³ yakıt tasarrufu, pişirme fırınından ise saatlik 6,27 m³ yakıt tasarrufu sağlanacağı hesaplanmıştır. Uygulanacak 2 ekonomizer ile toplamda elde edilen 10,31 m³ saatlik yakıt tasarrufu sayesinde tesisin doğalgaz tüketiminin %10-12 arasında azalacağı ve yatırımın amortisman süresinin 2,76 yıl olacağı hesaplanmıştır.

Buradan da görüleceği gibi hangi tür için hangi sistem kullanılırsa kullanılsın günümüzde enerji fiyatlarının durumu nedeniyle ısı geri kazanımı için harcanacak yatırımların kısa sürede kendini amorti edip devamında kazanç sağlayacağı aşikârdır.

Ayrıca bu tarz tasarruf projelerinin çevre konusunda da etkileri olmaktadır. Doğaya salınan atık gazların sıcaklığının %50 ye varan oranda azaltılacak olması özellikle küresel ısınma kavramının gündemden düşmediği günümüzde oldukça olumlu bir durumdur. Ayrıca kapsamında doğalgaz tüketiminin belirtilen oranda azalmasıyla birlikte doğaya salınan CO₂ miktarının da %10-12 arasında azalacağı görülen bir gerçektir.

Bu tarz enerji geri dönüşüm çalışmaları; gerek maliyetlerin azaltılması gerekse de çevre konusunda salınımların azaltılması başlıklarında etkili sonuçlar elde edilecek çalışmalardır.

Yapılacak olan bu ekonomizer uygulamasını takiben, yine enerjinin verimli kullanılması noktasında aşağıdaki öneriler sunulmuştur;

- Boyahane pişirme fırınına ısı yalıtımı uygulaması yapılmalıdır. Bu sayede brülörlerin çalışma frekansı düşecek ve dolayısı ile doğalgaz tüketiminde azalma sağlanmış olacaktır.
- Sıcak su kazanına giren ve kazandan çıkan suyun sıcaklık farkının artırılarak, yani ΔT 'nin büyütülerek kazan veriminin artmasını sağlamaktır. Burada su debisinin de etkisi göz ardı edilmemelidir.
- Pişirme fırını brülöründen çıkan atık baca gazı ile elde edilen sıcak havanın, parça kurutma bölgesinde kullanılması durumunun analiz edilmiştir. Bu sayede kurutma fırınında mevcutta bulunan brülörün iptalinin sağlanması ya da çalışma frekansının azaltılması ile tasarruf sağlanabilir.

Kaynaklar

1. Altınışık K. (2004). Uygulamalarla Isı Transferi, Nobel Yayın Dağıtım.
2. Bahar, O. (2005). Türkiye'de Enerji Sektörü Üzerine Bir Değerlendirme, Muğla Üniversitesi SBE Dergisi, (14), 35-59.
3. Bell, K.J. (1981). Delaware method for shell side design. in: S. Kakac, A.E. Bergles, F. Mayinger (Eds.), Heat Exchangers: Thermalehydraulic Fundamentals and Design. Hemisphere, New York, pp. 581-618.

4. **Gurbuz, A. (2009).** Enerji Piyasası İçinde Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Yeri ve Önemi, Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 1-7, Karabük.
5. **Kays, V.M. & London, A.L. (1984).** Compact Heat Exchanger, third ed. McGraw-Hill, New York.
6. **Shah, R.K. & Sekulic, D.P. (2003).** Fundamentals of Heat Exchanger Design, first ed. Wiley, New York, 378-381.
7. **Tsuzuki, N., Kato, Y. & Ishizuka, T. (2007).** High performance printed circuit heat exchanger, Appl. Therm Eng. 27, 1702-1707.
8. **URL-1 (2020).** https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/6_dunyadaveturkiyede.pdf
9. **URL-2 (2020).** <https://www.termodinamik.info/atik-isi-geri-kazanim-sistemleri>
10. **URL-3 (2020).** <http://www.vat.com.tr/tr/rekuperator-nedir-nasil-calisir/>
11. **URL-4 (2020).** <http://www.thermopedia.com/content/1087>
12. **URL-5 (2020).** <https://www.vat.com.tr/tr/ekonomizer-atik-isinin-geri-kazanilmasi/>
13. **URL-6 (2020).** http://www.demirmakina.com/DEMIR%20MAKINA_Ekonomizerler.html <https://arge7.com/detay2.asp?id=3370>
14. **Ünlü, O. (2020).** Endüstriyel Toz Boya Tesisindeki Verimlilik İncelemesi Teknik Raporu.
15. **Yılmaz, M. (2012).** Türkiye'nin Enerji Potansiyeli ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Açısından Önemi, Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi, (4), 33-54.