



**Bu bir MMO  
yayıdır**

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

## **ZONGULDAK'TA TERKEDİLMİŞ KÖMÜR OCAKLARININ JEOTERMAL ISI KAYNAĞI ve SOĞUK KAYNAK OLARAK KULLANILMASINA DAİR BİR ÖNERİ**

**MUSTAFA EYRİBOYUN  
BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ**

# ZONGULDAK'TA TERKEDİLMİŞ KÖMÜR OCAKLARININ JEOTERMAL ISI KAYNAĞI VE SOĞUK KAYNAK OLARAK KULLANILMASINA DAİR BİR ÖNERİ

*A Suggestion to use Abandoned Coal Mines in Zonguldak as Geothermal Heat Source and Heat Sink*

**Mustafa YEYRİBOYUN**

## ÖZET

Dünyada ve Türkiye’de, nüfusla birlikte teknolojik ürünlerin çeşit ve sayılarının artışı enerjiye olan talebi de artırmaktadır. Enerji ihtiyacı halen büyük oranda fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Fosil yakıtların başlıca yanma ürünü olan karbondioksit salınmasına getirilen uluslararası kısıtlamalar yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına ilgiyi artırmıştır. Kömürle var olmuş bir kent olan Zonguldak’ta bazı ocaklarda kömür üretimi tamamen durdurulmuş ve ocaklar terkedilmiştir. Terkedilmiş ocakların anayolları (galeri, tünel) zamanla yeraltı suları ile uç noktalar ise göçüklerle dolmaktadır. Bu ocaklardan biri olan Çaydamar Bölümü Ocakları hemen şehir merkezinin altında yer almaktadır. Ocaktan taşan su Üzülmaz Deresine akmaktadır. Benzer şekilde Kilimli İlçesi merkezine bitişik mesafede Kilimli Bölüm Ocakları bulunmaktadır. Bu çalışmada Zonguldak Kömür Havzasına ait jeolojik sıcaklık gradyanı bilgileri dikkate alınarak, terkedilmiş maden ocaklarının, ısı pompası için düşük sıcaklıklı jeotermal ısı kaynağı olarak kullanılması durumunda kazanılacak enerji ve bunun kömür eşdeğeri, galerilerin birim kilometresi başına hesaplanmıştır. Isı pompası kompresörünün harcayacağı elektrik enerjisinin, bölgedeki kömürlü termik santrallerden karşılanması durumunda net karbondioksit salımında bir azalma olup olmayacağı irdelenecektir. Kışın ısı kaynağı olarak kullanılacak su, yazları da soğutma sistemlerinde yoğuşurma için kullanılabilir. Böylece daha düşük sıcaklıkta yoğuşurma yapılmasıyla, sistem performansı yükselecektir. Tipik bir soğutma sisteminde yoğuşurma için çevre havası yerine galerideki suyun kullanılmasıyla sağlanacak performans artışı da hesaplanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Terkedilmiş maden ocakları, Düşük sıcaklıklı jeotermal ısı kaynağı, Sudan suya ısı pompası, CO<sub>2</sub> salınımı azalması.

## ABSTRACT

The increase of population and the increase in the number and variety of technological products also increases the demand for energy, in the world and Turkey. Energy demand is still largely met by fossil fuels. International restrictions on emissions of carbon dioxide, the main combustion product of fossil fuels, have increased interest in new and renewable energy sources. In some coal mines in Zonguldak, a city that has been with coal, coal production has been completely stopped and the coal mines have been abandoned. The abandoned coal mine tunnels are filled with underground waters in time and end points filled with dents. The Çaydamar Department, one of these coal mines, is located just beneath the city center. The water overflowing from the mine flows into Üzülmaz stream. There are also abandoned coal mines in Kilimli District, named Kilimli Bölüm. In this study, considering the geological temperature gradient of Zonguldak Basin, the energy to be gained and the coal equivalent are calculated per unit kilometer of main roads (main tunnel) in case of using abandoned mines as a low temperature geothermal heat source for heat pump. If the heat pump compressor electricity is supplied from the coal-fired thermal power plants in the region, it will be investigated whether there will be a reduction in the net carbon dioxide emissions. The water to be used as a heat source in winter can be used for condensation in cooling systems in summer. Thus, with lower temperature

condensation, system performance will increase. In a typical cooling system, the cooling efficiency coefficient increase is calculated by using underground water instead of ambient air for condensation.

**Key Words:** Abandoned mine, Low temperature geothermal heat source, Water to water heat pump, Reducing CO<sub>2</sub> emission.

## 1. GİRİŞ

Kömür ya da başka bir maden üretimiyle var olmuş şehirler, madenin keşfiyle doğarlar, gelişirler, yavaşlar ve madenin tükenmesi ya da ekonomik değerini kaybetmesiyle kaderine terk edilirler. Son aşamasına gelmiş maden şehirlerine yeni yatırımlar gelmez. Mevcut nüfusun geliri düşmeye, işsizlik artmaya başlar ve bunun sonucu olarak göç gibi sosyal problemler ortaya çıkar. Bu problemlerin çözümü için bu bölgelerde hem insana hem çevreye dair rehabilitasyon çalışmaları gerekmektedir. Almanya, İngiltere, İspanya, ABD, Kanada, Polonya gibi ülkelerde insan merkezli örnek çalışmalar mevcuttur [1- 5]. Türkiye’de bu tür rehabilitasyon çalışmaları yalnız toprak yüzeyinde ağaçlandırma veya peyzaj çalışmaları ile sınırlı görünmektedir.

Maden bölgelerinde gerileyen yaşam koşullarının yeniden canlandırılması için yeni iş alanları açılmalıdır. Bunun için yatırım teşvikleri verilebilir. Maden sahaları, endüstriyel kültür mirası olarak turistik yerlere dönüştürülebilir. İşsizliğin arttığı, gelirlerin düştüğü bu yerlerde iş kuracak yatırımcılara ve orada yaşamak zorunda olanlara ucuz enerji sağlanması uygun olur. Ucuz enerji elde etme yollarından biri; terk edilmiş maden ocaklarının, kışın ısı pompası ısı kaynağı, yazları da klima ve soğutma sistemleri için soğuk kaynak olarak kullanılması olabilir. Bu konu üzerine özellikle son yıllarda yayınlanmış çok sayıda çalışma mevcuttur [6-17]. Bu çalışmaların ortak yanı enerji tasarrufu, CO<sub>2</sub> salımı azalması ve ekonomiklik olarak özetlenebilir. Ortak çıkış noktası ise sosyal fayda olsa gerektir.

Yeraltı veya yüzey (açık) madencilik nedeniyle doğal yapısı bozulan alanların tamamen eski haline getirilmesi (restoration) pek mümkün değilse de iyileştirilmesi (rehabilitation) ve öncekinden farklı amaçla kullanılabilir hale çevrilmesi (reclamation) mümkündür. Afşin-Elbistan Linyitleri gibi açık işletmelerde kömür tabakasının üzerinden kazılan toprak, daha önce kömürü alınmış yere tekrar serilmektedir. Bu yeni alanda ağaçlandırma, peyzaj çalışmaları ve farklı kullanım amaçlarına uygun işler yapılabilir.

Küresel ısınma ve iklim değişikliğine yol açan sera gazlarından başlıcası olan CO<sub>2</sub> üretmesi nedeniyle fosil yakıtlara karşı özellikle Avrupa Birliği (AB) merkezli bir karşı çıkış olsa da bütün dünyada kömür üretimi ve tüketimi her yıl artmaktadır. Bu alanda Çin ve ABD başı çekmektedir. Bu iki ülkenin üretimi ve tüketimi, neredeyse kendileri dışındaki tüm ülkelerin toplamından daha fazladır.

Çin’de bulunan 390 maden şehriden %20’sinin büyüme, %62.2’sinin olgunlaşma ve %12.8’inin de gerileme dönemini yaşadığı bildirilmiştir. Bu da 50 şehrin kaynaklarının kesilmesi ve 440 madenin kapatılması demektir. Gelecek 20 yılda diğer maden şehirlerinin üçte birinin de benzer bir akıbete uğrayacağı tahmin edilmektedir. Maden şehirlerinin çoğu, ülke enerjinin %70’sinin sağlandığı kömür üzerine kuruludur. Bu kentlerde yaklaşık 3 milyon işçi bu madenlerden geçmektedir ve aile fertleri ile bu değişimden etkilenen kişi sayısı 10 milyonu bulacaktır. Çin’de 4 milyon km<sup>2</sup>’lik maden sahası, madenin tükenmesi ya da çökmesi nedeniyle terk edilmiştir [2].

Almanya, İngiltere, ABD gibi ülkelerde de benzer sorunlar yaşanmış ve buralarda maden havzalarının yeniden düzenlenmesine dair başarılı örnekler yaşanmıştır. Almanya’da Ruhr bölgesinde kömür ve demir-çelik endüstrisinin yerini bilişim teknolojileri, lojistik ve alternatif enerji yatırımları almıştır. Terk edilmiş kömür ocakları ve yeryüzündeki tesisleri turizme açıp, sosyo-kültürel etkinlikler için merkezlere dönüştürmüşler, madencilik müzeleri açmışlardır [2,3,18].

Bazı örnekler:

- Kömür madenciliğinde en eski ülkelerden birisi olan İngiltere'de, kapatılan ocakların müzeye dönüştürülmesiyle oluşturulan Woodhorn Kömür İşletmesi ve Kilise Müzesi, Washington 'F' Pit Müzesi, İngiltere Milli Kömür Madenciliği Müzesi.
- Capouse Colliery, Avrupa'nın en popüler açık hava müzesi olarak bilinen Beamish - Kuzey İngiltere Açık Hava Müzesi.
- Almanya'da Bochum kentinde tamamen maket biçiminde oluşturulan madencilik müzesi ile Dortmund yakınında kapatılmış bir kömür madeninin dönüştürülmesiyle oluşturulan Bochum Müzesi.
- Japonya'da, Hokkaido Adasında, tarihi Yubari madenci köyünün restore edilmesiyle oluşturulan Yubari Kömür Madenciliği Müzesi [18].

Eski sanayi tesislerinin sergi / konser salonu, kültür merkezi gibi yerlere dönüştürülmesi sırasında ortaya çıkan ek ısıtma ve soğutma ihtiyaçları için hemen altında bulunan kaynakların kullanılması ekonomik olduğu kadar psikolojik anlamda da önemlidir. Oraları gezen çocuklar ve gençler tarihine, ülkesine, büyüklerine, bilim ve teknik insanlarına karşı daha ilgili ve kendine güveni daha yüksek bir bireyler olarak yetişecektir.

## 2. ZONGULDAK, KÖMÜR ve ÇAYDAMAR OCAKLARI

Kdz. Ereğli ile Zonguldak arasındaki bir köyde, 1829 yılında taşkömürünün bulunmasıyla Osmanlı İmparatorluğu döneminde, İstanbul dışında endüstrileşen ilk bölge Zonguldak Kömür Havzası olmuştur. Buhar gücünün egemen olduğu yıllarda fabrikaların, donanmanın ve buharlı lokomotiflerin kömür ihtiyacını karşılamak için özellikle 1840'lardan itibaren yoğunlaşan kömür üretimiyle beraber Zonguldak, yakın geçmişe kadar Osmanlı ve Cumhuriyet dönemlerinde baş tacı olmuş bir kent idi.

Zonguldak'ta kömür halen çıkarılmaktadır. Henüz çıkarılmamış bilinen rezerv yüz yıldan fazla yetecek kadardır. Ancak mevcut kömür damarlarının atımlı yapısı (fay kırıkları) gereği üretim pahalıya mal olmakta ve dünya pazarıyla rekabet edememektedir. Sonuç olarak gittikçe üretim düşmekte, çalışan sayısı azalmaktadır. Önerilerimizin gerekçe olacağından Zonguldak hakkında kısa bir tarihçe ve sosyal konulara değinilmesinde fayda görülmüştür.

- 1924'te il yapılmış. (Cumhuriyet döneminde il yapılan ilk merkez.)
- 1926'da İstanbul dışında üniversite düzeyinde eğitim veren ilk kurum Zonguldak'ta açılmış (Zonguldak Yüksek Maden Mühendis Mektebi). Fransızca eğitim verilmiş. 1932'de kapatılmış.
- 1937'de demiryolu ile Ankara'ya bağlanmış,
- Ekim 1935'de deneme üretimine başlamış olan kok fabrikası 1936 yılı başında tam kapasiteyle faaliyete geçmiş. 1964 yılında, bu tesiste üretilen gazın şehirde kullanılması önerilmiş fakat 12 yıl sonra, Mayıs 1976'da, ekonomik ömrünü doldurduğu gerekçesiyle tesis kapatılmıştır [19].
- 3 Nisan 1937'de Zonguldak'ın ilçesi olan Karabük'te Demir Çelik Fabrikası temeli atılmış.
- Osmanlı Dönemi ve 1940'a kadar Cumhuriyet döneminde kömür üretimi; Galatalı Sarraflar, İngiliz Kömür Kumpanyası, Kuyumcu (banker) Yorgaki Zafiropulos, Fransız sermayeli Ereğli Şirket-i Osmaniye gibi kişi ve kurumlarca yapılmıştır. 5 Haziran 1940'ta çıkarılan 3867 sayılı "Kömür Havzasındaki Ocakların Devletçe İşletilmesi Hakkındaki Kanun" ile kömür üretim faaliyetleri tamamen devletleştirilmiştir [20].
- Çatalağzı Termik Elektrik Santrali (ÇATES) 27 Kasım 1948 tarihinde 3 grup ve toplam 64500 kWh kapasiteyle çalışmaya başlamıştır.
- 1950'li yılların sonlarına kadar Türkiye'ye ziyarete gelen yabancı devlet adamları; açık tenis kortları, modern plaj tesisleri, sosyal hayatı, baloları, eğlenceleri, orkestraları, sinemaları, özel marketleri, bahçeli müstakil lojmanları, işçi-memur ve öğrenci servis araçları vs ile çağdaş, sanayileşmiş bir kent olarak, ülkenin vitrini Zonguldak'ta ağırlanmıştır.

1960'lı ve 1970'li yıllarda sosyal devlet uygulamalarıyla ekonomik ve sosyal gelişmişlik bakımından ülke ortalamasının üzerinde bir seviyede olan Zonguldak'ta durum, 1980'den itibaren her bakımdan olumsuz yönde değişmeye başlamıştır. 1980'lere kadar her yıl Türkiye ekonomisine katkı veren ilk beş il arasında yer alan Zonguldak, serbest piyasa ekonomisine geçilmesini hedefleyen 24 Ocak 1980 Ekonomik Kararları ve ardından 12 Eylül 1980 Askeri Darbesi'nin hak ve özgürlüklere getirdiği kısıtlamalar sonucu eski günlerini unutmaya başlamıştır. Siyasal iktidarlar, çıkarılan kömürün uluslararası pazarlara göre pahalı olduğu gerekçesiyle ocakların kapatılmasını istemiştir. Sosyal tepkiler nedeniyle kurum tamamen değilse de süreç içinde bazı ocaklar kapatılmıştır. 1980'lerde 40000'lerde olan çalışan sayısı, günümüzde 8000'lere kadar düşmüştür. Bu arada Türkiye Taşkömürü Kurumuna (TTK) ait bazı maden sahalarında kömür çıkarma işi özel sektöre verilmiş, bir anlamda özel sektör dönemi geri gelmiştir. Günümüzde, bir yanda, bir kamu iktisadi teşekkülü (KİT) olan TTK'da sendikacı, sosyal haklara ve her türlü iş güvencesine sahip olarak çalışan işçiler, öte yanda; özel sektörde sendikası, güvencesiz ve daha düşük ücretlerle çalışmakta olan işçiler var. Birbirine komşu olan bu insanlar arasında yaratılan gelir ve güvence farkı toplumsal adalet duygusunu bozan faktörlerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır.

Zonguldak 1980'lere kadar göç alan bir kent durumundayken, son yirmi yıldır göç veren kent olmuştur. Sosyal bir problem olarak göç konusunda çalışmalar yapmak üzere Bülent Ecevit Üniversitesi bünyesinde, 2003 yılında "Göç Araştırma ve Uygulama Merkezi" kurulmuştur. Bugün gelinen noktada Zonguldak, tam bir gözden çıkarılmışlık, terkedilmişlik ve yalnızlık duygusu içindedir. Nitekim TMMOB'nin 21-22 Mayıs 2015 tarihlerinde düzenlediği Zonguldak 2. Kent Sempozyumu'nda, afişinde de vurgulandığı gibi "*Yalnız ve Unutulmuş Kent Zonguldak*" teması işlenmiştir.

Zonguldak'ta yeraltı madencilik yapıları yerlerde, yeryüzündeki doğal yapıda görünür bir bozulma fark edilmezse de yeraltında değişik derinliklerde (katlarda) kilometrelerce boyda ve her biri metrelerce yükseklikte boşluk meydana gelmiştir. Kömür alındıktan sonra bu boşluklar kontrollü olarak kısmen çökertilmekte ya da zamanla kendi kendine çökmektedir. Bazı yerlerde bu çöküntüler yeryüzüne kadar ulaşmakta ve yüzeyde bozulmalara, çökmelere sebep olmaktadır. Tasman olarak adlandırılan bu olay nedeniyle Zonguldak şehir merkezinin ve Kozlu İlçesinin bazı mahallelerinde çok sayıda konut yıkılmış ya da oturulamaz hale gelmiştir. Bazı bölgelerin altındaki kömürün çıkarılmasından ise vazgeçilmiştir.

Yeraltında, oldukça sağlam beton tüneller ya da demir bağlarla donatılmış anayollar bulunmaktadır. Kömür bitip de ocaklar terkedildiğinde buralar zamanla yeraltı suları ile dolmaktadır. Galeri denen bu tünellerin ve ana yolların boyları bazen birkaç km olabilmektedir. Derinlikleri de bulunduğu yere göre değişiklik göstermektedir. Örneğin Zonguldak şehir merkezindeki kapatılmış Çaydamar ocaklarının ana yolları -100 m ve -200 m derinliktedir. Ocak giriş ağızları ve kuyu başlarının rakımları ise +20 m kadardır. Yeraltında bütün ana ve tali yollar eğimli veya dik kuyularla (yollarla) birbirine bağlıdır. Dolayısıyla bu yapı içinde biriken su kendi içinde sıcaklık farkı nedeniyle çok düşük hızlarda hareket edebilir. Ancak çok derinlerde, kütleli akışa neden olacak bir su kaynağı yoksa durgun kabul edilebilir. Terkedilmiş Çaydamar ocağının yüzeye açıldığı yerlerden biri olan Çaydamar kuyusundan taşan su, çevrede yaşayanları ve işyerlerini rahatsız ettiği için yüzeye çıkmadan, bir sifon üzerinden Üzülmüş deresine akıtılmaktadır.

**Zonguldak'ta üretim devam eden işletmeler:** Kozlu, Üzülmüş, Karadon

**Son 25 yılda kapanan işletmeler:** İhsaniye, Çaydamar, Kilimli-Bölüm.

Zonguldak kömür havzasında, yeraltındaki anayolların kesit alanları genellikle 8 m<sup>2</sup> (B8) ve 10 m<sup>2</sup>'dir (B10). Boyları ise birkaç yüz metreden birkaç km'ye kadar olabilmektedirler.

Anayollar toprak yüzeyinden 100 ila 650 m derindedirler. Ocak derinlikleri, deniz seviyesine göre artı (+) veya eksi (-) olarak belirlenmektedir.

### **Çaydamar: Terkedilmiş Maden Ocağı**

Zonguldak taşkömürü havzasının en eski üretim alanlarından biri olan ve tasmana neden olmaması için faaliyeti 1994 yılında durdurulmuş bulunan Çaydamar İşletmesi, madencilik müzesi olarak yeniden düzenlenecek. Kömür üretiminin durdurulmasından sonra uzun süre Zonguldak Merkez Lavuarı'nın su gereksiniminin (3.600 m<sup>3</sup>/gün) karşılanması amacıyla yararlanılmaktadır. Ancak Zonguldak Merkez

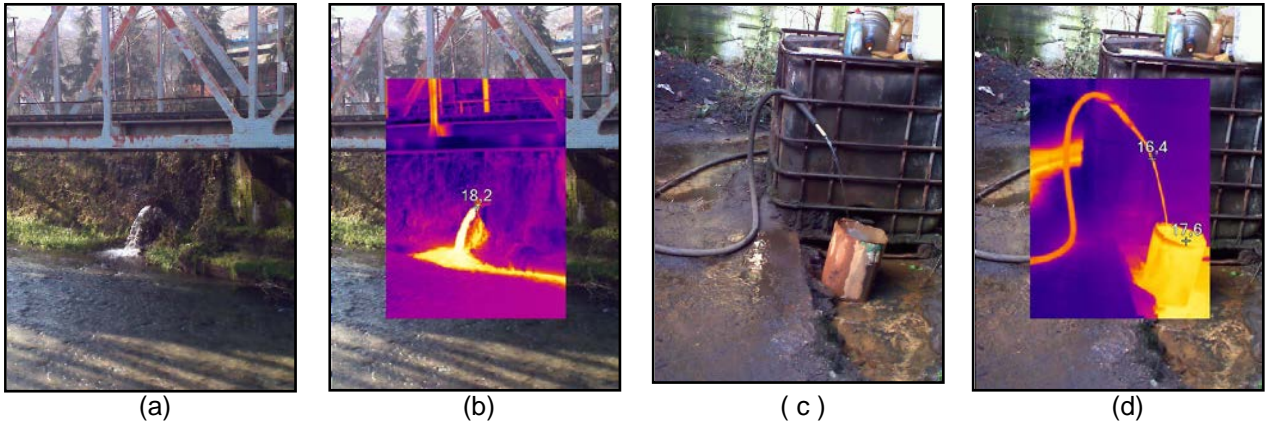




Şekil 2. Terkedilmiş Çaydamar ocaklarının yeryüzüne izdüşümleri.

### 3. YERALTI SUYUNUN ISI KAYNAĞI OLARAK KULLANILMASI

Dış hava sıcaklığının  $7.9\text{ }^{\circ}\text{C}$  olduğu bir günde (13.01.2017 Cuma, saat 11:20) ocaktan çıkan suyun dereye döküldüğü yerdeki sıcaklığı  $18.2\text{ }^{\circ}\text{C}$  olarak görüntülenmiştir (Şekil 3 a,b). Suyun yeryüzüne çıktığı kuyu başından yaklaşık 30 m mesafedeki bir atölyeye hortumla getirilen suyun sıcaklığı dijital termometre ile hortum ucunda  $16.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , kovada içinde  $17.6\text{ }^{\circ}\text{C}$  ölçülmüştür (Şekil 3 c, d).



Şekil 3. Ocaktan çıkan suyun dereye döküldüğü yerde (a, b) ve kuyu ağzındaki bir atölyede (c, d) termal kamera ile tespit edilen sıcaklıkları.

Aynı gün şehir şebeke suyu sıcaklığı  $12.2\text{ }^{\circ}\text{C}$  olarak ölçüldü. Yeraltı suları, yeryüzündeki sıcaklık değişimlerinden çok fazla etkilenmezler. Sıcaklıkları da buldukları derinliğe ve o bölgedeki jeotermal sıcaklık değişimine bağlı olarak, hava sıcaklığının yıllık ortalamasından daha yüksek olur.

Ocak ağzından alınan su örneğinin *pH* değeri, Bülent Ecevit Üniversitesi Kimya Laboratuvarı'nda 6.76 olarak ölçülmüştür. Bu *pH* değerine sahip suyun ısı değiştiricilerde ciddi bir korozif etkisinin olmayacağı söylenebilir.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nce Zonguldak'ta dış hava sıcaklığı ortalama değeri, 1950-2015 yılları meteorolojik kayıtlarından 13.68 °C olarak hesaplanmıştır (Tablo 1). Tabloda, aynı dönem için aylara göre ortalama sıcaklık değerleri görülmektedir [21]. 100 cm toprak sıcaklıkları da 1970-2015 arası ölçümlerine göre 13.9 – 15.4 °C aralığında yer almaktadır. Ortalaması 14.65 °C'dir [22].

**Tablo 1.** 1950 - 2015 Yılları İçinde Gerçekleşen Ortalama Sıcaklık Değerleri [21].

ZONGULDAK	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara	Yıllık Ort.
Ort. Sıcaklık (°C)	6.2	6.2	7.5	11.4	15.5	19.7	21.9	21.9	18.7	15.1	11.6	8.5	13.68
Ort. En Yüksek Sıcaklık (°C)	9.2	9.5	10.8	15.0	18.9	23	25.1	25.3	22.4	18.6	15.1	11.6	17.04
Ort. En Düşük Sıcaklık (°C)	3.6	3.4	4.6	8.2	12.2	16	18.2	18.3	15.5	12.3	8.9	5.8	10.58

Yeryüzeyinden, dünyanın merkezine doğru sıcaklık artmaktadır. Bunun tersi olarak da sıcak magma bölgesinden yeryüzeyine doğru sıcaklık azalmaktadır. Yer kabuğundaki bu sıcaklık değişimine (jeotermal sıcaklık gradyanı) bağlı olarak yerin merkezinden yüzeyine doğru ısı iletimi söz konusudur. Yeryüzünde, jeotermal sıcaklık değişimi 1.8 °C/100 m ile 6 °C/100 m arasında değişmektedir. [23]

Yerkürenin sahip olduğu toplam ısı  $10^{31}$  J olarak hesaplanmaktadır ve şu anki ortalama küresel ısı akısı 44 TW ( $1.4 \times 10^{21}$  J/yıl), dünyanın yüzey alanına ( $5 \times 10^{14}$  m<sup>2</sup>) bölünürse ortalama jeotermal ısı akısı 88 mW/m<sup>2</sup> olarak bulunur.  $1.4 \times 10^{21}$  J/yıl değerindeki jeotermal ısı akısı, dünyanın birincil enerji tüketiminin yaklaşık üç katıdır [24].

Çaydamar kuyu başına, Batı yönünde doğrusal uzaklığı 2.7 km olan Kozlu ocaklarında jeotermal sıcaklık değişimi (gradyanı); Erdem (1995) tarafından, -150 m ve -500 m derinliklerde yapılan ölçüm sonuçlarına dayanılarak 1.4 °C/100 m verilmiştir [25]. Önder ve Saraç (2003), aynı ocaklarda, -425 m katında yaptıkları ölçümlerle belirlenmiş iklim koşullarını CLIMSİM bilgisayar yazılımına yükleyerek bir benzetim yapmışlardır. Benzetim (simülasyon) sonucunda jeotermal adım 43.96 m/°C olarak bulunmuştur [26]. Bu da 2.2748 °C/100 m jeotermal sıcaklık değişimine karşılık gelmektedir. Aynı çalışmada, Kozlu ocakları -425 m katında bakir kaya sıcaklığı 24.17 °C olarak verilmiştir. Çaydamar'a Doğu yönünde doğrusal olarak 8 km mesafede yer alan Karadon kömür ocaklarında, Önder ve Güyağül (1995), -160 m, -360 m, -460 m ve -540 m derinliklerde yaptıkları ölçümler sonucu sıcaklık değişimini 2.275 °C/100 m olarak tespit etmişlerdir [27]. Bu değer Önder ve Saraç'ın benzetim sonucuyla aynıdır.

Akın vd., Zonguldak için jeotermal ısı akıları ortalamasını 70 mW/m<sup>2</sup> olarak tespit etmişlerdir [28]. Bu çalışmada yer için ısı iletim katsayısının ortalama 2 W/m·K alındığı bildirilmiştir. Bu değerlere göre Zonguldak'ta jeotermal sıcaklık gradyanı ortalaması 3.5 °C/100 m olmalıdır. Akın vd. ısı iletim katsayı değerini, Şalk ve arkadaşlarının Batı Anadolu'nun Curie noktası derinliklerini hesapladıkları 2005 tarihli çalışmasından aldıklarını bildirmişlerdir.

Baltaş ve Pelin (2000), Kilimli kömür ocaklarında değişik derinliklerdeki kömür damarları ve bu damarların taban ve tavan taşları için ısı iletim katsayılarını belirledikleri çalışmasında, kömür için 2.031 W/m·K, kayaçlar için 2.879 W/m·K ortalama değerlerini elde etmişlerdir [29].

Jeotermal ısı akısının 0-125.7 mW/m<sup>2</sup> arasında olduğu yerler normal alanlar, 125.7 mW/m<sup>2</sup>'den büyük olduğu yerler ise jeotermal alanlar olarak nitelendirilmektedir. Zonguldak'ta jeotermal ısı akısı, en düşük 48 mW/m<sup>2</sup> ile en yüksek 113 mW/m<sup>2</sup> arasında değişmekte olup ağırlıklı ortalama değeri 70 mW/m<sup>2</sup> olarak verilmiştir [28]. Buna göre Zonguldak jeotermal alan kapsamına girmemektedir.



**Tablo 2.** Zonguldak için jeotermal ısı akısı değerleri ve hesaplanan jeotermal sıcaklık değişimleri. (Isı iletim katsayısının 2 W/m·K değeri için) ([28]'dan düzenledi.)

	En yüksek	En düşük	Ortalama
Jeotermal ısı akısı (mW/m <sup>2</sup> )	113	48	70
Jeotermal sıcaklık değişimi (°C/100)	5.65	2.4	3.5

Yukarıda verilen ölçüm ve benzetim sonuçlarından, ortalama jeotermal sıcaklık değişimi 2.54 °C/100 m çıkmaktadır. Güvenlik payı ile ortalama 2.4 °C/100 m kabul edilip, bu değer yıllık ortalama hava sıcaklığına (13.68 °C) eklenirse, yeraltı suyunun -100 m kotunda 16.08 °C ve -200 m kotunda ise 18.48 °C olacağı tahmin edilebilir (ikisinin ortalaması 17.28 °C).

Çaydamar kuyu başına, Batı yönünde doğrusal uzaklığı 10.3 km, Kozlu kuyu başına ise 7.7 km mesafede İllıksu (Aşağı Çayır) ılıcası bulunmaktadır. Güney yönünde 1.86 km mesafede Kokaksu ılıcası vardır. Her iki ılıcanın sıcaklığı 27 °C'dir. İllıksu'da su debisi 10 Lt/s olarak bildirilmektedir. Bu ılıcaların varlığı ve yukarıda hesaplanan ortalama su sıcaklığı değerinden hareketle, Zonguldak şehrinin altında, maden ocaklarında biriken su sıcaklığının yıl boyu 17 °C değerinin altına düşmeyeceği söylenebilir. Ancak bu konuda ölçümlere dayalı bilgi mevcut değildir.

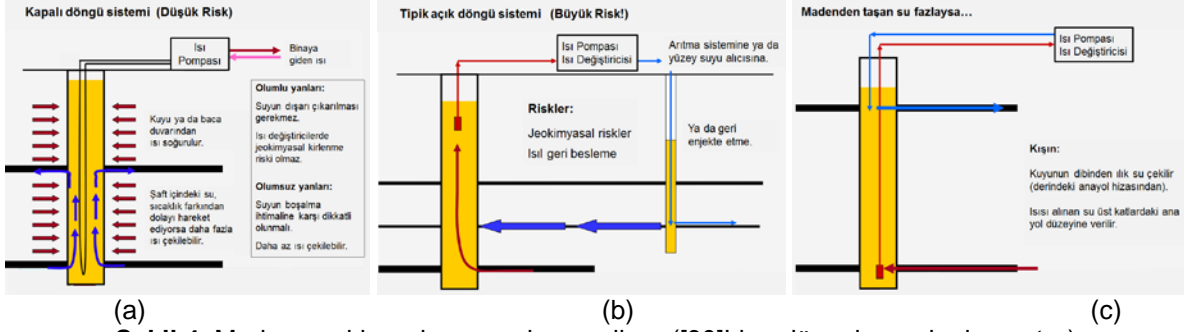
#### 4. YERALTI SUYU ile ISI ALIŞ VERİŞİ

Yeraltında bulunan kömür ya da başka maden ocakları, içinde üretim faaliyeti devam ederken akışkan olarak hava ile doludur. Üretim faaliyeti durmuş ve terkedilmiş maden ocaklarından bazıları zamanla su ile dolar. İster su, ister hava ile dolu olsun yeraltında açılan bir oyuğu çevreleyen kaya (veya toprak) ile oyuk içinde bulunan akışkan arasında bir sıcaklık farkı varsa aralarında ısı transferi meydana gelir. Isı transferinin yönü, sıcaklık farkının yönüne bağlıdır. Bir önceki bölümün sonunda sıcaklıkların -100 m kotunda 16.08 °C ve -200 m kotunda ise 18.48 °C kabul edilebileceği söylenmişti. Bu derinliklerdeki bakir kaya sıcaklıkları elimizde mevcut değildir. Kozlu'da -425 m için verilen 24.17 °C değeri Çaydamar'a yansıtılırsa, buradaki bakir sıcaklığın 18.48 °C'den daha yüksek olması beklenir. Bu durumda etrafını çevreleyen kayalardan, ocağı dolduran suya doğru ısı geçişi olacaktır. Ancak burada sıcaklık farkının çok düşük ve su kütlesinin çok büyük olması nedeniyle suyun kayaç bakir sıcaklığına yükselmesi çok uzun zaman alacaktır. Yeraltı su kaynaklarının sebep olduğu dipten yüzeye su akıntısı, sıcaklık yükselmesini engelleyici etkiye sahiptir.

Yeraltı su kaynağı olmayan, ya da durgun kabul edilebilecek derin, kapalı hacimleri dolduran su kütlesi içinde; derindeki su sıcaklığının, yüzeye yakın su sıcaklığından yüksek olmasından kaynaklanan yoğunluk farkı doğal taşınım (konvektif hareket) sebep olacaktır. Madenleri dolduran suların, derine indikçe tuzluluk oranı artmaktadır. Tuzluluk artışından kaynaklanan yoğunluk artışı, suyun konvektif hareketini engelleyici rol oynar [9]. Hamm ve Sabet [9], yaptıkları modelleme çalışmasında arındaki (üretim alanındaki) yüzey sıcaklığındaki düşüşün çevredeki gözenekli kayaçların geçirgenliğine oldukça bağımlı olduğunu göstermişlerdir.

Yeraltında maden ocakları açılırken karşılaşılan yeraltı suları, belirli yerlere kurulan havuzlarda toplanıp pompalarla yeryüzüne basılır. Ocak terkedilip dışarıya su atımı durduğunda o sular ocakları doldururlar. Çaydamar için bu yeraltı akıntılarının kesildiği yerin kotları, suyun sıcaklığı ve debisi hakkında kayıtlar yoktur. Ancak ocaklar kapatılmadan önce ve kapatıldıktan sonra Zonguldak lavuarı kapatılıncaya kadar Çaydamar'dan lavuara verilen su miktarının 3.600 m<sup>3</sup>/gün (~41.67 kg/s) olduğu kayıtlarda mevcuttur. Şu anda bu su dereye akıtılmaktadır. Kışın ortalama 18 °C sıcaklıkta akan bu suyun doğrudan ısı kaynağı olarak kullanılması halinde, 8 °C sıcaklık farkı ile  $q = \dot{m}c_p \Delta T = 41.67 \times 4.18 \times 8 = 1393.44 \text{ kW}$ lık ısı çekilebilir. Bu ısı ile, 100 m<sup>2</sup>'lik 70 kadar dairenin veya eşdeğer binanın ısı ihtiyacı karşılanabilir. Bunun için ısı pompası tesisinin suyun yüzeye çıktığı kuyu başında kurulması, tesis kurulan yere suyun borularla taşınması veya sonda ile “-” kotlardaki galerilerden su çekilmesi seçeneklerinden biri uygulanabilir.

Ocak suyundan ısı çekmek için açık döngü (Şekil 4-a), kapalı döngü (Şekil 4-b) gibi topraktan, yeraltı sularından ya da düşük sıcaklıklı jeotermal kuyulardan ısı çekmek için kullanılan mevcut teknikler ya da maden kuyularından taşan suyun doğrudan ısı pompasına alındığı uygulamalar yapılabilir. Bunun bir başka uygulaması, kuyu/baca dibinden çekilen suyun, ısısı alındıktan sonra taşma kotuna geri enjekte edilmesi şeklinde olabilir (Şekil 4-c) [14, 30].



Şekil 4. Maden ocaklarından ısı çekme yolları. ([30]'den düzenlenerek alınmıştır.)

Derin ocaklarda en önemli ısı kaynağı, çevre kayaçların sahip olduğu jeotermal enerjidir. Bu enerji seviyesini ve bu kaynaktan gelen ısı akımını etkileyen birçok faktör olmasından dolayı, bu kaynağın analizi ve bu kaynaktan gelen ısı akımının kestirimi güçtür [26]. Yerin merkezinden gelen jeotermal ısı yanında, yüzeye gelen güneş ışınımının toprak, taş, yeşil örtü, binalar vs ile soğurulan kısmının belli bir oranı toprağın derinliğe doğru ilerleyecek ve yeryüzünde bu şekilde bir denge kurulmuş olacaktır.

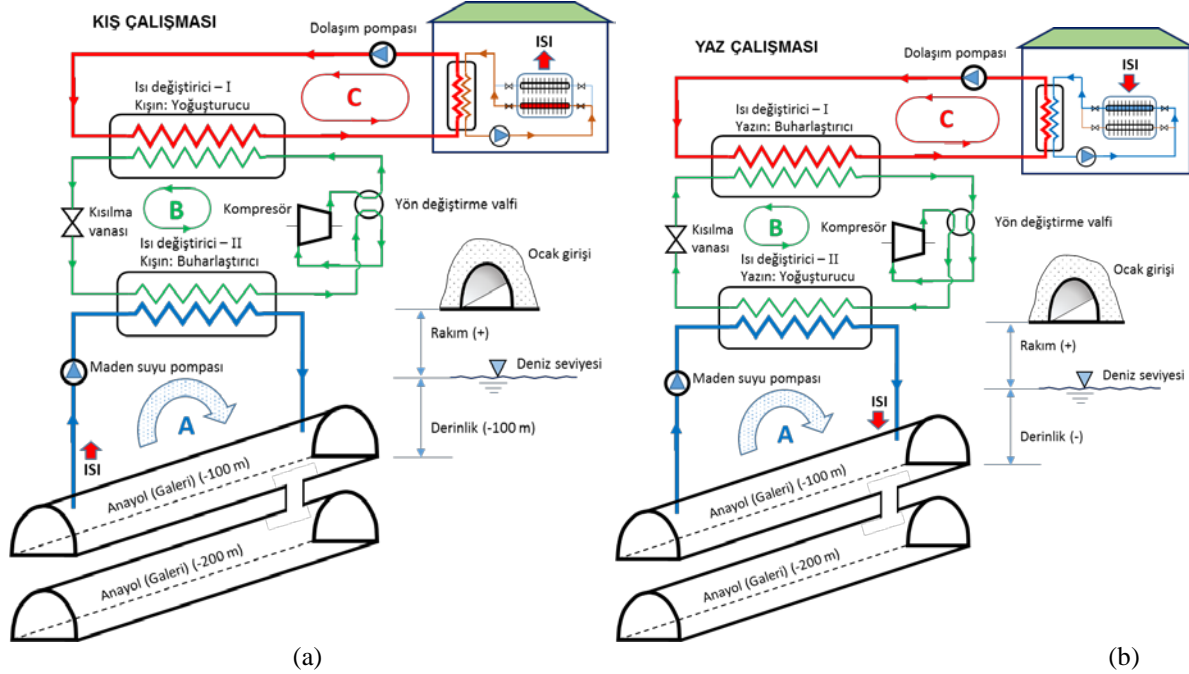
Madenlerdeki suyun ısıtma soğutma işlemlerinde kullanılmasına dair iki ayrı plan uygulanmaktadır. Bunlar sabit sıcaklık planı (thermostat plan) ve ısı depolama planıdır (the thermal accumulator plan). Bunlara ilave olarak amacı doğrudan ısıtma veya soğutma olmayan ancak pik enerji (elektrik) ihtiyacı olan saatlerde gaz türbinine basınçlı hava sağlamak olan (maden ocağında sıkıştırılmış) basınçlı hava ile enerji depolama planı (CAES, Compressed Air Energy Storage) vardır [2]. Termostat planında kışın yeraltından çekilen ısı, yazın tekrar geri verilir. Isıl depolama planında birinde ılık su, diğerinde soğuk su bulundurulur, birbirinden bağımsız iki yeraltı tünel şebekesi olmalıdır. Ilık tünel yazın soğutma makinası yoğunlaştırıcısından çekilen ısı ve ilave olarak güneş enerjisi kaynaklı sıcak su ile ısıtılır. Böylece kış için enerji depolanmış olur. Soğuk depo olarak kullanılan tünellerdeki su, kışın soğuk yüzey ve göl suları enjekte edilerek veya içinde dolaştırılarak soğutulur ve böylece yazın soğutma sistemlerinde daha düşük sıcaklıkta yoğunlaştırma sağlanabilir. Böylece kış için daha sıcak, yaz için daha soğuk kaynaklar elde edilmiş olur. Her iki durumda da sistemin COP değeri artırılmış olur. Üçüncü plan (CAES) konumuz dışında olduğundan detay verilmemiştir.

#### 4.1. Isıtma Potansiyeli

Terkedilmiş maden ocaklarından biriken yeraltı suları kışın ısı pompası ısı kaynağı, yazın da soğutma sistemleri için soğuk kaynak olarak kullanılabilir. Bu alanda ülkemizde kurulmuş, çalışan başarılı örnekler vardır ancak sayıları Batılı ülkelerle karşılaştırıldığında oldukça azdır.

Antalya'da bir AVM'nin yer altı suyu kaynaklı VRF sisteminin tanıtıldığı ve performans değerlerinin verildiği bir çalışmada COP değerinin yaz çalışmasında 4.85 ile 8.39 arasında (aritmetik ortalama 6.73); kış çalışmasında ise 5.45 ile 6.30 arasında (aritmetik ortalama 5.97) değişik değerler aldığı bildirilmiştir [31]. Bu uygulamada yer altı suyu olarak binanın temeli altında, 80 m derinlikte bulunan ve yıllık sıcaklık ortalaması yaklaşık 18 °C olan su kullanılmıştır. Su, yeraltı deresinden alınıp tekrar aynı dereye verilmektedir. Akarsu olduğu için ısı geri besleme riski yoktur. Uygulanan sistem maden ocaklarında taşkın su ile ısıtma/soğutma yapılan sistem ile aynıdır. Madenlerdeki suların ısısı alındıktan sonra tekrar ocağa verilmesi zamanla yeraltı suyunun soğumasına sebep olabilir. Bunun önüne geçmek için çekilen ısının jeotermal ısıdan karşılanmasının mümkün olmadığı hallerde, yazları soğutma sistemi yoğunlaştırıcısında ısınmış suyun ocaklara enjekte edilmesiyle telafi edilmesi gerekir.

Çaydamar ocakları üzerinde kamu ve özel sektör işyerleri, Zonguldak Belediye Başkanlığı binası, tren garı, küçük sanayi sitesi, resmi ve özel okullar, konutlar yer almaktadır. Bu binaların bir kısmı, -100 m ya da -200 m kotlarından geçen galerilerden çekilecek suyu ısı kaynağı olarak kullanan ısı pompası sistemiyle ısıtılabilir. Aynı binalar yazın da klima sistemleri için maden suyunu kullanarak soğutma sistemi performansını artırabilir. Önerilen sistemin yaz ve kış çalışması Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Yeraltı maden suyu ile ısıtma ve soğutma yapılması. (a) Kış çalışması, (b) Yaz çalışması.

#### 4.2 Isı Potansiyeli Örnek ve Parametrik Hesaplama

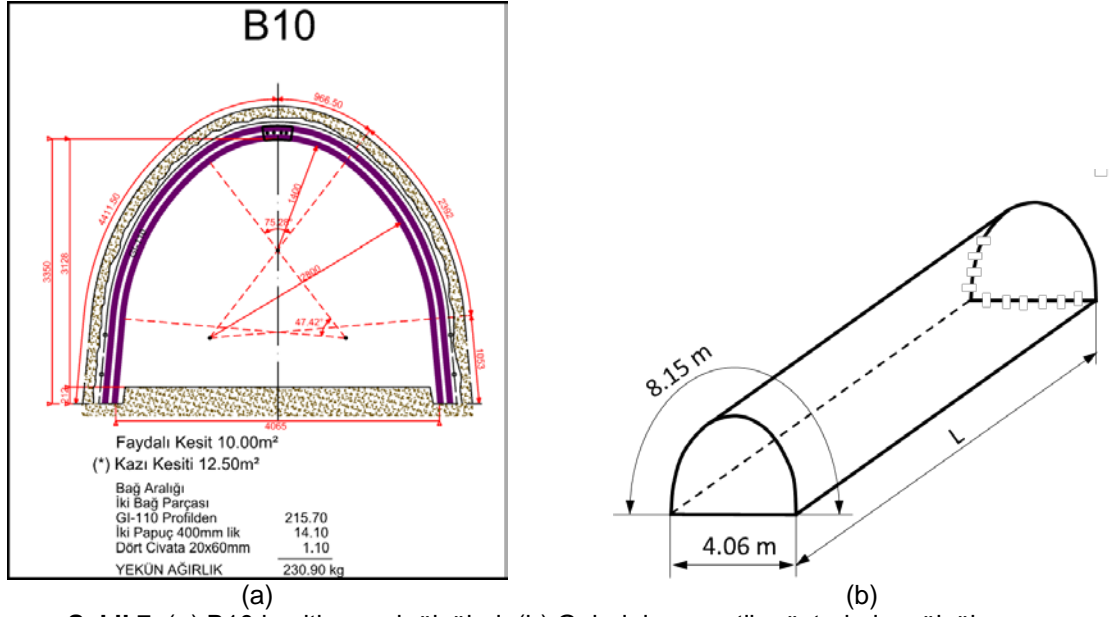
Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK) ocaklarında genellikle B8 ve B10 olarak tabir edilen kesitler kullanılmaktadır. Şekil 7-a'da B10 kesitinin ölçüleri ve gerçek şekli verilmiştir. Şekil 7-b'de aynı şekil ve kesite sahip bir anayolun (galerinin) şematik şekli üzerinde ısı transferi hesabına esas olan taban genişliği ( $W$ ) ve üst çevre uzunluğu ( $P_u$ ) ile boyu ( $L$ ) gösterilmiştir.

Isı potansiyeli hesabında en önemli husus galerinin birim yüzeyinden suya ne kadar ısı geçeceğidir. Pingjia ve Ning [2], yeraltı sularını çevreleyen toprak ve kayalardan suya olan ısı akısını, Çince kaynakları referans göstererek  $210 \text{ W/m}^2$  olarak vermişlerdir [2]. Ancak bu değeri destekleyen başka kaynağa rastlanılamamıştır. Eğer bu değer doğru ise doğru 1 km boyunda anayolda hareketsiz duran suya çevresinden aktarılan ısı,

$$q = q'' \times A_v = 210 \times 12210 = 2\,564\,100 \text{ W} \cong 2564 \text{ kW}$$

olmalıdır. İlgili çalışmada, ısıtma sezonu 120 gün, günlük çalışma süresi 20 saat olarak verilirken, yaz sezonu süresi hakkında bilgi bildirilmemiştir. Sadece yazın suyun  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de alınıp,  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de geri verileceği bildirilmiştir [2]. Ocak suyundan km başına bu kadar ısı çekilirse su sıcaklığı azalacaktır. Yazın bu ısının geri verilmesiyle termostat planı uygulanmış olur.

Zonguldak'ta ısıtma sezonu yaklaşık altı ay, yaz sezonu ise üç aydır. İlkbaharda ve sonbaharda geçiş dönemlerinde ısıtma veya soğutma ihtiyacı duyulmamaktadır. Termostat planı uygulanacak ise ısıtma sezonunda çekilen ısının daha düşük tutulmasında fayda vardır. Burada, 1 km anayol (galeri) başına yeraltı suyundan 1000 kW ısı çekilmesi esasına göre hesaplar yapılmıştır. Bu değer, yeraltı suyunu saran kaya ve topraktan suya  $81.9 \text{ W/m}^2$ 'lik ( $\sim 82 \text{ W/m}^2$ ) ısı girişi anlamına gelmektedir. VDI 4640'da, güçlü zemin suyu akımında çakıl ve kum içeren bir yerde, derin sonda ile topraktan ısı çeken tekli sistem sondaların birim boyu için önerilen ısı çekme gücü,  $80\text{-}100 \text{ W/m}$  ile daha uyumludur.



**Şekil 7.** (a) B10 kesiti gerçek ölçüleri. (b) Galerinin şematik gösterimi ve ölçüler.

Hesaplamaalarda ocak iç kesiti B10 (10 m<sup>2</sup>), çevresi  $P = 12.21$  m, boyu  $L = 1000$ m, sezon  $D = 180$  gün, günlük çalışma süresi  $h = 16$  saat, kömür alt ısıl değeri  $H_a = 27170$  kJ/kg (6500 kcal/kg) ve yanma verimi  $\eta_K = 0.90$  alınmıştır. Sisteme ait bütün bu değerler Tablo 3'te topluca gösterilmiştir.

Anayolun 1 km'si başına yeraltı suyundan 1000 kW ısı çekecek ısı pompasının sağlayacağı ısı miktarı onun  $COP_{IP}$  değeri ile değişecektir. Su kaynaklı ısı pompası uygulamalarında  $COP_{IP}$  değeri rahatlıkla 5'in üzerine çıkabilmektedir [31]. Isıtılacak yerlere verilebilecek ısı miktarları, değişik  $COP_{IP}$  değerleri için hesaplanmıştır. Aşağıda  $COP_{IP}=5$  için hesap adımları verilmiştir.  $COP_{IP}$ 'nin 2.0 ile 6.0 arasındaki değerleri için sonuçlar Tablo 4'te sunulmuştur.

Hesaplarda kullanılacak bağıntılardan, buharlaştırıcı kapasitesi ( $q_H$ ) ve yoğuşturucu kapasitesi ( $q_L$ ) ile ısı pompası etkinlik değeri ( $COP_{IP}$ ) ve soğutma makinası etkinlik değeri ( $COP_{SM}$ ) arasındaki ilişkiler aşağıdaki şekilde yazılabilir:

Isı pompası için:

$$COP_{IP} = \frac{q_H}{W_{net}} = \frac{q_H}{q_H - q_L} \quad (1)$$

$$q_H = \frac{COP_{IP} \times q_L}{COP_{IP} - 1} \quad (2)$$

Soğutma makinası için:

$$COP_{SM} = \frac{q_L}{W_{net}} = \frac{q_L}{q_H - q_L} \quad (3)$$

$$q_H = \frac{q_L(COP_{SM} + 1)}{COP_{SM}} \quad (4)$$

Buna göre, ısı kaynağından  $q_L = 1000$  kW ısı çeken,  $COP_{IP}$ 'si 5 olan ısı pompasının vereceği ısı,

$$q_H = \frac{COP_{IP} \times q_L}{COP_{IP} - 1} = \frac{5 \times 1000}{5 - 1} = 1250 \text{ kW olacaktır.}$$

**Tablo 3.** Sisteme ait değerler.

Açıklama	Sembol	Değeri	Birimi
Kesit alanı	$A_k$	10	m <sup>2</sup>
Taban genişliği	$W$	4.06	m
Üst çevre uzunluğu	$P_{\dot{u}}$	8.15	m
Tüm çevre uzunluğu	$P=W+P_{\dot{u}}$	12.21	m
Galeri boyu	$L$	1000	m
İç yüzey alanı	$A_y = P \times L$	12210	m <sup>2</sup>
Birim alandan alınabilecek ısı	$q''$	82	W/m <sup>2</sup>
Tüm yüzeyden çekilebilecek ısı	$q_L = q'' \times A_y/1000$	1000	kW
Sezondaki gün sayısı	$D$	180	gün/sezon
Günlük ısıtma süresi	$H$	16	saat
Sezon boyunca çekilecek ısı	$Q_{sezon} = h \times D \times q_L/1000$	2,288,000	kWh
Kömür alt ısı değeri	$H_a$	27170 (6500)	kJ/kg (kcal/kg)
Kalorifer kazanı verimi	$\eta_k$	0.90	-

Bu enerji, alt ısı değeri  $H_a$  olan yakıt (kömür),  $\eta_k$  verimli bir kazanda yakılarak elde edilirse, bir ısıtma sezonu boyunca harcanması gereken kömür miktarı:

$$m_k = \frac{q_H \times h \times D \times 3600}{H_a \times \eta_k} \quad (5)$$

Bağıntısı ile hesaplanabilir.

Tablo 3'te verilen değerlerle, sezon boyunca yakılması gereken kömür miktarı,

$$m_k = \frac{1250 \times 16 \times 180 \times 3600}{27170 \times 0.90} = 529996 \quad \text{kg olarak bulunur.}$$

Isıtmada, kömürlü kazan yerine ısı pompası kullanılması halinde kompresörü çalıştırmak için gerekli elektriğin kaynağı önemlidir. Zonguldak'ta, elektriğin kömür yakıtlı termik elektrik santralinden sağlandığını varsaymak gerçekçi bir kabul olacaktır. Kompresörü çalıştırmak için kömür yakılacağına göre, ısı pompası kullanılmasıyla,  $m_k$  değerinin tamamı tasarruf edilmiş olmayacaktır. O halde kompresör gücü karşılığı elektriği elde etmek için ne kadar kömür yakılması gerektiğini hesaplayıp, aradaki farkı bulmak gerekecektir. Dolayısıyla 1 kWh elektrik elde etmek için harcanan kömür miktarının bilinmesi gerekir. Türkiye için ortalama bir değer, basılı kaynaklarda doğrudan bulunamamıştır.

Çatalağzı Termik Elektrik Santrali (ÇATES) için özgül yakıt tüketimi değeri, 1992-2013 arasındaki yıllar için ortalamaların ortalaması alınarak hesaplanmış ve 0.8061 kg/kWh olarak bulunmuştur. Dönem içinde en küçük değer 0.6764 kg/kWh olarak 1994 yılında, en yüksek değer ise 0.8994 kg/kWh ile 2009 yılında gerçekleşmiştir. Hesaplar, firmanın internet sayfasında yayınlanan elektrik üretim ve kömür tüketim değerleri esas alınarak yapılmıştır. ÇATES'te ÖYT'nin yüksek çıkması, kullandığı kömür ile ilgilidir. Santral, koklaşma kabiliyeti olmayan, elek altı diye tabir edilen kömürü yakmak amacıyla özel olarak kurulmuştur. Burada kullanılan kömür, yeraltından çıkarılan kömürün yıkandığı ve zenginleştirme işlemine tabi tutulduğu lavuar tesislerinde, koklaşabilir kömürden arta kalan kömür tozu, taş, toprak ve su karışımından oluşan çamur görünümlü bir kömürdür (şlam). Zonguldak taş kömürü ortalama 6500-7000 kcal/kg alt ısı değere sahipken, bu santralin kazanları 3500 kcal/kg ısı değere sahip kömürü yakacak şekilde dizayn edilmiştir. Yakıtın düşük kalorili ve yüksek kül içerikli olması nedeniyle bu santralin özgül yakıt sarfiyatının yüksek çıkması olağan bir sonuçtur.

Elektrik üretiminde özgül yakıt sarfiyatı (ÖYT) Zonguldak Çatalağzı'nda kurulu Eren Enerji santralleri (ZETES) için firmanın verdiği elektrik üretimi ve harcanan kömür miktarı değerleri kullanılarak hesaplanmış ve yaklaşık 0.3435 kg/kWh değeri bulunmuştur.

Hindistan'da da düşük kalorili ve yüksek kül oranlı kömürler nedeniyle bu değer in ülke ortalaması 0.70 kg/kWh olarak verilmiştir. Pingjia ve Ning [2], 2009 değerlerine göre Çin için ÖYT değerini ortalama 0.342 kg/kWh olarak vermiştir.

ÇATES ve ZETEZ santralleri için hesaplananlar ile bazı ülkeler için yayınlanmış bilgilerden derlenen özgül yakıt (kömür) tüketimi değerleri, takip kolaylığı olması için Tablo 5'te topluca verilmiştir.

Türkiye'deki kömürlü termik santrallerin çoğunun düşük ısıl değerli ve yüksek kül oranlı yerli linyit yaktığı dikkate alınarak, ortalama ÖYT değerinin 0.6 kg/kWh'in üzerinde çıkacağı tahmin edilebilir. Aşağıdaki hesaplar yapılırken özgül yakıt tüketimi 0.6 kg/kWh alınmıştır.  $COP_{IP}$ 'nin 2.0 ile 6.0, ÖYT'nin 0.3 kg/kWh ile 0.8 kg/kWh aralığına ait parametrik inceleme sonuçları Tablo 4 ve Şekil 8'de verilmiştir.

Asıl konuya dönülürse: Kompresörün harcayacağı elektriğin elde edilmesi için harcanması gereken kömür miktarı,

$$m_{IPe} = \left( \frac{q_H}{COP_{IP}} \right) \times h \times D \times (\text{ÖYT}) = W_{net} \times h \times D \times (\text{ÖYT}) \quad (6)$$
$$m_{IPe} = \left( \frac{1250 \text{ kW}}{5} \right) \times 16 \left( \frac{\text{h}}{\text{gün}} \right) \times 180 \left( \frac{\text{gün}}{\text{sezon}} \right) \times 0.60 \left( \frac{\text{kg}}{\text{kWh}} \right)$$
$$m_{IPe} = 432000 \frac{\text{kg (kömür)}}{\text{km (galeri)}}$$

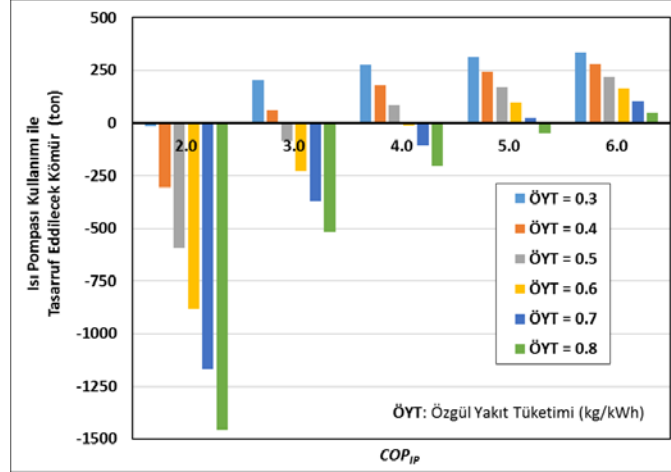
Daha önce, 1250 kW ısı ihtiyacı için ısıtma sezonu boyunca yakılması gereken kömür miktarı ( $m_K$ ) 529996 kg olarak hesaplanmıştı. Aynı ısı ihtiyacını karşılamak için gerekli ısı pompasının kompresör gücü 250 kW olup, bu elektriği üretmek üzere harcanması gereken kömür miktarı 432000 kg olarak bulundu. Aradaki fark, 1 km maden galerisi için,

$$Fark = m_K - m_{IPe} = 529996 - 432000 = 97996 \frac{\text{kg}}{\text{km}} \approx 98 \frac{\text{ton}}{\text{km}}$$

olmaktadır. 98 ton kömürün yanmaması, kullanılan kömür içindeki karbon ve kükürt yüzdesine bağlı olarak daha az CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> salınması demektir.

**Tablo 4.** Maden suyundan çekilecek 1000 kW'lık ısı karşılığı ısı pompasının vereceği ısı ( $q_H$ ) ve bunun kömür karşılığı ( $m_K$ ) ile değişik  $COP_{IP}$  değerleri ve ÖYT değerleri için ısı pompasının sağlayacağı kömür tasarrufu miktarları.

$COP_{IP}$	$q_H$ (kW)	$m_K$ (ton)	Kömürlü TES Özgül Yakıt Tüketimi (ÖYT) (kg/kWh) ve Tasarruf Edilen Kömür Miktarı (ton)					
			ÖYT=0.3	ÖYT=0.4	ÖYT=0.5	ÖYT=0.6	ÖYT=0.7	ÖYT=0.8
2.0	2000	848.0	-16	-304	-592	-880	-1168	-1456
3.0	1500	636.0	204	60	-84	-228	-372	-516
4.0	1333	565.3	277	181	85	-11	-107	-203
5.0	1250	530.0	314	242	170	98	26	-46
6.0	1200	508.8	336	278	221	163	106	48



Şekil 8. Tablo 4’de verilen değerlerin grafik gösterimi.

Tablo 4 ve Şekil 8’in incelenmesinden görüldüğü üzere  $COP_{IP}$  değeri 2’den küçük ise ısı pompası en verimli santraldan elde edilen elektrikle çalışsa dahi toplamda daha fazla kömür harcanacağı anlamına geliyor. Tersi olarak eğer  $COP_{IP} = 6$  ve daha büyük ise ÖYT değeri 0.3 kg/kWh olan TES’ten elde edilen elektrikle bile çalışsa, ısı pompası kullanımı kömür tasarrufu sağlayacak demektir. Örneğin,  $COP_{IP}=4$  olan ısı pompası, elektrikli ÖYT=0.3 kg/kWh olan bir santraldan temin ederse; bir ısıtma sezonunda 277 ton kömür tasarrufu sağlayacak, buna karşılık ÖYT=0.8 kg/kWh olan bir santraldan temin ederse bu sefer de 203 ton fazladan kömür harcanmasına sebep olacak demektir. Buradan, elektrik üretiminde verimlilik artışının önemi görülmektedir. Tabloda ve şekilde, başında “-” işareti olan değerler olumsuz, “+” olup da sayısal değeri ne kadar büyükse o kadar iyi demektir.

Tablo 5. Zonguldak’tan iki termik elektrik santrali ve üç ülke için özgül yakıt (kömür) tüketimi değerleri.

Tesis/Ülke	ÖYT (kg/kWh)	Açıklama	Kaynak
ÇATES	0.8061	(Yerli) Düşük ısı değer, yüksek kül oranı	[32]’den hesaplandı
ZETES	0.3435	(İthal) Yüksek ısı değer, düşük kül oranı	[33]’dan hesaplandı
Hindistan (ort.)	0.7 - 0.78	Düşük ısı değer, yüksek kül oranı	[34]
ABD (ortalama)	0.4717*	-	[35]
	0.476	-	[36]
Çin (ortalama)	0.342	-	[2]

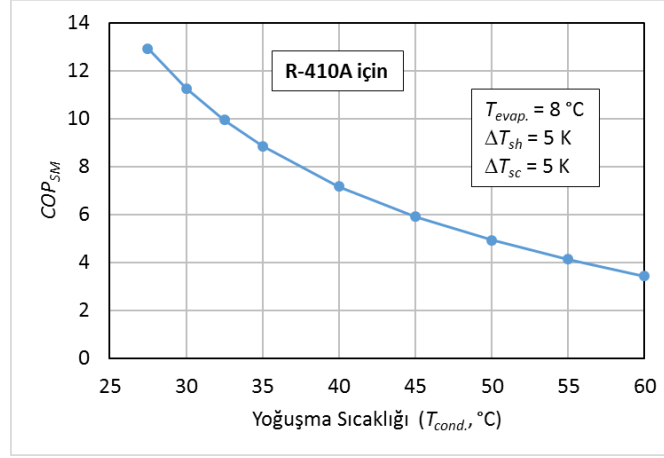
\*: Orijinal değer: 0.00052 short tons / kWh (1 short ton = 907,18474 kg)

#### 4.3. Madendeki Suyun Soğuk Kaynak Olarak Kullanılması

Soğutma sezonunda, soğutma makinası yoğuşturucusunda ısının atmosfer havasına atılması yerine yeraltı suyuna atılması hem soğutma etkinlik katsayısını yükseltecek hem de ısınan suyun tekrar yeraltına gönderilmesi, yeraltındaki suyun kışın ısı çekilmesine hazır hale gelmesini sağlayacaktır. Sabit su sıcaklığı planı (termostat planı). Bunun yanında suğutma yapılınsın ya da yapılmasın yeraltı suyu yazları, pasif güneşli su ısıtıcılar ile ısıtılarak tekrar yeraltına gönderilebilir (ısı depolama planı). Aynı elemanlardan oluşan, hem ısıtma hem soğutma yapan sistemin prensip şeması Şekil 6’da verilmiştir.

Zonguldak’ta kullanılmakta olan mevcut bireysel ve küçük ölçekli binalardaki klima sistemleri hava soğutmalı yoğuşturuculara sahiptir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nün 1950-2015 yılları arası ölçüm sonuçlarına göre Zonguldak’ta en sıcak üç ayın sıcaklık ortalaması 38.2 °C olarak elde edilmiştir. Buna göre Zonguldak’ta yazın çalışacak hava soğutmalı bir yoğuşturucuda; 5 derece aşırı soğutma payı ve 5 derece de ısı transferi sağlamak için fark eklenirse, soğutucu akışkan yoğuşma sıcaklığı en az 48 °C kadar olmalıdır. Buharlaştırma sıcaklığı 8 °C ve yoğuşma sıcaklığı 48 °C için soğutucu akışkan R-410A kullanan bir sistemin soğutma etkinlik katsayısı,  $COP_{SM} = 5.29$ ’dur. Şekil 9’da soğutucu akışkan R-410A için buharlaştırma sıcaklığı 8 °C olarak sabit iken, yoğuşma sıcaklığının 27.5 °C ile 60

°C arasında değişmesine bağlı olarak  $COP_{SM}$ 'nin değişimi gösterilmiştir. Diğer değerler yukarıda bahsedildiği gibidir ve şekil üzerinde ayrıca açıklanmıştır.



**Şekil 9.** Soğutucu akışkan R-410A için buharlaşma sıcaklığı 8 °C, aşırı kızdırma ve aşırı soğutma değerlerinin 5 K olması halinde; yoğuşma sıcaklığının 27.5 °C ile 60 °C arasında değişmesine bağlı olarak  $COP_{SM}$ 'nin değişimi.

Diğer tüm değerler aynı kalmak üzere, yoğuşurma işlemi atmosferik hava yerine 18 °C'deki yeraltı maden suyu ile yapılırsa; bu durumda en düşük yoğuşma sıcaklığı 28 °C ve  $COP_{SM}$  ise 12.56 olmaktadır. Bu durum, soğutma sistemi etkinliğinin iki katından fazla artışı demektir. Burada  $COP_{SM}$  hesaplanırken, su pompalarının güçleri hesaba katılmamıştır. Gerçek sistemde etkinlik değerleri biraz daha düşük çıkacaktır ancak yine de bir fikir verebilir. Örneğin soğutulacak ortamdaki 1000 kW ısı çekilen bir uygulamada, yoğuşma sıcaklığının 50 °C'den 40 °C'ye düşürülmesi halinde kompresör gücü 203 kW'tan 140 kW'a düşmektedir. Üç aylık soğutma/serinletme sezonu boyunca, sistemin günde 10 saat çalıştırıldığı kabul edilirse toplam 900 saat çalışma ve sonunda tasarruf edilen elektrik enerjisi  $900 \times (203 - 140) = 56700$  kWh olur. Bu enerji miktarı, 1 kWh elektrik elde etmek için 0.6 kg kömür yakıldığı kabulü ile yaklaşık 34 ton kömüre eşdeğerdir. Yoğuşma sıcaklığı 40 °C yerine 30 °C alınmış olsaydı elektrik tasarrufu 102940 kWh, kömür tasarrufu ise 61.7 ton olurdu.

## SONUÇ

Bu çalışmada, terk edilmiş Çaydamar ocaklarını doldurup taşan veya yeraltında hareketsiz duran suyun ısı pompaları için ısı kaynağı ve soğuk kaynak olarak kullanılabileceği gösterilmiştir. Çaydamar'ın en büyük avantajı Zonguldak şehir merkezinde bulunmasıdır. Tamamen su dolu haldeki bu maden ocakları kamu ve özel sektör işyerleri, Zonguldak Belediye Binası, tren garı, küçük sanayi sitesi, resmi ve özel okullar, öğrenci yurtları ve konutların altında yer almaktadır. Dolayısıyla yüksek borulama maliyetine gerek kalmadan ısı pompası uygulanabilecek mekânlar mevcuttur.

Kurulacak sistemin, ısıtma sezonunda çalışırken  $CO_2$  ve  $SO_2$  salımını azaltıcı etkisinin olması  $COP_{IP}$  değerine ve kullanılan elektriğin üretimindeki özgül yakıt tüketimine bağlıdır. Yeraltı suyunun yaz döneminde soğutma sistemleri yoğuşurucusunda kullanılması her koşulda kömür tasarrufu ve dolayısıyla  $CO_2$  ve  $SO_2$  salımını azaltıcı yönde fayda sağlayacaktır.

Türkiye'de, son yıllarda özelleştirme öncesi yapılan yenileme ve modernizasyon çalışmaları sonucunda kömürlü termik elektrik santralleri özgül yakıt tüketimi değerleri nispeten iyileşmiştir. İthal kömüre dayalı TES'lerde yüksek kaliteli kömür kullanımı ve yeni yakma teknolojileri uygulanmış olması nedeniyle toplam verim yüksek, ÖYT düşüktür. Tüm Türkiye'deki kömürlü santraller için ÖYT ortalama değeri tespit edilememiştir. Ancak bu değer 0.7'den büyük olmayacağı tahmin edilebilir. Bu değer geçerli kabul edilirse, ısıtma sezonunda kullanılacak ısı pompası  $COP_{IP}$  değerinin 5'ten düşük olması



halinde net kömür tasarrufu yapılamayacaktır. Ancak yaz çalışması ile birlikte düşünüldüğünde yine kurulması önerilir. Buradan, sera gazı salımı anlamında elektriğin güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir kaynaklardan elde edilmesinin önemi açıkça görülmektedir.

Zonguldak'ta (kömür değil) madencilik bitmeye yüz tutmuşken, ancak bir madencilik müzesi kuruldu. Oysa 1990'lı yıllardan beri konuşuluyordu. Çaydamar Ocakları kapatıldığı zaman, oranın çevresel düzenlenmesinin yapılıp, müze ve sosyal mekanlara dönüştürülmesi, endüstriyel kültür mirası olarak korunması için çaba gösterenler, çalışma yapanlar oldu. Ancak başarılı olunamadı. Oysa hem konumu hem içerdiği makine ekipman hem de binaları ile ocak girişi, kuyu ağzı vs. ile bu iş için mükemmel bir yerdi. Sonra başka mekânlar da aynı şekilde yıkıldı yok edildi. Oysa “gelişmiş” diye gıpta edilen ülkelerde bu işlerin çok başarılı örnekleri var. Sayfa sayısını gereksiz artırmamak için buraya alınmadı ancak örnekleri görmek için internette “*industrial heritage*” diye görselleri aratmak yeterlidir. Çaydamar'dakine benzer, terk edilmiş bir ocak da Kilimli İlçesi merkezine bitişik mesafede Kilimli Bölüm mevkiinde bulunmaktadır. Bu iki yer ve benzerlerine yapılacak sosyal mekânların veya Zonguldak'ta mevcut tren garınının ocak suyu ile ısıtılıp soğutulması, yalnız ekonomik bir kazanç değil, “*Yalnız ve Unutulmuş Kent*”in insanlarına, kömür için canından olmuş beşbinden fazla insanın çocuklarına, torunlarına ciddi bir moral desteği olacaktır.

## KAYNAKLAR

- [1] RICHARD, I.G., PALMER, J.P., BARRATT, P.A., “The Reclamation of Former Coal Mines and Steelworks”, Elsevier, 1993.
- [2] PINGJIA, L., NING, C., “Abandoned coal mine tunnels: Future heating/power supply centers”, Mining Science and Technology (China), 21, 2011
- [3] “Maden Sahaları Rehabilitasyon Eylem Planı, 2014-2018”, T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı. <http://www.cem.gov.tr/erozyon/Files/000/Maden%20Sahalar%C4%B1%20Rehabilitasyon%20Eylem%20Plan%C4%B1%20-%2010.04.2014%20-.pdf>
- [4] KALAYCI, M., “Maden ocaklarında peyzaj onarımı ve planlarının hazırlanması: Kastamonu-Devrekani Örneği”, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniv. FBE, 2016.
- [5] ULUSOY, Y., AYAŞLIGİL, T., “Açık Maden Ocaklarının Rehabilitasyonu ve Doğaya Yeniden Kazandırılmasının “Şile-Avcıkoru” Örneğinde İrdelenmesi”, Journal of the Faculty of Forestry, Istanbul University 62 (2): 21-36, 2012.
- [6] RODRIGUEZ, R., DIAZ, M. B., “Analysis of the utilization of mine galleries as geothermal heat exchangers by means a semi-empirical prediction method”, Renewable Energy, 34, 1716–1725, 2009.
- [7] BIAN, Z., B., INYANG, H., DANIELS, J., OTTO, F., STRUTHERS, S., “Environmental issues from coal mining and their solutions”, Mining Science and Technology, 20, 0215–0223, 2010.
- [8] BELL, F.G., BULLOCK, S.E.T., HALBICH, T.F.J., LINDSAY, P., “Environmental impacts associated with an abandoned mine in the Witbank Coalfield, South Africa”, International Journal of Coal Geology, 45, 195–216, 2001.
- [9] HAMM, V. SABET, B. B., “Modelling of fluid flow and heat transfer to assess the geothermal potential of a flooded coal mine in Lorraine, France”, Geothermics, 39, 177–186, 2010
- [10] KLINGER, C., CHARMOILLE, A., BUENO, J., GZYL, G., SÚCAR, B. G., “Strategies for follow-up care and utilisation of closing and flooding in European hard coal mining areas”, International Journal of Coal Geology, 89, 51–61, 2012.
- [11] VERHOEVEN, R., WILLEMS, E., HARCOUËT-MENOU, V., De BOEVER, E., HIDDÉS, L., Op 't VELD, P., DEMOLLIN, E., “Minewater 2.0 project in Heerlen the Netherlands: transformation of a geothermal mine water pilot project into a full scale hybrid sustainable energy infrastructure for heating and cooling.” 8th International Renewable Energy Storage Conference and Exhibition, IRES 2013.
- [12] GHOREISHI-MADISEH, S.A., HASSANI, F., ABBASY, F. “Numerical and experimental study of geothermal heat extraction from backfilled mine stopes”, Applied Thermal Engineering, 90, 1119-1130, 2015.



- [13] ATHRESH, A.P., AI-HABAIBEH, A., PARKER, P., "Innovative approach for heating of buildings using water from a flooded coal mine through an open loop based single shaft GSHP system", Energy Procedia, 75, 1221 – 1228, 2015.
- [14] AI-HABAIBEH, A., MEYEROWITZ, B., ATHRESH, D. and A., "The design and development of an innovative simulator for an open loop system for extracting energy from flooded coal mines", Energy Procedia, 75, 1470 – 1476, 2015.
- [15] GHOREISHI-MADISEH, S.A., SASMITO, A.P., HASSANI, F.P., AMIRI, L., "Heat transfer analysis of large scale seasonal thermal energy storage for underground mine ventilation", Energy Procedia, 75, 2093 – 2098, 2015
- [16] BURNSIDEA, N.M., BANKSA, D., BOYCEB, A.J., "Sustainability of thermal energy production at the flooded mine workings of the former Caphouse Colliery, Yorkshire, United Kingdom", International Journal of Coal Geology, 164, Pages 85–91, 1 July 2016.
- [17] LIMANSKIY, A.V., VASILYEVA, M.A., "Using of low-grade heat mine water as a renewable source of energy in coal-mining regions", Ecological Engineering, 91, 41–43, 2016.
- [18] ONUR, Ç., "Çaydamar Madencilik Müzesi", Madencilik Bülteni, Madencilik Bülteni, Haziran 2002. [http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/dcb155487b88aaa\\_ek.pdf](http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/dcb155487b88aaa_ek.pdf)
- [19] ÇAKIR, A., "Zonguldak'ın Madencilik Tarihi ve Kültürü Ders Notları", Maden Mühendisliği Bölümü, Bülent Ecevit Üniversitesi, 2013.
- [20] <http://www.taskomuru.gov.tr/index.php?page=sayfagoster&id=7>
- [21] <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=ZONGULDAK>
- [22] <https://www.mgm.gov.tr/FILES/resmi-istatistikler/turkiye-100cm-toprak-sicakliklari-13.pdf>
- [23] SONEL, N., "Petrol Jeolojisi", A.Ü. Fen Fakültesi, A.Ü.F.F. Döner Sermaye İşletmesi Yayınları, No: 46, Ankara 1997.
- [24] MİDTTØMME, K., BANKS, D., RAMSTAD, R.K., SÆTHER, O.M. and SKARPHAGEN, H. "Ground-Source Heat Pumps and Underground Thermal Energy Storage—Energy for the future". In Slagstad, T. (ed.) Geology for Society, Geological Survey of Norway Special Publication, 11, pp. 93–98., 2008. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.507.2658&rep=rep1&type=pdf>
- [25] ERDEM, Ü., "Kozlu (Zonguldak) Bölgesinin Zaman-Sıcaklık-Derinlik İlişkilerinin İncelenmesi", YL Tezi, H.Ü. Fen Bilimleri Enst., 1985
- [26] ÖNDER, M., SARAÇ, S., "Yeraltı Ocaklarındaki İklimsel Koşulların Önceden Belirlenmesi", DEÜ Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt: 5 Sayı: 1, s:137-146, Ocak 2003.
- [27] ÖNDER, Ü.Y., Güyagüler, T., "TTK Karadon Bölgesi Yeraltı Ocaklarında Jeotermal Gradyantın Belirlenmesi, Ü.Y. Önder, T. Güyagüler, Türkiye 14 Madencilik Kongresi, 1995.
- [28] AKIN, U., Uluggerli, E. U., Kutlu, S., "Türkiye Jeotermal Potansiyelinin Isı Akısı Hesaplamasıyla Değerlendirilmesi" MTA Dergisi 149: 205-214, 2014.
- [29] BALTAŞ, A., PELİN, S., "Kilimli Bölgesindeki Kayaçların Isısal İletkenliklerinin Belirlenmesi ve Organik Evriminin Yorumlanması, Zonguldak", Türkiye 12.Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, 23-26 May 2000, Zonguldak-Kdz. Ereğli, Türkiye, Mayıs 2000.
- [30] BANK, D., "Thermal Energy from Mine Working", (Sunum), University of Glasgow. [http://www.gshp.org.uk/London/7\\_BanksGeothermalMinewater.pdf](http://www.gshp.org.uk/London/7_BanksGeothermalMinewater.pdf)
- [31] DOĞAN, V., "Su Kaynaklı VRF ve Antalya'da Bulunan Bir Alış Veriş Merkezinde Su Kaynaklı VRF Uygulaması", IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Bildiriler Kitabı, Sayfa: 225-242, İzmir, 06-09 Mayıs 2009.
- [32] <http://www.cates.gov.tr/isletme/uretim.html>
- [33] <http://www.eren-enerji.com.tr/tr/kurumsal/eren-enerji/zetes-1>
- [34] Mittal, M.L., "Estimates of Emissions from Coal Fired Thermal Power Plants in India", <https://www3.epa.gov/ttnchie1/conference/ei20/session5/mmittal.pdf>
- [35] <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.cfm?id=667&t=2>
- [36] PAMELA L. SPATH, P.L., MANN, M.K., KERR, D. R., "Life Cycle Assessment of Coal-fired Power Production", NREL/TP-570-25119, June 1999.

## TEŞEKKÜR

"E.K.İ. Üzülmez Çaydamar Bölümü Havalandırma Planı"nın temin ederek ve yeraltı suları konusunda bilgiler vererek bu çalışmaya katkı sunan, T.T.K. Üzülmez Taşkömürü İşletme Müessesesi Müdür Yrd. Maden Müh. Ali HEKİM'e ve Hazırlık Başmühendisi, Maden Müh. Birol KARAÇAM'a en içten duygularıyla teşekkür ederim.



## ÖZGEÇMİŞ

### **Mustafa EYRİBOYUN**

1959 yılı Çaycuma-Zonguldak doğumludur. 1982 Zonguldak DMMA Makina Bölümünü bitirmiştir. Yıldız Teknik Üniversitesi'nde 1985'de yüksek lisans, 1997 yılında doktora eğitimini tamamlamıştır. Bülent Ecevit Üniversitesi (BEÜ) Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü'nde Yrd. Doç. olarak çalışmaktadır. Yanma, ısı ve kütle transferi, gaz dinamiği, ısı tekniği gibi alanlar yanında, son yıllarda görüntü işleme konularında da çalışmakta, yazılımlar üretmektedir. Alan dışı fotoğrafçılık dersleri de vermiştir. Sanatsal, sosyal ve kültürel alanda sergileri, gösterileri ve söyleşileri mevcuttur. Okumak, yazmak, fotoğraf çekmek, sinema, müzik gibi hobilerini önemsemektedir.