

BİR YERALTI KÖMÜR İŞLETMESİNDE KOMPRESÖR SOĞUTMA SUYU İSİSİNDAN İSİ POMPASIYLA SICAK SU ELDESİ

Obtaining Hot Water from The Compressor Cooling Water by Heat Pump in an Underground Coal Facilities

Mustafa EYRİBOYUN
Gültekin KARA

ÖZET

Zonguldak'ta faaliyet gösteren Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK) işletmelerinde, yeraltında, kömür kazısında kullanılan martapikörler için basınçlı hava üreten 21 adet kompresör bulunmaktadır. Bunların 11 adedi 7500 m³/h, 10 adedi 5000 m³/h debide, 7.5 kg/cm² basınçta hava vermektedir. Kompresörler ara soğutmalı olup, soğutma suyu bir ısı değiştiricisinde, soğutma kulesinden gelen başka bir su ile soğutulmuş devridaim çalışmaktadır. Soğutma suyu debisi ortalama bir işgününde 15 kg/s, sıcaklık farkı 7 K'dir. Kompresörlerden dördü kuruma bağlı Üzülmüş İşletme Müdürlüğü bünyesinde çalışmaktadır. Üç vardiya çalışan işletmede, 08:00-16:00 vardiya bitiminde aynı anda 800 kadar işçi banyo yapmaktadır. Banyo için gerekli sıcak su kömürlü kazanlar ile ısıtılmakta ve boylerlerde toplanmaktadır. Kişi başına yaklaşık 55 litre olmak üzere, toplam 44000 litre su, 10 °C'den 50 °C'ye ısıtılmaktadır. Bu çalışmada, kompresör soğutma suyunun soğutma kulesi vasıtasıyla soğutulması yerine, bir ısı pompası ile soğutulması ve bu sırada elde edilen sıcak suyun işçi banyosunda kullanılmasının, termodinamik ve ekonomik analizi yapılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Su kaynaklı ısı pompası, Kompresör soğutma suyu, Atık ısı değerlendirme, Enerji ekonomisi.

ABSTRACT

Turkey Hard Coal Enterprises (TTK) operating in Zonguldak has 21 compressor for producing compressed air used in the pick hammer for excavation of coal. 11 of them are 7500 m³/h and 10 of them 5000 m³/h air flow rate and 7.5 kg/cm² pressure. The compressors are intercooled and the cooling water is recirculated in a heat exchanger by cooling with another water from the cooling tower. The average cooling water flow rate is 15 kg/s for ordinary working day and temperature difference is 7 K. Four of the compressors work within the Üzülmüş Branch. At the end of the shift of 08:00-16:00 at the three-shift enterprise, around 800 workers are bathing at the same time. The hot water required for the bath is heated with coal fired boilers and collected in boilers. About 55 liters water per person (total 44000 liters) is heated from 10 °C to 50 °C. In this study, the thermodynamic and economic analysis of the cooling of the compressor cooling water with a heat pump instead of being cooled by the cooling tower and the use of the hot water obtained in this process in the worker bath were investigating.

Key Words: Water source heat pump, Compressor cooling water, Waste heat evaluation, Energy economy.

1. GİRİŞ

Atmosferde sera gazlarının ve aerosollerin yoğunluğunun artması güneş ışınlarında ve yeryüzünün özelliklerinde meydana gelen değişiklikler dünya iklim sistemini değiştirmektedir. Bu değişikliğin, orman yangınları, yanardağ püskürmeleri gibi doğal faktörlerden ziyade insan faaliyetlerinden

kaynaklandığı artık bilim çevrelerince tartışmasız kabul görmektedir. Bunun en basit göstergelerinden biri Sanayi Devrimi öncesindeki bin yıl boyunca yeryüzü ortalama sıcaklığındaki artış değerinden daha fazlasının son iki yüz yılda gerçekleşmiş olmasıdır. Bunda, sanayileşme ile enerjiye olan talebin artışıyla, fosil yakıtlara talebin de artması büyük rol oynamaktadır. Yeme içme, giyim kuşam, gezme görme, günlük yaşamda kullanılan araç gereç gibi akla gelebilecek her alanda insanların yaşam tarzları değişmiş ve 'her yeni'lik yeni enerji gereksinimi doğurmuştur. Bu kısır döngünün fark edilmesiyle bireysel, kurumsal, kamu, özel ayırımı gözetmeksizin yeryüzündeki her bireyin katkı verebileceği küresel çözüm arayışları başlamıştır.

1850'li yıllarda başlayan sanayileşme öncesi ortalama 280 ppm (milyonda parçacık sayısı) olan atmosferik küresel karbondioksit yoğunluğu, 1980'li yıllarda 350 ppm'i geçti ve bugün, 2013 yılı Mayıs ayında günlük ölçümlerde 400 ppm değeri görülmeye başlandı. IPCC, 2007 yılında yayımladığı dördüncü değerlendirme raporunda, iklim değişikliğine karşı mücadele etmek ve zararlı etkilerini en aza indirmek için, çeşitli senaryolar çalıştı. Bu senaryolardan en önemlisi, küresel salımların 450 ppm'in altında sabitlemekti. IPCC'nin 450 ppm senaryosu temelde küresel sıcaklık artışını 2°C'de sınırlama üstüne kuruluydu. Bilim insanları tarafından yapılan çalışmalar, böylesi bir süreçte iklim dengelerinin insanlığa ciddi bir yıkım yaratmaması için küresel salımların 2020'ye kadar %25-40 seviyesinde, 2050 yılına kadar %90 seviyesinde azaltımını öngörmektedir.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün Türkiye için üç farklı model ile yaptığı iklim modellemelerinde 2100 yılına kadar her bölgede farklı değerlerde olarak, bütün bölgelerde yaz ve kış sıcaklıklarında 2 ila 5 °C arasında artışlar öngörülmektedir. Aynı modeller, yağış miktarlarında da %30'lara varan azalma olacağı sonucunu vermektedir [1].

Yukarıda verilen bilgiler dikkate alındığında, Türkiye'nin iklim değişikliğine sebep olan faktörleri azaltma yönündeki küresel çabalara etkin bir şekilde katılması kaçınılmazdı. Nitekim Türkiye, 24 Mayıs 2004 tarihinde Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne (BMİDÇS), 26 Ağustos 2009 tarihinde ise Kyoto Protokolüne taraf olarak iklim değişikliğine yönelik yürütülen küresel mücadelede yerini almıştır [2]. Türkiye, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinden en çok etkilenecek bölgeler arasında yer alan Akdeniz Havzasında yer almaktadır. (IPCC 4. Değerlendirme Raporu-2007).

İklim değişikliğinin başlıca sebeplerinden biri atmosferde karbondioksit (CO₂) miktarının artışıdır. Bunun asıl kaynağı da hidrokarbon içerikli fosil yakıtların yakılmasıdır. CO₂, aktif yanardağlardan, jeotermal kaynaklardan ve orman yangınlarından da çıkmaktadır ancak son yüzyıldaki artışın aslen insan faaliyetlerinden kaynaklandığı kabul edilmektedir. Bu da insan faaliyetlerini kontrol ederek, sera etkisine ve küresel ısınmaya sebep olan gazların salımına sınırlama getirilmesi anlayışını doğurmuştur.

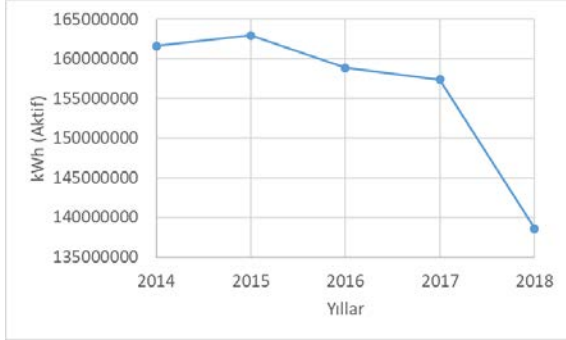
Günümüz dünyasında "insan faaliyetlerini kontrol" derken anlaşılması gereken onun gereksiz tüketimine engel olmak değil, o tüketim maddelerinin üretiminde özgül enerji sarfiyatını azaltmak anlaşılmalıdır. Bu çalışmanın amacı işte bu düşünceden hareketle; kömür üretimi yapan bir şirket bünyesinde ısı geri kazanımı yaparak özgül enerji tüketimi ve CO₂ salımını azaltıcı yönde öneri geliştirmektir.

2. TTK ve ENERJİ KULLANIMI

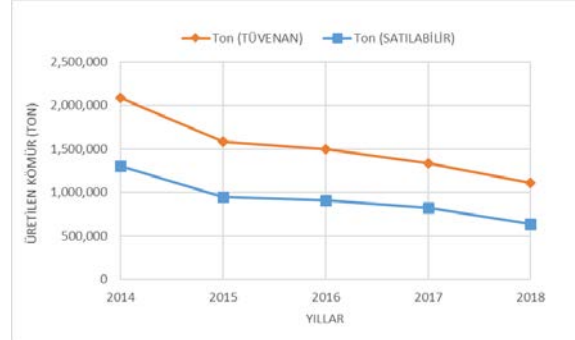
TTK, yeraltından taşkömürü çıkaran bir kurum olarak kendisi de ciddi bir enerji tüketicisi durumundadır. Özellikle yeraltı madenciliği, kömüre ulaşıncaya kadar yapılması gereken kazı işlemleri, kömürün kazılması ve yeryüzüne taşınması, dışarı çıkarılan kömürün beraberinde gelen taş vs.den arındırılması gibi işlemlerin her biri enerji harcamayı gerektirmektedir. Kömür kazısında çalışan işçilerin vardiya sonunda banyo yapması, işin niteliği gereği kaçınılmazdır.

Şekil 1. (a)'daki grafik incelendiğinde TTK'nın harcadığı yıllık toplam enerjinin son beş yıl boyunca azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Bununla beraber aynı yıllar içinde üretilen tuvenan (yeryüzüne çıktığı haliyle) ve satılabilir (içindeki taşlar ayrılmış, yıkanmış) kömür miktarının da azaldığı **(b)** ve her bir ton kömür için harcanan enerjinin yıldan yıla arttığı görülmüyor **(c)**. Son beş yılda aynı

miktar kömür üretmek için her yıl, bir öncekinden daha fazla enerji harcanmıştır. Sonuç olarak toplam enerji sarfiyatındaki azalmanın enerji verimliliği artışından değil, kömür üretim faaliyetlerinin azalmasından kaynaklandığı söylenebilir. Bunda, son yıllarda kurumda çalışan üretim işçisi sayısının giderek azalması önemli bir etkidir. Çünkü yeraltı madenciliği; hiç kömür üretimi yapılmasa dahi ocakların havalandırılması, su atımı ve ulaşım gibi alanlarda belirli bir düzeyde enerji harcamayı zorunlu kılan faaliyet alanı olduğundan harcanan enerji azalan kömür üretimi oranında azalmamaktadır.



(a)



(b)

Şekil 1. TTK'nın enerji sarfiyatı ve kömür üretiminin son beş yıllık seyri.

(a): kWh olarak harcadığı toplam aktif enerji.

(b): Ürettiği (tuvenan) ve satılabilir kömür miktarı.

(c): Üretilen her bir ton tuvenan ve satılabilir kömür için tükettiği enerji (özgül enerji) miktarının son beş yıllık değişimi.

(TTK internet sitesinde yayınlanan İstatistik Yıllıkları'ndan [3] alınan bilgilerle düzenlenmiştir.)



(c)

Tablo 1. TTK işyerlerindeki kompresörlerin sayıları ve bazı değerleri [Kurum içi kaynaklardan].

Müessese Adı	Birim	Birim Güç	Toplam Güç	Birim Hava Debisi	Fiili Hava Kapasitesi	Soğutma Kulesine Giden Soğutma Suyu Debisi		Sıcaklık Farkı
	Adet	kW	kW	m ³ /saat	m ³ /saat	m ³ /saat	kg/s	K
Amasra	3	500	1500	5000	10000	200	55.56	6 ÷ 8
Armutçuk	3	500	1500	5000	10000	200	55.56	6 ÷ 8
Karadon*	7	750	5250	7500	49000	600	166.67	6 ÷ 8
Kozlu	4	750	3000	7500	15000	250	69.44	6 ÷ 8
Üzülmez	4	500	2000	5000	10000	60	16.67	6 ÷ 8

*: Eski oldukları için pek kullanılmayan, her biri 28000 m³/saat kapasiteli, 5600 kW motor gücüne sahip iki ayrı kompresör daha mevcuttur.

Kurumun enerji tüketiminde kompresörler önemli bir paya sahiptirler. TTK işyerlerindeki kompresörlerin sayıları, güçleri ve bazı değerler **Tablo 1**'de verilmiştir. Karadon İşletmesi'ndeki pek kullanılmayan iki eski kompresör dışında 10 adet 500 kW'lık, 11 adet 750 kW'lık olmak üzere toplam 21 kompresör bulunmaktadır. Bunların kurulu güçleri, toplam 13250 kW'dır. Bu 21 kompresörün hepsi de ara soğutmalı, iki kademeli vidalı kompresörlerdir. Ayrıca kompresör ikinci kademesini terk eden basınçlı havanın sıcaklığı 100 °C'nin üzerine çıktığı için yeraltına gönderilmeden önce son soğutmaya

tabi tutulmaktadır. TTK genelindeki kompresörlerden 500 kW'lık 6 adedi ve 750 kW'lık 8 adedi Pazar günleri dışında hemen her gün çalışmaktadır. Pazar günleri her işletmede birer kompresör çalıştırılması yeterli olmaktadır. Buradan anlaşılacağı üzere TTK'nın toplam enerji sarfiyatının yaklaşık üçte biri kompresörlerin harcadığı enerjiden kaynaklanmaktadır. Havanın ara ve son soğutması soğutma kulesi ile yapılmaktadır.

2.1. TTK Üzülmez İşletmesi

TTK'ya bağlı beş işletmeden biri olan Üzülmez İşletmesi, üç vardiya halinde toplam 1250 kişinin çalıştığı bir işyeridir. İşletmenin 2014-2018 yılları arasında ürettiği kömür miktarı ve bir ton kömür başına tükettiği enerji miktarları **Tablo 2**'de verilmiştir. Genel eğilim **Şekil 1**'de verilen durumla aynıdır. İşletmede, **Tablo 1**'den görüldüğü gibi 4 adet 500 kW'lık kompresör bulunmaktadır. Bu kompresörlerden ikisi haftanın altı günü sürekli çalışmaktadır. Pazar günleri yalnız biri çalışmakta, bazı günler üçüncü kompresöre de gereksinim duyulmaktadır.

Tablo 2. TTK Üzülmez İşletmesi kömür üretimi ve özgül enerji sarfiyatı değerleri. [TTK internet sitesinde yayınlanan İstatistik Yıllıkları'ndan alınan bilgilerle düzenlenmiştir.]

Yıllar	Üzülmez Kömür Üretimi (ton)		Özgül Enerji Tüketimi (kWh/ton)	
	Tuvenan	Satılabilir	Tuvenan	Satılabilir
2014	482,050	303,968	50.14	79.52
2015	363,965	228,683	64.98	103.42
2016	350,765	235,109	61.19	91.29
2017	346,005	239,715	66.46	95.93
2018	246,315	146,059	86.00	145.00

2.2. Hava Kompresörleri ve Soğutma Sistemi

Yeraltı kömür madenciliğinde galeri (kömüre giden ana tüneller) açma ve kömür kazısı işlerinde kullanılan delici, kırıcı, taşıyıcı tüm araç gereç; metan deşarjı sonucu grizu patlaması riskine karşı alev sızdırmaz özellikte olmalıdır. Bu nedenle basınçlı hava ile tahrik edilen araçlar kullanılır. Basınçlı hava yerüstünde kurulu kompresör tesislerinde üretilir ve borularla yeraltına taşınır. Basınç gereksinimi genellikle 7.5 bar olmaktadır. Debi ise gün içinde vardiyadan vardiyaya ve hatta aynı vardiya içinde değişken olabilmektedir.

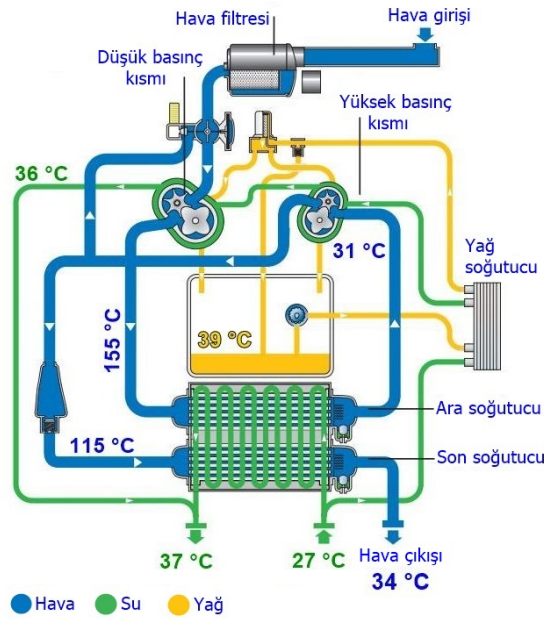
Bu çalışma, TTK işyerlerinden sadece Üzülmez İşletmesi'ndeki sistem üzerine yapılmıştır. Burada birbirinin aynı özellikte dört adet vidalı kompresör bulunmaktadır. Kompresörlerin her biri için üretici firma tarafından verilen katalog değerleri şu şekildedir: Motor gücü 500 kW, debisi 1399.1 litre/saniye (5036.76 m³/h=83.95 m³/dak), çalışma basıncı 7.5 bar. Bu verilere göre özgül güç 5.96 kW/(m³/dak) olmaktadır.

Kompresör ve soğutma sistemi üzerinden her saat başı okunan sıcaklık ve basınç değerleri düzenli olarak kaydedilmektedir. Kayıt cetvelinden örnek **Şekil 2**'de, okunan değerlerin sistem üzerindeki yerleri de **Şekil 3**'de gösterilmiştir.

Birinci kademedan (*Alçak Basınç Kısmı*) çıkan hava ikinci kademeye (*Yüksek Basınç Kısmı*) girmeden önce sıkıştırma işini azaltmak için ikinci kademedan çıkan hava, taşıma hatlarında ve yeraltında tehlike arz etmemesi için soğutulmaktadır. Kompresör yağlama yağını, gövdesini ve basınçlandırılan havayı soğutma işlemi bir plakalı ısı değiştiricisi üzerinde kapalı devre çalışan soğutma suyu ile yapılmaktadır. Plakalı ısı değiştiricisinde diğer akışkan (ısı alan), yeraltı suyuna kimyasallar katılarak elde edilmiş sudur. Bu su da doğal çekişli bir soğutma kulesinde soğutulmaktadır. Soğutma kulesi beş yıl kadar önce kompozit malzeme kullanılarak tamamen yenilenmiştir. Sistemin mevcut hali **Şekil 4**'te gösterilmiştir.

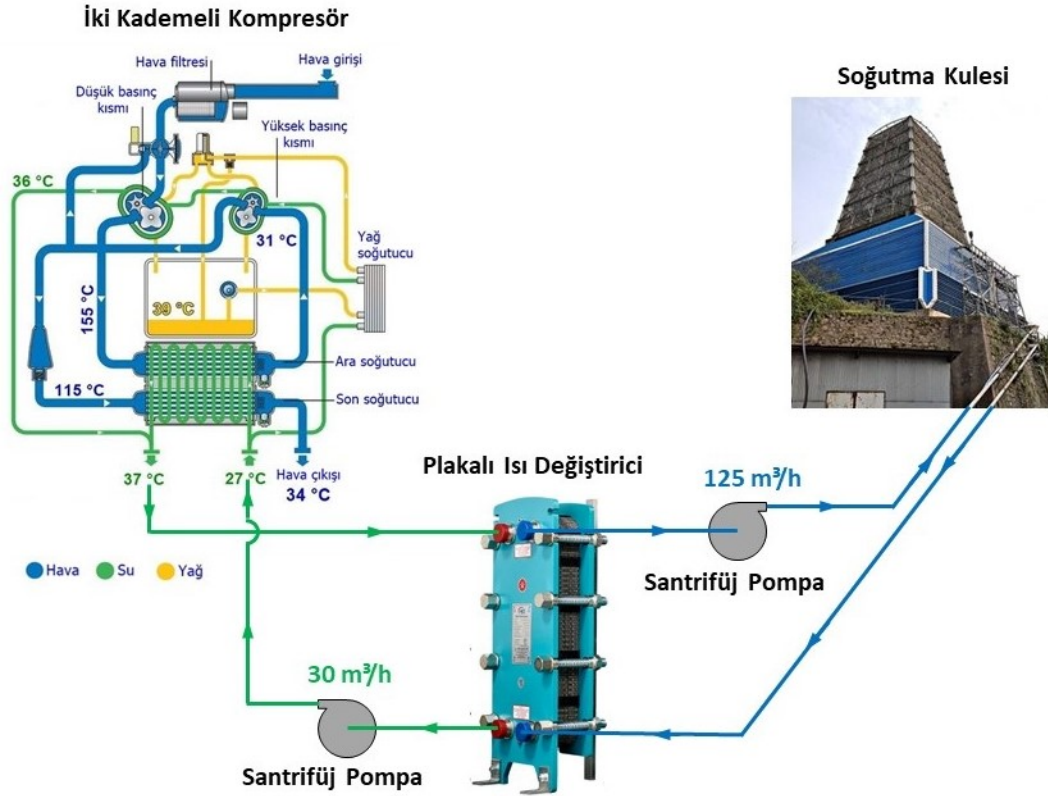
TTK ÜZÜLMEZ MÜESSESE MÜDÜRLÜĞÜ S 98		SERİ NUMARALI KOMPRESÖRE AİT DEĞİTLER TABLOSU (KOMP...)																				Ta		
Tarih: 22 Ekim 2018																								
KAYIT SAATI	ÇALIŞMA BASINCI	HAVA/FİLTRESİ	YAĞ	ARA SOĞUTUCU	KOMPRESÖR ÇIKIŞI	ELEMENT 1 ÇIKIŞI	ELEMENT 2 ÇIKIŞI	ELEMENT 2 GİRİŞİ	SOĞ. SUYU GİRİŞİ	SOĞ. SUYU ÇIKIŞI	SOĞ. SUYU ÇIKIŞI	SOĞ. SUYU ÇIKIŞI	YAĞ SICAKLIĞI	SARGI SICAKLIĞI - U2	SARGI SICAKLIĞI - V2	SARGI SICAKLIĞI - W2	MOTOR RULMAN SICAKLIĞI	MOTOR RULMAN SICAKLIĞI	MOTOR RULMAN SICAKLIĞI	ÇALIŞMA SAATI	YÜKTE ÇALIŞMA SAATI	SOĞUTMA SUYU BASINCI	SU SERTLİĞİ	PH
Bar	mBar	Bar	Bar	Bar	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	Saat	Saat	Bar	Damla	
00.00	5,0	12	2,58	2,2	34	155	115	31	27	36	37	37	39	87	92	85	66	50	84	6	798	78		
01.00	5,2	12	2,58	2,2	34	156	119	31	28	37	38	40	39	87	92	86	66	50	84	6	798	78		
02.00	5,4	12	2,58	2,2	35	157	121	32	28	37	38	40	39	87	92	87	66	51	84	6	798	78		
03.00	5,4	12	2,58	2,2	35	155	119	30	27	36	36	39	38	87	92	87	66	51	84	6	798	78		
04.00	5,4	12	2,58	2,2	33	155	113	30	27	36	36	39	38	87	92	87	66	51	84	6	798	78		
05.00	5,4	12	2,58	2,2	33	155	113	30	27	36	36	39	38	87	92	87	66	51	84	6	798	78		
06.00	5,4	12	2,58	2,2	33	155	113	30	27	36	36	39	38	87	92	87	66	51	84	6	798	78		
07.00	5,4	12	2,58	2,2	33	154	111	30	27	35	35	38	38	87	92	86	66	50	84	6	798	78		

Şekil 2. Tipik bir çalışma günü için kaydı tutulan basınç ve sıcaklık değerleri.



Şekil 3. 22 Ekim 2018, saat 00:00 için kaydedilen sıcaklık değerlerinin (Şekil 2) sistem üzerinde gösterilmesi. (Resim, https://www.atlascopco.com/air/documents/ZR_ZT_300-900_leaflet_EN_2935036620.pdf adresindeki broşürden alınarak düzenlenmiş ve üzerine sıcaklıklar yazılmıştır.)

Soğutma kulesinde buharlaşma yoluyla eksilen su, ocaktan gelen sudan tamamlanmaktadır. Yeraltından pompalarla yeryüzüne basılan su önce bir havuzda dinlendirilmekte sonra içine gerekli kimyasallar katılarak soğutma sisteminde ve işçi banyolarında kullanılacak özelliklere getirilmektedir. Suya otomatik klorlanma uygulanmakta ve ayrıca çöktürücü ve yosun önleyici kimyasallar katılmaktadır. Kullanılan kimyasallar ve miktarları şöyledir: Sülfürik asit 30 litre/ay (otomatik dozajlama ile), 1920 çöktürücü 1.5 litre/gün, 1964 çöktürücü 1.5 litre/gün.



Şekil 4. Mevcut durum.

2.3. İşçi Banyoları

Tüm ocaklarda olduğu gibi burada çalışan işçiler de mesai bitiminde banyo yapmaktadırlar. Günlük ortalama 1100 işçi, iş çıkışı banyo yapmaktadır. Üç vardiya halinde çalışılan işyerinde en kalabalık vardiyada yaklaşık 550 işçi çalışmaktadır. Diğer vardiyaların işçi sayısı birbirine yakındır. Dolayısıyla sekiz saat arayla günde üç kez, sırasıyla 550, 250 ve 250 kişiye banyo hizmeti sunulmaktadır. Her vardiya için toplam banyo süresi yaklaşık bir saat sürmektedir. Banyo için gerekli sıcak su, kömür yakıtlı sıcak su kazanları vasıtasıyla üretilmektedir. Sistemde $5 \times 12 = 60$ m³'lük boyler bulunmaktadır. Kullanım suyu, kömür ocaklarından çıkarılıp uzun süre havuzlarda bekletilen sudan karşılanmaktadır.

Banyolarla ilgili bazı bilgiler şöyledir:

Bir seferde banyo yapan kişi sayısı	: 550 (250 yeni işçi alınması gündemdedir.)
Günlük toplam banyo yapan kişi	
Ortalama	: $550 + 250 + 250 = 1050$ kişi
En fazla	: 1250 kişi
Banyolarda harcanan günlük su miktarı	: $50 \div 52$ m ³ /gün
Boyer sayısı, birim hacmi ve toplam hacmi	: $5 \times 12 = 60$ m ³
Banyo suyu sıcaklığı	: $45 \div 50$ °C (Kazan çıkışı 60 °C)
Sıcak su kazanları	: 50 m ² ısıtma yüzeyli, 3 adet kömürlü kazan.
Harcanan kömür miktarı	: $350 \div 400$ kg/gün ($140 \div 160$ ton/yıl taşkömürü)

Sıcak su kazanlarının 2 adedi 24 saat çalışmakta, üçüncüsü yedektir. Yazın üç ay tek kazan yeterli olmaktadır. Her vardiyada iki kişi olmak üzere ateşçi olarak 6 kişi çalışmaktadır. Kazanların etiketlerindeki yazılı ısıtma yüzeyi güç 50 m² ve ısı güç 349 kW'dır. Sistem, işçi sayısının 3000 kadar olduğu yıllarda kurulduğundan fiili kapasite şu anki ihtiyacın üstündedir. Kazanlar, boylerlerde her an $45-50$ °C'de su bulunacak şekilde çalıştırılmaktadır.

Kişi başına kullanılan sıcak su miktarı 40 kg/kişi ile 65 kg/kişi değerleri arasında olmalıdır.

(Kişi başına tüketilen ortalama sıcak su miktarı $50000 \text{ kg}/1250 = 40.0 \text{ kg/kişi}$, en fazla sıcak su miktarı $60000 \text{ kg}/930 = 64.5 \text{ kg/kişi}$ 'dir. Ortalama değer olarak 55 kg/kişi alınabilir.)

Yeraltı kömür işçileri için vardiyalar 6 saattir ancak işletme toplam üç vardiya çalıştırmaktadır. Vardiyalar arasında iki saatlik boşluk kalmaktadır. Vardiya değişimleri sırasında üretim durduğu için basınçlı hava ihtiyacında azalma olmaktadır. Mevcut durumda en kalabalık vardiyada banyo yapan işçi sayısı en fazla 550 kişidir. Gündemde olan 250 yeni işçinin alınması halinde bu sayı 800 kişi olacaktır. Bir vardiya ocağa girdikten sonra çıkması 6.5 saat sonradır. Bir vardiya çıkışında tüm boylerlerdeki sıcak su kullanılmış olsa dahi 800 işçinin banyosu için gerekli suyu ısıtmak için 6 saatlik süre vardır. Bu süre içinde $800 \times 55 = 44000 \text{ kg}$ 'lık suyu $10 \text{ }^\circ\text{C}$ 'den $55 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye ısıtmak için gerekli güç:

$$44000 \text{ kg} \times 4.14 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K}) \times (55-10) \text{ K} = 8276400 \text{ kJ}$$

$$\text{Bu da, } 8276400 \text{ kJ} / (6 \times 3600) \text{ saniye} = 383.2 \text{ kW'dır.}$$

Diğer vardiyalarda 250'şer kişi çalışmaktadır. Vardiya başına 13750 kg sıcak su ihtiyacı ve bu suyu ısıtma için 2299000 kJ ısıya ihtiyaç vardır. En kalabalık vardiya için gerekli 383.2 kW gücünde bir ısıtıcı diğer vardiyalar için gerekli olanın üç katından fazladır. Yani termodinamik açıdan bakıldığında 383.2 kW'lık tek bir sistem, 6 saat + 1.67 saat + 1.67 saat çalışarak günlük sıcak su ihtiyacının tamamını karşılamış olacaktır. Değerler altta topluca verilmiştir.

Vardiya	Kişi Sayısı	Sıcak Su İhtiyacı (kg)	Gereken Isı (kJ)	Güç (kW)	Vardiya Başına Çalışma Süresi (saat)
I	250	13750 kg	2299000 kJ	106.4	1.67
II	800	44000 kg	8276400 kJ	383.2	6
III	250	13750 kg	2299000 kJ	106.4	1.67

Mevcut sistemde her biri 349 kW'lık kömürlü üç kazandan ikisinin yaz ayları hariç sürekli çalıştırıldığı, yazları ise tek kazanın yeterli olduğu bildirilmiştir.

3. ISI GERİ KAZANIMI

TTK işyerlerinde kullanılan basınçlı havanın ve kompresör soğutma sisteminde kullanılan soğutma suyunun debisi ölçülmektedir. Ancak sistemde çalışan pompaların debileri ve zaman zaman taşınabilir debimetre ile yapılan ölçümler, her bir kompresör için kapalı devrede yaklaşık $30 \text{ m}^3/\text{h}$ 'lik soğutma suyu kullanıldığını göstermektedir. **Şekil 2'**de verilen kayıtlardan oluşturulan **Tablo 3'**deki değerlere göre her bir kompresör için soğutma suyundan, tipik bir iş günü için ortalama 348 kW'lık ısı çekilmektedir. Bu ısı, bir plakalı ısı değiştiricisinde başka bir suya aktarılmakta, ondan da soğutma kulesinde havaya atılmaktadır. Bir kompresör için havadan çekilen ısı ile banyo kazanlarından birinin gücünün aynı olması tesadüfidir. Yine iki kazanın ve iki kompresörün sürekli çalışıyor olması da Üzülmüş İşletmesi'ne özel bir tesadüftür. Buradan bir ön kabul olarak sıcak su üretmek için iki kazan kullanmak yerine iki kompresörün atık ısını kullanmak termodinamik açıdan yeterlidir. Ancak hava kompresörlerinin sürekli soğutulması gerekirken buna karşılık banyo sıcak suyu ihtiyacı sekiz saatte bir olmaktadır. Mevcut 60 m^3 'lük boylerlerde su sıcaklığı $50 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye ulaşınca kazanlar devre dışı bırakılabilir. Ancak kompresörlerin soğutulmadan çalıştırılması mümkün değildir. Bundan dolayı hava kompresörü soğutma suyu ile sadece banyo suyu üretmek ancak soğutma kulelerini iptal etmeden mümkün olabilir.

Tablo 3. TTK Üzülmaz İşletmesi kompresörlerinden birine ait 22 Ekim 2018 tarihli kayıtlar ve onlar üzerinden yapılan hesaplar.

Kayıt Saati	Çalışma basıncı bar	Ara soğ. bar	Komp. Çıkış °C	Element 1 Çıkış °C	Element 2 Çıkış °C	Element 2 Giriş °C	Soğ. Suyu Giriş °C	Soğutma Suyu Çıkış °C		ΔT Ara Soğ. °C	ΔT Son Soğ. °C	ΔT Soğutma Suyu K	Havadan Ara Soğ.'da Çekilen Isı kW	Havadan Son Soğ.'da Çekilen Isı kW	Havadan Çekilen Toplam Isı kW	Soğutma suyu debisi kg/s
								Soğutma Suyu LP Çıkışı °C	Soğutma Suyu Çıkış °C							
00:00	5.0	2.2	34	155	115	31	27	36	37	124	81	10	207.7	135.7	343.4	8.05
01:00	5.2	2.2	34	156	119	31	28	37	38	125	85	10	209.4	142.4	351.8	8.25
02:00	5.4	2.2	35	157	121	32	28	37	38	125	86	10	209.4	144.1	353.4	8.29
03:00	5.4	2.2	35	156	122	32	28	37	38	124	87	10	207.7	145.7	353.4	8.29
04:00	4.8	2.2	33	155	109	30	27	36	37	125	76	10	209.4	127.3	336.7	7.89
05:00	4.9	2.2	34	155	113	31	28	36	36	124	79	8	207.7	132.3	340.0	9.97
06:00	5.1	2.2	33	155	115	30	27	36	37	125	82	10	209.4	137.4	346.7	8.13
07:00	4.8	2.2	33	154	114	30	27	35	35	124	81	8	207.7	135.7	343.4	10.06
08:00	5.3	2.2	34	156	120	31	28	36	37	125	86	9	209.4	144.1	353.4	9.21
09:00	5.2	2.2	34	156	118	31	28	36	37	125	84	9	209.4	140.7	350.1	9.12
10:00	5.2	2.2	34	156	118	31	28	37	38	125	84	10	209.4	140.7	350.1	8.21
11:00	5.3	2.2	35	158	121	32	29	38	38	126	86	9	211.1	144.1	355.1	9.25
12:00	5.0	2.2	35	158	117	33	29	38	38	125	82	9	209.4	137.4	346.7	9.03
13:00	5.2	2.2	36	158	120	33	29	38	39	125	84	10	209.4	140.7	350.1	8.21
14:00	5.5	2.2	36	160	125	33	30	38	39	127	89	9	212.7	149.1	361.8	9.43
15:00	5.5	2.2	36	160	124	33	30	38	39	127	88	9	212.7	147.4	360.1	9.38
16:00	4.7	2.2	34	158	110	31	28	37	37	127	76	9	212.7	127.3	340.0	8.86
17:00	5.0	2.2	35	158	117	33	29	38	38	125	82	9	209.4	137.4	346.7	9.03
18:00	4.8	2.2	34	156	113	32	29	37	38	124	79	9	207.7	132.3	340.0	8.86
19:00	5.5	2.2	36	157	123	33	29	38	38	124	87	9	207.7	145.7	353.4	9.21
20:00	5.3	2.2	35	156	121	32	29	38	38	124	86	9	207.7	144.1	351.8	9.16
21:00	5.3	2.2	35	156	121	32	29	38	38	124	86	9	207.7	144.1	351.8	9.16
22:00	5.0	2.2	33	154	114	31	27	36	36	123	81	9	206.0	135.7	341.7	8.90
23:00	4.7	2.2	32	154	110	30	27	35	36	124	78	9	207.7	130.7	338.4	8.81
						Ort.:	28.25	Ort.:	37.5					Ortalama:	348.3	8.86

3.1. Isı Pompası ile Isı Geri Kazanma

Banyo için 383.2 kW'lık (yaklaşık 385 kW) bir ısıtıcının yeterli olduğu belirlenmişti. Her bir kompresör soğutma suyundan ortalama 348 kW'lık (yaklaşık 350 kW) ısı çekildiği ve bu ısının soğutma kulesinden havaya salındığı hesaplanmıştı.

Bu sıcak suyun hava kompresörü soğutma suyunu ısı kaynağı olarak kullanan bir ısı pompası ile hazırlanması için 385 kW yoğunlaştırıcı gücüne sahip bir sistem kurulmalıdır. Böyle bir sistemin teorik buharlaştırıcı gücü, soğutkan kompresörü gücü, COP_{IP} ve kompresör çıkış sıcaklıkları değişik soğutkanlar için aşağıdaki şekilde bulunmuştur. Hesaplamalar CoolPack yazılımı [4] ile buharlaşma sıcaklığı 20 °C, yoğunlaşma sıcaklığı 60 °C ve 5 K aşırı soğutma ve kızdırma alınarak yapılmıştır.

Soğ. akışkan	Q_y (kW)	Q_b (kW)	W_{komp} (kW)	COP_{IP}	$T_{kom.ç.}$ (°C)
R-717	385	332	53	7.25	110.3
R-407C	385	326	59	6.52	73.4
R-410A	385	320.2	65	5.94	84.2

Gerekli sıcak suyu ısı pompası ile sağlamak için sistemin 1. Vardiyada 1.67, 2. Vardiyada 6 ve 3. Vardiyada 1.67 saat çalışması gerekir. Amonyaklı sistem halinde, 53 kW'lık kompresörün günde toplam 9.34 (≈ 10) saat boyunca elektrik sarfiyatı $53 \times 10 = 530$ kWh olacaktır.

Isı pompası, mevcut sisteme üç yollu otomatik vanalarla eklenebilir. Böyle bir sistemin prensip şeması **Şekil 5**'te gösterilmiştir. Burada görülen ⑪ no.lu soğutma kulesi ve ⑰ no.lu boylerler sistemde mevcuttur.

3.2. Isı Pompası ve Sistemi Bileşenleri

Hava kompresörlerinin bulunduğu bina ile boylerlerin bulunduğu bina arası yani **Şekil 5**'te görülen ⑫ no.lu üç yollu vana ile ⑧ no.lu buharlaştırıcı arasındaki mesafe 140 m'dir. Isı pompasından çıkan sıcak suyu taşımak yerine soğutma kulesine giden (ısı kaynağı olan) suyun taşınması yalıtım masrafı gerektirmeyecektir. Bu nedenle ısı pompası sistemini boylerlerin bulunduğu bina içine kurmak uygun olacaktır. Isı pompası ile ısı geri kazanma sistemi; buharlaştırıcı ⑧, yoğunlaştırıcı ③, kısılma valfi ⑦ ve kompresör ① gibi soğutma çevriminin ana elemanları yanında mevcut sistemle bağlantı boruları, dolaşım pompaları (⑬ ve ⑮) ve gerekli kontrol donanımını (⑫, ⑱) içermelidir (**Şekil 5**).

Su pompaları

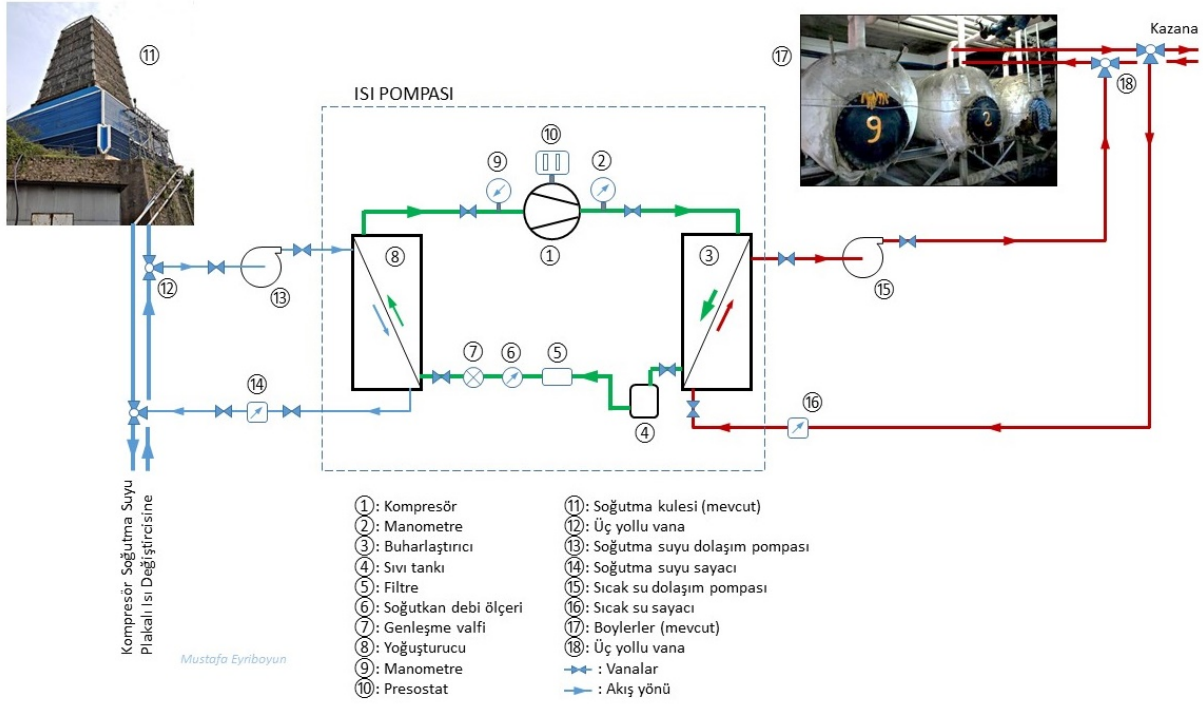
⑬ No.lu Pompa:

$$Q_b = 332 \text{ kW}$$

$$Q_b = \dot{m}_{s1} \times c_p \times (T_{s1g} - T_{s1d})$$

$$c_p = 4.18 \text{ kJ/kg K}, T_{s1g} = 30 \text{ °C}, T_{s1d} = 26 \text{ °C}$$

$$\dot{m}_{s1} = \frac{332}{4.18 \times (30 - 26)} = 19.86 \text{ kg/s}$$



Şekil 5. Önerilen Isı Pompalı Sistem.

$\dot{m}_{s1} = \rho \times V \times A$ 'dan, boru içindeki su hızı $V=1.5$ m/s alınarak boru çapı $D=130$ mm bulunur (5" DN125 anma, 132.5 mm gerçek).

Yüzey pürüzlülük değeri 0.002 mm olan çelik boru için gidiş-dönüş hattı düz boru basınç kaybı 2×0.17 bar ≈ 0.34 bar olarak bulunmuştur. Üretici firma abaklarından alınan değerler dikkate alınarak buharlaştırıcıda ve diğer yerel elemanlardaki basınç kayıpları toplamı yaklaşık 0.5 bar (5 mSS). Plakalı ısı değiştirici sekonder devre basınç kaybı (400 kW için) 1.3 mSS kadardır.

Pompa seçimine esas değerler, debi= 71.5 m³/h (19.86 kg/s), basma yüksekliği (max.) 2 bar (20 mSS). 19.86 kg/s = 20 lt/s hacimsel debi ve 20 mSS basma yüksekliği için seçilecek pompanın çektiği elektriksel güç,

$$P = \frac{\dot{V} \left(\frac{m^3}{h} \right) H_m (mSS) \rho \left(\frac{kg}{dm^3} \right)}{367 \times \eta_h} \text{ [kW]} \quad (1)$$

$$P_{S1} = \frac{71.5 (m^3/s) 20 (mSS) \times 1}{367 \times 0.80} = 4.87 \approx 5 \text{ [kW]} \text{ kadar olacaktır.}$$

15 no.lu pompanın bulunduğu hat çok daha kısadır. Basma yüksekliği ve debi dikkate alındığında pompanın çekeceği elektriksel güç P_{s2} , P_{s1} 'e yakın alınabilir ($P_{s2} \approx P_{s1}$).

Pompa güçleri dikkate alındığında R-717 (amonyak) kullanan ısı pompası sisteminin 7.25 olarak hesaplanan COP_{IP} değeri yeniden hesaplanırsa, daha gerçekçi bir değer olarak,

$$COP_{IP} = \frac{Q_y}{W_{komp} + P_{s1} + P_{s2}} = \frac{385}{53 + 5 + 5} = 6.11 \text{ bulunur.}$$

3.3. Analizler

Günde 10 saat, yılda 350 gün çalışacak bir ısı pompası kompresörünün harcayacağı elektriği elde etmek için harcanması gereken kömür miktarı,

$$m_{Ipe} = \left(\frac{q_H}{COP_{IP}} \right) \times h \times D \times (\dot{OYT}) = W_{net} \times h \times D \times (\dot{OYT}) \quad (6)$$

$$m_{Ipe} = \left(\frac{385 \text{ kW}}{6.11} \right) \times 10 \left(\frac{h}{gün} \right) \times 350 \left(\frac{gün}{sezon} \right) \times 0.50 \left(\frac{kg}{kWh} \right)$$

$$m_{Ipe} = 11027 \text{ kg (kömür)} \approx 110 \text{ ton kömür}$$

Burada, m_{Ipe} ısı pompası kompresörünün elektrik sarfiyatının kömür eşdeği, Q_y yoğurturucu kapasitesi, COP_{IP} ısı pompası etkenlik katsayısı, h saat olarak günlük çalışma süresi, D gün olarak yıllık çalışma süresi ve \dot{OYT} termik elektrik santralleri için Özgül Yakıt Tüketimi değerleridir. \dot{OYT} ile açıklamalar [5]'te verilmiştir.

Daha önce, Banyo için kullanılan kazanların yıllık kömür harcaması 140 ila 160 ton arasında bildirilmiştir. Ortalama 150 ton/yıl alınması halinde aradaki fark,

$$Fark = m_{Kazan} - m_{Ipe} = 150 - 110 = 40 \text{ ton}$$

olmaktadır. 40 ton kömürün yanmaması, kullanılan kömür içindeki karbon ve kükürt yüzdesine bağlı olarak daha az CO_2 ve SO_2 salınması demektir.

SONUÇ

Bu çalışmada, günde üç vadiya çalışan bir yeraltı kömür işletmesinde basınçlı hava üreten kompresörlerin atık ısı ile işçi banyolarının sıcak suyunu ısıtma konusu ele alınmıştır. Mevcut sıcak su üretimi kömürlü kazanlarla yapılmakta olup günde 350-400 kg (ortalama 375 kg) kömür yakılmaktadır. Bunun parasal karşılığı yaklaşık 300-350 TL arasındadır.

Bunun yerine **Şekil 5**'te önerilen ısı pompası sistemi kurulduğunda, ısı pompası günde $530 + 100 = 630$ kWh elektrik harcayacaktır. Bunun yaklaşık değeri 315 TL'dir.

Hesaplar yapılırken yapılan kabuller düşünüldüğünde parasal sonuçların yaklaşık eşit olduğu söylenebilir. Kompresörlerin sürekli soğutması gerekmekte buna karşı banyo sıcak suyu ihtiyacı sekiz saatte bir olmaktadır. Isı pompası yatırım maliyeti dikkate alındığında hava kompresörleri soğutma suyu ile sadece banyolarda kullanılmak üzere sıcak su üretmek ekonomik görünmemektedir. Bunun yanında eğer üretilen ısı kış sezonunda ısınma amaçlı da kullanılırsa, ya da yakın çevredeki işyerlerine ve konutlara dağıtımı mümkün olursa ekonomik olabilir.

İşletmenin, sıcak su ihtiyacı olmadığı zaman kompresörlerde yeterli soğutma sağlanamazsa gibi haklı çekinceleri vardır. Ancak bu sorun mevcut soğutma kulelerinin ısı pompası ile eşzamanlı çalışmasıyla bertaraf edilebilir.

Ortada kompresör başına çevreye atılan 350 kW'lık bir güç vardır. Bütün TTK dikkate alındığında bu çok ciddi bir enerji kaybı demektir. Bu enerjinin geri kazanılması halinde daha az fosil yakıt kullanılmış olacaktır. Bu da ülke bazında karbon salımının azaltılmasına katkı demektir.

Atık ısıyı geri kazanmak için ısı pompası yerine sıcak suyun doğrudan plakalı ısı değiştiricilerde üretilmesi ısı pompası kompresörünü ortadan kaldıracığı için her şart altında ekonomik bir çözüm verecektir. Bu atık enerjinin organik Rankin çevrimi (ORC) ile değerlendirilmesi konusu da ayrıca araştırılmaya değerdir.



Sonuç olarak hem bireysel yaşamda hem kurumsal yapıların işleyişinde, doğal çevreyi ve canlı yaşamını doğrudan etkileyen küresel ısınma sorununun çözümüne katkı sağlayabilecek her detay ciddiyetle ele alınıp uygulanmalı ve bunun salt bir para hesabı olmadığı kabul edilmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] “İklim Değişikliği İhtisas Heyeti Raporu”, <https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/yayinlar/2013/iklim-Degisikligi-ih-tisas-Raporu-2013.pdf>
- [2] “Karbon Piyasalarında Ulusal Deneyim ve Geleceğe Bakış”, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara, Ocak 2011.
- [3] “TTK İstatistik Yıllıkları”, <http://www.taskomuru.gov.tr/> (Erişim: Ocak 2019)
- [4] CoolPack Version 1.50 (freeware), A Collection of Simulation Tools for Refrigeration, (Team CoolPack), IPU & Department of Mechanical Engineering, Technical University of Denmark, 2002-2012, <https://www.ipu.dk/products/coolpack/>
- [5] EYRİBOYUN, M., “Zonguldak’ta Terkedilmiş Kömür Ocaklarının Jeotermal Isı Kaynağı ve Soğuk Kaynak Olarak Kullanılmasına Dair Bir Öneri”, Teskon 2017 / Jeotermal Enerji Semineri Bildiriler Kitabı, Sayfa: 190-208, İzmir, 19-22 Nisan 2017.

ÖZGEÇMİŞ

Mustafa EYRİBOYUN

1959 yılı Çaycuma Zonguldak doğumludur. 1982 yılında Zonguldak Mimarlık ve Mühendislik Akademisi Makina Bölümü’nü bitirmiştir. Aynı yıl Yıldız (Teknik) Üniversitesi’nde Isı-Proses dalında yüksek lisansa başlamıştır. Eylül 1983’de o zamanki adıyla HÜ Zonguldak Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’nde araştırma görevlisi olarak çalışmaya başlamıştır. Şubat 1985’te yüksek mühendis ünvanı almıştır. Aynı üniversitede, 1998’de başladığı doktorasını, endüstriyel alevlerde is oluşumu üzerine hazırladığı tez ile 2007’de tamamlamıştır. 1996’da Japon Hükümeti bursu ile Japonya’da üç ay artı üç hafta süreli Klima Mühendisliği Kursu’na katılıp sertifika almıştır. Isı tekniği, yanma, gaz dinamiği, bilgisayar programlama, sayısal görüntü işleme konularında çalışmaktadır. Halen Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü’nde Dr. Öğretim Üyesi olarak çalışmaktadır.

Gültekin KARA

1966 Bartın Ulus doğumlu. 1986 yılında Zonguldak Mehmet Çelikel Lisesini, 1990 yılında H.Ü. Zonguldak Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’nü bitirdi. Sırasıyla 1993 yılında TTK Gelik İşletme Müdürlüğü’nde Makine Mühendisliği, 1977 yılında Çatalağzı Lavuarı Bakım-Onarım Başmühendisliği, 2001 yılında TTK Etüd Tesis Daire Başkanlığı’nda Proje Başmühendisliği, 2010 yılında Zonguldak Maden makinaları Fabrikasında Üretim Planlama Ar-Ge Şube Müdürlüğü, 2013 yılından beri de Üzülmaz TİM’de Elektro-Mekanikten Sorumlu Müessese Md. Yrd. Olarak çalışmaktadır. Evli ve üç çocuk babasıdır.