

TÜRKİYE 6. KÖMÜR KONGRESİ The Sixth Coal congress of TURKEY

YERALTI KÖMÜR OCAKLARINDA YOKSEK SICAKLIK VE RUTUBET SORUNU
HIGH TEMPERATURE AND HUMUOITY PROBLEM IN UNDERGROUND COAL
MINING

Tevfik GÜYAGOLER*

ÖZET

Yeraltı madenciliğinde çalışma katı derinlere indikçe yüksek sıcaklık ve rutubet nedeniyle çalışma koşulları zorlaşmaktadır. Özellikle kömür madenlerinde sıcaklığın derinlikle artışı, kömür ve çevre kayaçlarının ısı geçirgenlik değerlerinin çok düşük olması nedeniyle, metal madenlerine kıyasla yüksek olmaktadır. Türkiye'de şu anda madenlerde herhangi bir sıcaklık sorunu olmamakla birlikte yakın gelecekte sorunun gündeme gelmesi kaçınılmazdır.

Yüksek sıcaklık ve fazla rutubet iş verimini azaltmakta ve hatta çalışmayı olanaksız hale getirmektedir. Bu nedenle gerek derin ocaklar için üretim planlaması, gerekse de mevcut ocağın derinleştirilmesi düşünüldüğünde, diğer sorunlarla birlikte yüksek sıcaklık ve rutubet sorunu da gözönünde tutulmalıdır.

ABSTRACT

As the mining operations go deeper and deeper, working conditions become *more severe* because of the high temperature and moisture. Especially in coal mines, the rate of temperature rise with depth is quite high due to the low thermal conductivity of coal measure rocks. Fortunately, there is no such a problem in Turkey today. But this problem in mining operations will be unavoidable in near future.

It is obvious that high temperature and moisture decrease the working efficiency. It is also possible that this environmental problem may cause to stopping of the workings. Therefore either in planning a production schedule for a new deep mine or deepening the operating mine, high temperature and moisture should be considered together with the other environmental problems.

(x) Doç.Dr. Maden Yük. Müh., O.D.T.Ü.Maden Müh.Bol. .ANKARA

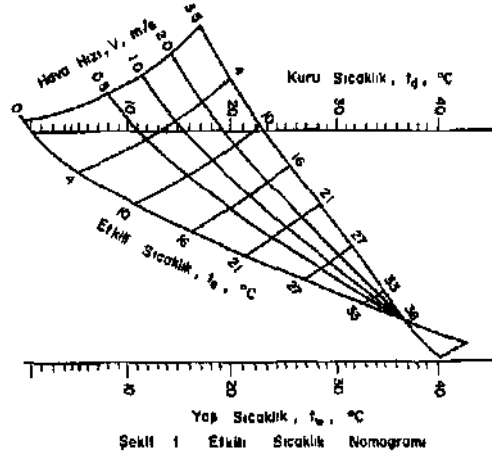
1. GIRIŞ

Günümüzde derin yeraltı madenciliğinin yaygınlaşması, çalışma yerlerinde yüksek sıcaklık sorununu gündeme getirmiştir. Sorun, özellikle kömür madenlerinde daha fazla önem kazanmaktadır. Kömür madenciliğinde, metal madenciliğine kıyasla, daha az derinliklerde yüksek sıcaklıklara maruz kalma olasılığı daha fazladır. Örneğin Almanya'da Ruhr havzasında bazı kömür ocaklarında 1000 metrede görülen sıcaklık, Güney Afrika altın madenlerinde 3000 metrede görülmektedir (1). Özellikle derin madenlerde bir cevher yatağının ekonomik olarak işletilip, işletilemeyeceğinin belirlenmesinde sıcaklık ve rutubet gibi etkenler çok önem kazanmaktadır. Yüksek sıcaklık ve fazla rutubet iş verimini azaltmakta ve hatta bazı koşullarda çalışmayı olanaaksız hale getirmektedir. Konunun önemli nedeniyle çeşitli ülkeler kendi koşullarında sınır değerleri belirlemişler ve uygulamaya sokmuşlardır. Konuya ilişkin araştırmaların başlatılabilmesi için Öncelikle yer-ısı artış değeri yani sıcaklık-derinlik ilişkisinin çıkarılması ve tüm kayaçların ısasal özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Ayrıca maden ocakları için ısı üreten kaynakların belirlenmesi, oluşan ısının ortamdan nasıl uzaklaştırıldığına hesaplanması, başka bir deyişle ocağın ısasal dengesinin saptanması, karşılaşılabilecek konuya ilişkin sorunların çözümlenmesine ışık tutacaktır.

2. ISI VE SICAKLIK

Isı çok bilinen bir enerji şeklidir!. Enerji bir şekilden diğer bir şekle dönüşebilir ancak yok edilemez. Ocaklarda Özellikle elektrik ve mekanik enerji ısı enerjisine dönüşerek önemli bir ısı kaynağını oluştururlar. Isı ile sıcaklık karıştırılmamalıdır. Isı bir enerji olmasına karşın sıcaklık bir durum belirler. Bir cismin ısısı çok az olduğu halde sıcaklığı fazla olabilir, örneğin 40°C de bir kova suyun ısı enerjisi, sıcaklığı 70°C olan bir fincan kahveninkinden daha fazladır. Isının (SI) sisteminde birimi enerji birimi olan JOule (J) dür. Birim zamanda kullanılan enerji yani güç, Joule/saniye olup Watt (W) olarak tanımlanır. Sıcaklık termometre ile ölçülür. Birimi Celcius °C veya Kalvın °K dir. Yeraltında sıcaklık ölçümleri yaş ve kuru sıcaklıklar olmak üzere iki şekilde özel termometreler ile yapılır (2).Ocak havasının yaş sıcaklığının ölçülme nedeni havanın nem içeriğinin belirlenebilmesi için gerekli olmasındandır. Sıcaklıkla birlikte ocağın nem içeriği çalışma ortamının uygun olup olmadığını göstermesi açısından önemlidir. Bu nedenle çalışma standartlarının belirlenmesinde çoğunlukla yaş sıcaklık veya yaş sıcaklığın da bulunduğu bir indeksten yararlanılmıştır örneğin Etkili sıcaklık olarak bilinen değer,havanın yaş ve kuru sıcaklığı ile hava hızından yararlanılarak bulunmaktadır (3,4),Tanım olarak etkili sıcaklık belirli yaş, kuru sıcaklıklar ve hava hızının oluşturduğu çevre koşullarının, durgun ve su buharı ile doymuş havada aynı çalışma koşullarını sağlayan eşdeğer sıcaklıktır.

Diğer bir deyişle yukarıda anlatılan koşulların her birinin de işçinin iklim açısından çalışma rahatlığı aynı olmaktadır. Şekil 1 etkili sıcaklığın bulunması için kullanılan grafiği göstermektedir. Değişik ülkelerde çalışma koşullarını belirleyen sınır *değerlerin* tanımlanmasında yaş sıcaklık ve etkili sıcaklıktan yararlanılmıştır.



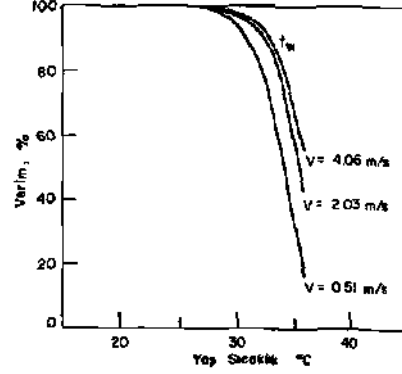
3. ISI İNDEKSLERİ VE STANDAROLAR

Yeraltı maden ocaklarında yüksek ısıda çalışmaya karşı yasalar, yasaklamalar 1960 yılında Belçika, Almanya, Hollanda, Yeni Zelanda ve Polonya tarafından onaylanmıştır. Her ülke kendi standartlarını kendi koşullarına *göre* saptamışlardır, örneğin Güney Afrika'da limit değer 28°C yaş sıcaklığıdır. Bazan kuru ve yaş sıcaklık farkını standart olarak kullanılabilmektedir. 2-3°C sıcaklık farkı arzulanan bir farktır. Ancak bu fark yaş ve kuru sıcaklık değeri ile birlikte anlam kazanmaktadır. Yeraltı ocaklarında havanın soğutma gücü nedeniyle havalandırma havasının hızı da standartların saptanmasında önem kazanmaktadır. Bazı hallerde hava hızı tekbaşına veya yaş sıcaklık ile birlikte "rahatlık" kavramının tanımlanmasında kullanılır. Havanın soğutma gücü ve çalışma koşulları açısından 1.0-2.5 m/s hava hızı uygun bir değerdir. Zira hava hızının artması (2.5-3.0 m/s) başta toz olmak üzere diğer bazı olumsuz etkilenmelere neden olmaktadır. Sovyetler Birliğinde limit çalışma sıcaklığı 26°C, İngiltere'de 28°C olarak belirlenmiştir, İngiltere'de eğer işçi 28°C den daha yüksek sıcaklıkta çalışmak zorunda kalırsa işçi ücret ödenmektedir. ^{gat 1} Almanya'da ise limit sıcaklık değerleri çalışma süresine bağlı olarak belirlenmiştir (Tablo 1) (3).

Tablo 1-F.Almanya Kömür Ocaklarında ısıya ilişkin ayarlamalar, Çalışma ve Dinlenme Süreleri (dakika)

Sıcaklık kuru veya etkili	Toplam Vardiye Süresi	Ayakta Çalışma Süresi	"Yasal Dinlenme Süresi	Ek Dinlenme Süresi	Ayakta En fazla Çalışma Süresi
28 °C(Kuru)	480	480	30	0	450
28°-29°C(etkili)	420	360	30	0	330
29°-30°C	420	300	30	10	260
30°-31°C	420	300	30	15	255
31-32°C	420	300	30	20	250
>32°C	Çalışma Yasaklanmıştır.				

Standard değerlerin belirlenmesinde etkili sıcaklığın veya yaş sıcaklığın kullanılması bunların iş verimine doğrudan etki etmeleri nedeniyledir. Şekil 2 yaş sıcaklık ile iş verimi ilişkisini göstermektedir. Şekilden de görüldüğü gibi 32 C de verim aniden %20 lere düşmektedir. (3,4,5).



SeWi. 2. YQ | Sıcaklığın (t.) Verime Etkisi (o)

3. YERALTI OCAKLARINDA ISI KAYNAKLARI

Yeraltı ocaklarında başlıca ısı kaynakları şöyle sıralanabilir.

- Adyabatik sıkışma (havanın kendi kendini sıkıştırması),
- Kayac» kömür veya cevher katmanları,
- Makine ve teçhizat,
- Oksitlenme, kömürün kendi kendine ısınması,
- insan metabolizması,
- Diğer kaynaklar (patlayıcı madde,kayaç hareketleri vb.)

3.1 .Adyâbatik Sıkışma

Kuyudan inmekte olan hava adyâbatik sıkışma spnucu ışı açığa çıkartmaktadır. Çevre ile havanın ısı alış verişi olmadığı varsayıldığında oluşan ısı ocak havasının sıcaklığını arttıracaktır. Havanın kuyu başındaki potansiyel enerjisinin kuyu dibinde ısı enerjisine dönüşmesi sonucu oluşan ısı miktarı aşağıda gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$Q = \frac{m \cdot g \cdot h}{1000} (= \text{Potansiyel Enerji}) \dots\dots(1)$$

Burada; Q = Oluşan ısı miktarı {KJ}
m = Kütle, (Kg)
g = Yerçekimi ivmesi (m/s²)
h = Yükseklik, (m) dir.

Örneğin 1 kg hava kuyu içinde 100 m. aşağı doğru hareket ettiğinde oluşacak ısı miktarı, $1 \times 9.81 \times 100 / 1000$ yani 0.98 kJ olacaktır. Bu ısının neden olacağı sıcaklık artışı sıcaklık ve ısı arasındaki bağlantıdan kolayca bulunabilir.

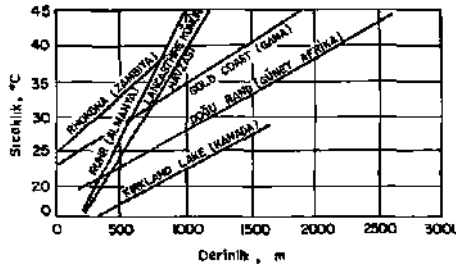
$$Q = C_{pa} T \quad \text{veya} \quad T = Q / C_{pa} \dots\dots\dots(2)$$

Burada; T = Kuru sıcaklık (°C),
C_{pa} = Havanın özgül ısı kapasitesi (=1.005 kJ/Kg/°C) dir.

Sıcaklık artışı eşitlik (2) den 1°C/100 m olarak bulunur. Bu durumda 1000 m. derinliğindeki bir kuyuda hava sıcaklığında 10°C kadar bir artış söz konusu olmaktadır. Ancak pratikte gerek kuyu yüzeyi ile hava arasındaki ısı alış verişi, gerekse kuyu içindeki suyun buharlaşması nedenleriyle ısı artışı 10 C den az olmaktadır (5),

3.2. Kayaçlardan Gelen Isı

Özellikle çok derin ocaklarda önem kazanmaktadır. Bilindiği gibi yerkürenin merkezine doğru ortamın sıcaklığı artmaktadır. Yer-sıcaklık-artışı (Geothermal Gradient) olarak tanımlanan bu artış yeryüzünün değişik yerlerinde değişik karakteristikler göstermektedir. Isı iletkenliği az olan kayaçların bulunduğu yerlerde (Kömür serisi kayaçlar gibi) yer-sıcaklık-artışı fazla olmaktadır. Örneğin Lancashire kömür sahasında her 34 metrede 1°C lik bir artış olmasına karşın Witwatersrand altın madeninde 1°C lik artış 110 m aralıklarla gerçekleşmektedir. Şekil 3 değişik kömür ve metal madenlerinin sıcaklık-derinlik ilişkilerini göstermektedir (4).



Şekil 3 Sıcaklık Derinlik ilişkisi (4)

Kayaçlardan ocak havasına karışan ısı miktarını belirleyen başlıca etkenler; hava ve kayacın sıcaklık farkı, hava hızı, miktarı ve nem içeriği, temas alanı, kayacın tabaka yapısı olarak sıralanabilir. Birim zaman, kütle ve alan için havaya transfer olan ısı miktarı 3 numaralı eşitlikten bulunabilmektedir (5).

$$Q = b (T_s - T_a) \dots \dots \dots (3)$$

Burada;

b= ısı transfer katsayısı,
T_s= Kayacın yüzey sıcaklığı, °C
T_a» Havanın ortalama sıcaklığı, C dir.

Ancak, bu yoldan ocak havasına kansen ısı miktarının saptanması oldukça zordur. Isı transfer katsayısı (b), sürtünme katsayısı, havanın özgül ısısı, havanın yoğunluğu ve hava hızına bağlı olarak bulunabilmektedir.

3.3. Makinaların Oluşturduğu Isı

Bu ısı kaynağı özellikle mekanizasyonun fazla uygulandığı ocaklarda önem kazanmaktadır. Yeraltında çalışan makinelere harcanan enerji doğrudan veya dolaylı olarak (sürtünme sonucu) ısıya dönüşmektedir.

Ayakta kesme, delme ve yükleme için makineler tarafından kullanılan enerjinin hemen hemen tamamı ısıya dönüşmektedir. Enerjinin bir kısmı makinenin içinde (miktarı makinenin verimi ile ters orantılı olarak), bir kısmında yapılmakta olan işlem sırasında sürtünme sonucu ısıya dönüşmektedir. Kafes, skip ve tulumalarda ise harcanan enerjinin büyük bir kısmı (%60-70) taşınan madde tarafından potansiyel enerjiye, geri kalan kısmı ise vinç ve tulumba içinde veya sürtünme sonucu ısıya dönüşmektedir (3,8). Nakliyenin yatay yapıldığı durumlarda bu işi yapmakta olan makinelere harcanan enerjinin tamamı ısıya dönüşmektedir. Dizel lokomotifler, bataryalı veya elektrikli lokomotiflerden daha az verimli oldukları için, güçlerinin aynı olması durumunda daha fazla ısı açığa çıkarmaktadırlar. Dizel makinelerin ürettiği ısı miktarı kullandığı mazotun ısı içeriğine eşdeğerdir (7). Pervaneler tarafından harcanan enerjinin hemen hemen tamamı ısıya dönüşmektedir.

Basınçlı hava ile çalışan makineler yeraltı ocaklarında herhangi bir ısı artışına neden olmamaktadırlar. Sürtünme sonucu ısı oluşmasına karşın, sıkıştırılmış havanın genleşmesi işleminin soğutucu etkisi, oluşan ısıyı etkisiz hale getirmektedir.

3.4. Oksitlenme, Kömürün Kendi Kendine Isınması

Özellikle kendi kendine yanmaya elverişli kömür ocaklarında en önemli ısı kaynağı olma niteliğindedir. Bazan toplam ısı %80 kadarının bu kaynaktan oluştuğu görülmüştür. Ancak bu yolla oluşan ısı miktarını saptamak oldukça zordur. Oksitlenme derecesi, başka bir değişle oluşan ısı miktarı, havanın oksijen azalma oranının iyi bir göstergesi olmasına karşın çok hassas oksijen ölçümü gerektirmesi nedeniyle fazla pratik

olmamaktadır. Ayrıca, birim oksijen azalmasına karşı gelen ısı oluşum miktarının saptanması kolay olmamaktadır. Kömür madenlerinde önemli olan bu kaynak, sülfürlü cevher üretenler hariç, metal madenlerinde fazla ısı oluşturmaması nedeniyle önemini yitirmektedir.

Kömür ocaklarında görülen metan yayılımının ise gazın sıkışma oranına bağlı olarak ortamı soğutma özelliği vardır. Bu konuda yapılan araştırmalar metan emisyonunda 850-1000 kJ/m³ değerinde ısının absorbe edildiği belirlenmiştir (1). Bu nedenle oksitlenme sonucu açığa çıkan ısınırı bir kısmı kömür ocaklarında metan emisyonu nedeniyle etkisiz hale gelmektedir.

3.5. İnsan Metabolizmasının Oluşturduğu Isı

Alınan besinlerin yakılması sonucu ısı oluşturan insan metabolizması, devamlı bir ısı kaynağı olarak düşünülmektedir. Bazı hallerde metabolizmanın ısı üretimini 1 kW a kadar çıkarmaktadır. Tablo 2. kişinin hareketliliğine bağlı olarak oluşan ısı miktarlarını göstermektedir.

Tablo 2. Çalışma Türü-Oluşan ısı ilişkisi (4)

<u>Çalışma Türü</u>	<u>Metabolik ısı (W)</u>
İstirahatte	90-113
hafif iş	200
Normal iş	2?5
Yorucu iş	475

Tablodan da görüleceği gibi çok işçinin çalıştığı büyük ocaklarda metabolizmanın oluşturduğu ısı miktarı ihmal edilemeyecek boyutlara ulaşabilmektedir.

3.6. Diğer Kaynaklar

Aydınlanma amacı ile kullanılan elektrik veya başlık lambaları, patlayıcı maddelerin kullanılması, kaya kut elerinin hareketleri ısı üreten diğer kaynaklar olarak sıralanabilir. Ancak bu kaynakların oluşturdukları ısı miktarı diğerlerine kıyasla fazla olmamaktadır.

4. İSİNİN ORTAMDAN UZAKLAŞTIRILMASI

Yeraltı çalışma yerlerinde oluşan ısı iki yolla ocak dışına götürülmektedir. Bunlar havalandırma havası ve dışarı atılan drenaj suyudur. Bunlara ilaveten ocakta hava soğutma sisteminin var olduğu hallerde bir miktar ısıda bu sistem tarafından ortadan giderilmektedir. Havalandırma havasının dışarı taşıdığı ısı miktarı havanın giriş ve dönüş sıcaklıkları ile havanın iklimik özelliklerinden yararlanılarak bulunmaktadır. Havanın iklimik özelliklerinin bulunmasında atmosferik basınç ile havanın yaş ve kuru sıcaklıklarının bilinmesi yeterli olmaktadır (9).

Bir galeriye veya ocağa gönderilen havanın kütlesi ile giriş ve dönüş havasının entalpî (H) değerleri bilindiğinde havalandırma havasının ortamdaki götürdüğü ısı miktarını hesaplamak mümkün olmaktadır.

Ortamdan yok olan ısı = Çıkış havasının ısı içeriği - Giriş havasının ısı içeriği

$$\Delta Q = V_2 \times w_2 \times h_2 - V_1 \times w_1 \times h_1 \dots \dots \dots (4)$$

Burada; ΔQ = Ortamdan süpürülen ısı (kw).
 V = Hava akım miktarı (m^3/S),
 w = Havanın yoğunluğu (kg/m^3),
 h = entalphy (Kj/kg) chr.

Su yolu ile ısının ortamdaki uzaklaştırılması ise drenaj suyu ile veya soğutma tesisinde kullanılmakta olan su yardımı ile olmaktadır.

5. ISI DENGESİ

Çalışılmakta olan her ocağın bir ısı dengesi mevcuttur. Başka bir deyişle değişik kaynaklardan oluşan toplam ısı miktarı, ortamdaki havalandırma havası, su veya herhangi bir soğutucu sistem tarafından uzaklaştırılan ısı miktarı birbirine eşittir. Kuzey Amerika'da bir madende yapılan bu tür bir çalışmada aşağıdaki sonuç alınmıştır (3).

<u>Isı Kaynakları</u>	<u>Yüzde</u>
1. Kayaçlar	48
2. Makine, ekipman vb.	20
3. Havanın kendi kendini sıkıştırması	11
4. Su tarafından oluşturulan miktar	19
5. Patlatma, insan metabolizması ve diğer	2
Isının ortamdaki uzaklaşması	100
1. Havalandırma havası yolu ile	70
2. Sıkıştırılmış hava tarafından	5
3. Soğutma sistemleri (air-conditioning)	25
	100

görüldüğü gibi denge durumunda mevcut ısı havalandırma havasının sıcaklığını belirli bir düzeye kadar yükseltecektir. Eğer denge durumunda elde edilen bu sıcaklık çalışma koşullarını zorlayabilecek nitelikte ise ocak havasının soğutma tesisleri kullanılarak soğutulması veya ısı üretiminin azaltılması veyahutta gönderilen hava miktarının arttırılması gerekecektir.

6. SONUÇ

Yakın gelecekte özellikle Zonguldak havzasında çalışmaların daha derinlere inmesi durumunda gerek hazırlık gerekse üretim faaliyetleri yüksek sıcaklık ve rutubet nedeniyle biraz daha zorlaşacaktır. Zira havalandırma havası, oluşan ısı miktarının artması sonucu, çalışma yerlerini yeterince soğutamayacak ve bu nedenle hava soğutma sistemleri kurma zorunluluğu ortaya çıkacaktır.

Bu nedenle Havzada yer-ısı-artış miktarının başka bir deyişle derinlik-sıcaklık ilişkisinin saptanması, kömür ve çevre kayaların ısasal özelliklerinin belirlenmesi, ocaklarda ısasal dengenin analizleri ve geleceğe yönelik havalandırma hesaplamalarının şimdiden planlı bir şekilde yapılması sıcaklık sorunu ile mücadelede başlangıç olacaktır.

KAYNAKLAR:

1. WHITTAKER, D., Heat Emission in Longwall Coal. Mining Second International Mine Ventilation Congress, SME of AIME, New York 1980 pp 534-548.
2. QUILLIAM and et all, Routine Mine Ventilation Measurements, Chamber of Mines of South Africa, Johannesburg 1972, pp. 81-86.
3. HARTMAN, H.L., Mine Ventilation and Air Conditioning, Second Edition A Wiley-Interscience Publication, New-York, 1982, 770 p.
4. BURROWS, H., HEMP, R., LANCASTER, F.H. and QUILLIAM, J.H., The Ventilation of South African Gold Mines, The Mine Ventilation Society of South Africa, Cape Town, 1974 574 p.
5. GÜYAGÜLER, T. Mine Ventilation and Air Conditioning, Course Notes University of Zambia, 1986,
6. HALL, L.J., Mine Ventilation Engineering, Society of Mining Engineering Publication New York, 1981, pp.109-152.
7. HEMP, R and DEGLON P., A Heat Balance in a Section of a Mine, Second International Mine Ventilation Congress, SME of AIME New York 1980 pp.523-533.
8. WILLISON, K.M., Ventilation and Refrigeration Requirements, Master Thesis, Sept. 1982,UNZA.
9. BARENBRUG, A.W.T., Psychrometry and Psychrometric Charts, Third edition, Chamber of Mines of South Africa, Printed by Cape and Transvaal Printers Ltd, Cape Town.

