



## THE ANALYSIS OF CLIMATIC CONDITIONS OF THE TTK KILIMLI COLLIERY

Mustafa ÖNDER<sup>1\*</sup>, Saim SARAÇ<sup>2</sup>, Onur BAYER<sup>3</sup>

<sup>(1)</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 26480, ESKİŞEHİR, [monder@ogu.edu.tr](mailto:monder@ogu.edu.tr)

<sup>(2)</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, ISPARTA.

<sup>(3)</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 26480, ESKİŞEHİR.

*Geliş tarihi: 11.01.2007 Kabul tarihi: 04.04.2008*

### ABSTRACT

As the mining operations go deeper, working conditions become more severe because of high temperature and moisture. Labour productivity and health is affected by the changes in mine climate which are due to increasing depth. Therefore, both in the production planning of deep mines and deepening a particular mine, the problem of high temperature and moisture should be considered. In this study, the psychrometric analyses of Kilimli Colliery of Turkish Hardcoal Enterprises have been made and additionally, the appropriations of climatic conditions have been evaluated by using effective temperature index.

**Keywords:** Mine climate; psychrometric analysis; effective temperature.

## TÜRKİYE TAŞKÖMÜRLERİ KURUMU (TTK) KİLİMLİ İŞLETMESİNDE İKLİMSEL KOŞULLARIN ANALİZİ

### ÖZET

Yeraltı madencilğinde çalışma katı derinlere indikçe yüksek sıcaklık ve nem nedeniyle çalışma koşulları zorlaşmaktadır. Derinliğin artmasıyla birlikte değişen ocak iklim şartları, işçi sağlığı ve iş verimliliğini büyük ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle, gerek derin ocaklar için üretim planlaması, gerekse de mevcut ocağın derinleştirilmesi düşünüldüğünde, yüksek sıcaklık ve nem sorunu göz önünde tutulmalıdır. Bu çalışmada, TTK Kilimli İşletmesinin psikrometrik analizleri yapılmış ve ayrıca iklimsel koşulların kabul edilebilirliği etkili sıcaklık göstergesi ile değerlendirilmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Ocak iklimi; psikrometrik analiz; etkili sıcaklık.

## 1. GİRİŞ

Yeraltında ocaklarında derinlere inildikçe kayaç sıcaklığı artmakta, buna paralel olarak çevre kayaçlarla sürekli olarak temas eden havalandırma havasının sıcaklığı da artmaktadır. Çalışılan pano sayısının ve üretimin yüksek tutulması, kazıda mekanizasyon uygulanması ve mekanik donanımların yoğun olarak kullanılması gibi faktörlerin de katkısıyla, derin ocaklarda sıcaklık ve nem önemli birer çevresel problem olarak ön plana çıkmaktadır. Bu tür ocaklarda, yeni yeryüzü bağlantılarının oluşturulmasının güç ve pahalı olması, havalandırma havasının izlediği yolun uzunluğu, otokompresyon etkisi ile havanın sıcaklık ve basıncının daha da artması, etkili bir havalandırma için çok sayıda vantilatöre gereksinim duyulması, sıcaklık ve nem sorunu ile mücadelede havalandırma mühendisinin çözüm alternatiflerini önemli ölçüde kısıtlamaktadır.

Bahsi geçen tüm bu olumsuzluklara karşın, iklim sorunları çözülmeli, derin ocaklarda üretim yapılmalı, yeraltı kaynakları insanlığın hizmetine sunulmalıdır. Bu anlamda havalandırma mühendislerine önemli görevler ve sorumluluklar düşmektedir. İklim sorununu ve derin ocaklar için daha anlamlı olan sıcaklık ve nem sorununu aşmanın yolu ise, sorunu tanımaktan, kaynaklarını ortaya koymaktan ve bu kaynakların etkisini azaltmaktan geçer. Kötü iklimsel koşullar, çalışma verimini düşürecek, üretim maliyetlerini artıracak, kaza ve hastalıklara neden olabilecek ve hatta söz konusu ocakta üretimin sürdürülmesini olanaksız kılacaktır.

Türkiye yeraltı madenciliğinde günümüze değin sığ derinliklerde çalışılmış, sıcaklık sorunu çok yoğun biçimde yaşanmamıştır. Günümüzde derin yeraltı madenciliğinin yaygınlaşması, çalışma yerlerinde yüksek sıcaklık ve nem sorununu gündeme getirmiştir. Yüksek sıcaklık ve fazla nem iş verimini azaltmakta ve hatta bazı koşullarda çalışmayı olanaksız hale getirmektedir. Geleceğe yönelik havalandırma hesaplamalarının önceden planlı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için, ocak iklimsel koşullarının da göz önüne alınarak tasarım yapılması, daha uygun çalışma şartlarının oluşturulmasında havalandırma mühendislerine büyük kolaylıklar sağlayacaktır.

Güyağüler [1], derin ocaklardaki sıcaklık sorununu teorik olarak irdelemiş, oluşan ısının ortamdaki uzaklaştırılma yöntemlerini tanıtmıştır. Zonguldak havzasında daha derinlere inildiğinde yüksek sıcaklık sorununun gündeme geleceğini ve hava soğutma sistemlerinin kurulması zorunluluğunun ortaya çıkacağını ileri sürmüştür.

Ayvazoğlu ve Er [2], TTK (Türkiye Taş Kömürleri Kurumu) Kozlu Taşkömürü Ocaklarında ocak iklim koşullarının psikrometrik analizini yapmışlardır. Bu analiz sonucunda bölgede henüz soğutma sistemlerinin kurulmasına gerek olmadığı, fakat ocağa gönderilen hava miktarının yeterli düzeye getirilmesi gerektiğini öne sürmüşlerdir.

Güyağüler ve Önder [3] ve Önder ve Güyağüler [4], yapmış oldukları çalışmalarda OAL (Orta Anadolu Linyitleri) Kömür Ocaklarında ocak havasının psikrometrik koşullarını analiz etmişlerdir. Kavşak noktalarında ve ayak içlerinde gerekli ölçümleri yaparak, elde ettikleri sonuçları yorumlamışlardır. Benzer bir çalışma Papila ve Didari [5] tarafından TTK Karadon bölgesi yeraltı ocakları için yapılmış ve ocağa giren havanın ısınma ve nemlenme seviyeleri belirlenmiştir.

Önder ve Güyağüler [6], TTK Karadon Bölgesi yeraltı ocaklarında kayaç sıcaklıklarını ölçmüşler ve bölge için jeotermik değişim değerini belirlemeye çalışmışlardır. Bu bölgede bakir kayaç sıcaklığı artışının her 100 m derinlikte 2.275 °C olduğunu hesaplamışlardır. Önder ve Güyağüler [7], bir başka çalışmalarında Karadon Bölgesi'ndeki havalandırma havasının psikrometrik analizini yapmışlar ve havalandırma havasına eklenen ısı miktarını belirlemişlerdir.

İlerleyen yıllarda Türkiye kömür madenciliği kaçınılmaz olarak daha derinlere kayacak ve çalışma ortamındaki hava sıcaklıklarının yüksek olması, bir sorun olarak kendini gösterecektir. Sıcaklık ve nem sorunu üzerinde, belirli evrensel kuralların dışında pek çok yöresel parametrenin de etkili olması, yöresel araştırmaların geliştirilmesini gerektirmektedir. Bu çalışmada, TTK Karadon Müessesesi, Kilimli İşletmesindeki iklimsel koşulların analizi psikrometrik eşitlikler kullanılarak yapılmış ve ayrıca iklimsel koşulların kabul edilebilirliği de etkili sıcaklık göstergesiyle değerlendirilmiştir.

## 2. PSİKROMETRİ

Ocak havasındaki iklimsel değişimlerin açıklanması ve karşılaşılabilecek iklim koşullarının önceden tahmin edilebilmesi, psikrometri bilim dalının ana konularındandır. Bu nedenle psikrometrik kavramların ve davranışların iyi bilinmesi gerekir. Nemli ocak havasının psikrometrik olarak durumunu analiz etmek için en az üç özelliğinin bilinmesi gerekir. Pratikte ölçülmesi kolay olması nedeniyle bu üç özellik; kuru sıcaklık, yaş sıcaklık ve barometrik

basınç'tır. Bu üç parametrenin bilinmesiyle ocak havasının aşağıda verilen diğer özellikleri belirlenebilir [8].

1. Doymuş havanın buhar basıncı ( $e_w$ )
2. Doymuş havanın nem içeriği ( $X_s$ )
3. Buharlaştırmanın gizli ısı ( $L_w$ )
4. Havanın nem içeriği ( $X$ )
5. Gerçek buhar basıncı ( $e$ )
6. Nemli havanın özgül hacmi ( $V_m$ ) ve yoğunluğu ( $\rho_m$ )
7. Bağıl nem ( $rh$ )
8. Entalpi ( $H$ )
9. Sigma ısı ( $S$ )

### 2.1. Hava Akımının Hacim ve Kütle Akışı

Bir hava yolundan geçen hava akımının miktarının belirlenmesinde, çoğunlukla, birim zamanda (1 saniye) hava yolunun kesit alanından geçen havanın hacmi ( $m^3$ ) dikkate alınır. Böylece hacim akışının ( $Q$ ) birimi  $m^3/s$  olur. Bununla beraber, duyarlı analizlerin yapılmasında havalandırma havasının yoğunluğunda oluşan değişimleri de hesaba katan kütle akışının kullanılması tercih edilir. Kütle akışı, birim zamanda hava yolunun kesit alanından geçen havanın kütlesi ( $kg$ ) olarak tanımlanır. Bu durumda kütle akışının birimi  $kg/s$  olur ve aşağıdaki eşitlikten hesaplanır.

$$M=Q \quad [1]$$

$Q$  : Hacim akışı,  $m^3/s$   
: Havanın yoğunluğu,  $kg/m^3$

### 2.2. Isı ve Nem Değişimi

Ocak içerisindeki iki nokta arasındaki ısı ve nem değişimi sırasıyla sigma ısıları ve nem içerikleri farkının kütle akışı miktarı ile çarpılmasıyla bulunur. Bir hava yolu boyunca ısı değişimi aşağıdaki eşitlikten belirlenir [8].

$$q_{12}=M(S_2-S_1) \quad [2]$$

$q_{12}$  : Hava yolu boyunca ısı değişimi,  $J/s$  veya  $W$   
 $S_1, S_2$  : Hava yolunun başlangıç ve çıkışındaki sigma ısıları,  $J/(kg \text{ kuru hava})$

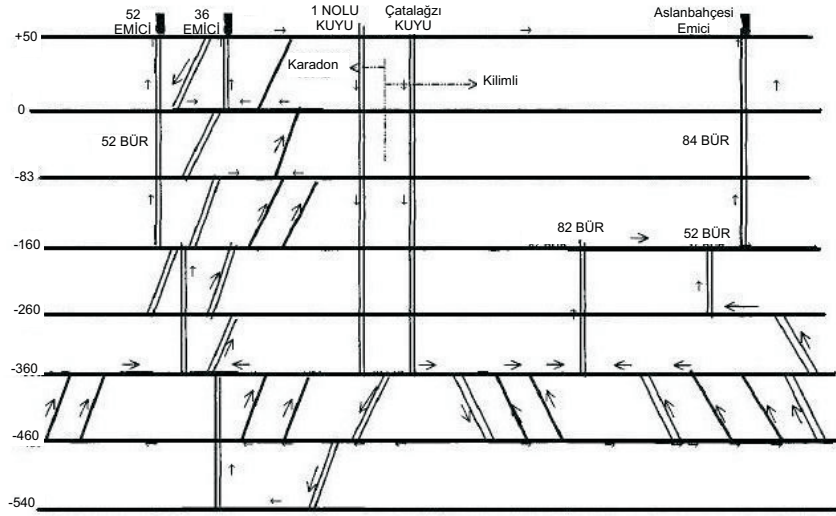
Ocak havasına karışan nem miktarı ( $kg/s$ ) aşağıdaki eşitlikten belirlenir.

$$g_{12}=M(X_2-X_1) \quad [3]$$

$g_{12}$  : Ocak havasına karışan nem,  $kg/s$   
 $X_1, X_2$  : Hava yolunun başlangıç ve çıkışındaki nem içerikleri,  $kg/(kg \text{ kuru hava})$

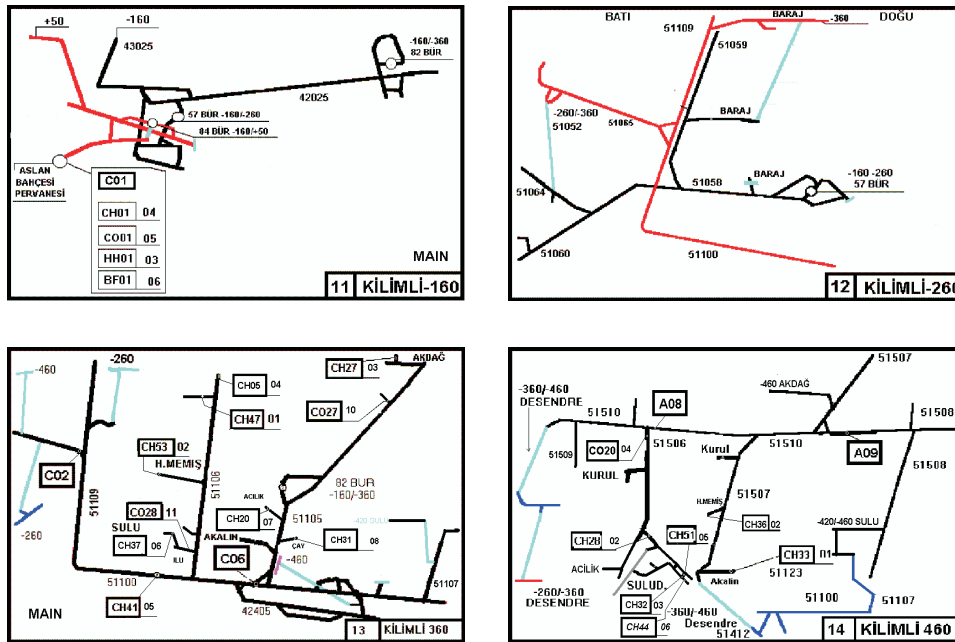
## 3. İŞLETMENİN HAVALANDIRMA SİSTEMİNİN TANITIMI

Kilimli işletmesine hava, insan ve malzeme naklinin yapıldığı I numaralı kuyu ve dışarıya kömür ihracının yapıldığı Çatalağzı kuyusundan girmektedir. I numaralı kuyudan giren havanın üçte biri -160 katına, kalan havanın tümü -360 katına dağılmaktadır. -360 katından giren hava -460 katına iki ayrı desandriden indirilmektedir. İşletmenin genel havalandırma kesiti Şekil 1'de verilmiştir [9].



Şekil 1. Kilimli işletmesi genel havalandırma kesiti

İşletmenin Kilimli kısmında -460 katından giren temiz hava ayaklardan geçerek -360 katına çıkmaktadır. Buradan da 82 numaralı bür ile -160'a 84 numaralı bür ile de +50 katına çıkmaktadır. Bu kattan Aslanbahçesi emici vantilatörü ile dışarı atılmaktadır. Kilimli yeraltı işletmesi kat planları Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Kilimli yeraltı işletmesi kat planları

İşletmede galeriler genelde 10 m<sup>2</sup> kesitli olup toplam galeri uzunluğu yaklaşık 66 km uzunluktadır. Bu açıklıkların havalanmasında, yaklaşık 25 adet basınçlı hava ile çalışan ve ahşap kapıdan yararlanılmaktadır. Havalandırmanın sağlanmasında üç ana emici vantilatör kullanılmaktadır [9].

#### 4. PSİKROMETRİK KOŞULLARIN ANALİZİ

Kilimli İşletmesindeki iklimsel koşulları değerlendirmek amacıyla, katlardaki kuru sıcaklık ( $t_d$ ), yaş sıcaklık ( $t_w$ ), barometrik basınç (P) ve hava hızı (V) değerleri haziran ayında ölçülmüş, elde edilen değerlerin ortalamaları Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Katlardaki İklimsel Parametrelerin Aritmetik Ortalamaları

| Kat       | $t_d$ (°C) | $t_w$ (°C) | V (m/s) | P (kPa)  |
|-----------|------------|------------|---------|----------|
| -460      | 20.45      | 19.55      | 1.45    | 106.035  |
| -360      | 22.9285    | 21.9285    | 1.17    | 105.2878 |
| -160/-260 | 23.2       | 22         | 2.05    | 102.806  |
| +50       | 20.81      | 19         | 2.96    | 100.9875 |

Çizelge 1'de verilen sıcaklık ve basınç değerleri Ek'te verilen psikrometrik eşitlikler yardımıyla değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Katlardaki Psikrometrik Koşullar

| Kat       | Havanın nem içeriği (g/kg) | Havanın yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> ) | Bağıl nem (%) | Entalpi (kJ/kg) | Sigma ısısı (kJ/kg) |
|-----------|----------------------------|--|---------------|-----------------|---------------------|
| -460      | 0.01324917                 | 1.248289                               | 91.968        | 54197.3         | 53.11278            |
| -360      | 0.01552284                 | 1.227473                               | 91.622        | 62531.3         | 61.10616            |
| -260/-160 | 0.01590620                 | 1.197185                               | 90.116        | 63787.5         | 63.22234            |
| +50       | 0.01307217                 | 1.187534                               | 84.501        | 54119.12        | 53.07919            |

Çizelge 2'deki psikrometrik koşullar incelenerek katlar boyunca havalandırma havasında oluşan ısı ve nem değişimleri belirlenmeye çalışılmıştır. Isı ve nem ilavesi 2 ve 3 eşitlikleri kullanılarak belirlenir. Kilimli İşletmesinin her bir katı için ayrı ayrı ısı ve nem değişimleri belirlenmiş ve bulunan değerler Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Katlar Boyunca Isı ve Nem Değişimi

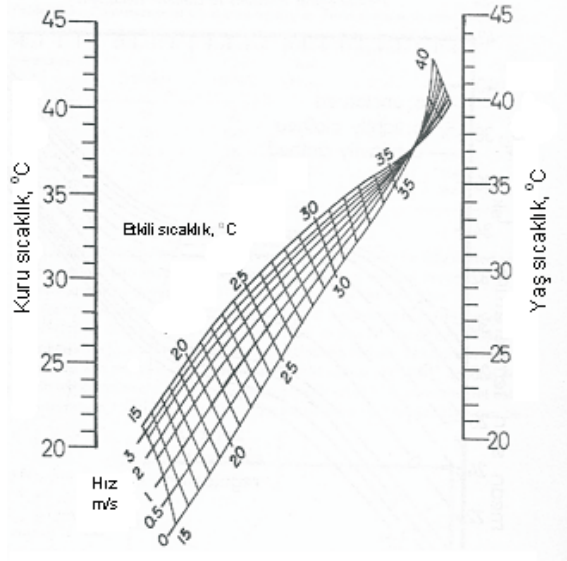
| Kat              | $m$ (görünür) | Kütle Akışı | Isı İlavesi, kW | Nem İlavesi, g/s |
|------------------|---------------|-------------|-----------------|------------------|
| -460/-360        | 1.231975      | 17.804      | 142.314         | 0.0404           |
| -360/(-260;-160) | 1.208722      | 14.152      | 29.948          | 0.0054           |
| (-260;-160)/+50  | 1.178453      | 24.177      | -245.230        | -0.0685          |
| TOPLAM           |               |             | <b>-72.968</b>  | <b>-0.0227</b>   |

Çizelge 3 incelendiğinde, haziran ayı ortalama koşullarına göre havalandırma havasından 72.968 kW ısı ve 0.0227 g/s'de nem kaybı olacağı görülmektedir.

#### 5. İKLİMSEL KOŞULLARIN ETKİLİ SICAKLIK İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

“Etkili sıcaklık”, yaygın olarak kullanılan ısı gerilme göstergelerinin başında gelmektedir. Etkili sıcaklık gözlem altındaki gerçek koşullarla aynı anlık ısısal duyguyu veren durgun doymuş havanın sıcaklığı olarak tanımlanır. Bu göstergede havanın kuru ve yaş sıcaklıkları ve hızı hesaba katılmaktadır.

Etkili sıcaklık değeri abaklardan veya formüllerden belirlenebilir. Hafif giyimli bir kişi için etkili sıcaklık değerini belirlemede kullanılan abak Şekil 3'te verilmiştir [10;8].



Şekil 3. Hafif giyimli bir kişi için etkili sıcaklık kartı

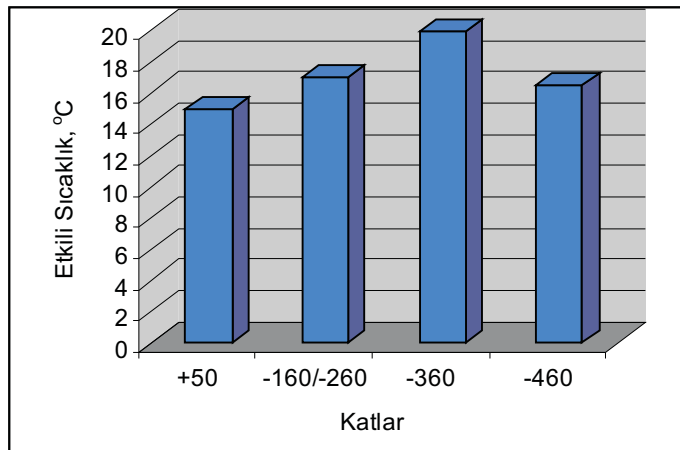
Etkili sıcaklık değeri 0.5-3.5 m/s'lik hava hızlarında aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanabilir.

$$\begin{aligned} X_3 &= 5.27 + 1.3v - 1.15e^{-2v} \\ X_2 &= 17 \{X_3(t_a - t_w) + 8.33(t_w - 20)\} / \{(X_3 - 1.35)(t_a - t_w) + 141.61\} \\ X_1 &= 8.33 \{17X_3 - (X_3 - 1.35)(t_w - 20)\} / \{(X_3 - 1.35)(t_a - t_w) + 141.61\} \\ ET &= 20 + \{4(4.12 - X_1) + X_2\} / 1.65176 \end{aligned} \quad [4]$$

Etkili sıcaklık göstergesi İngiltere ve Avrupa'da yaygın olarak kullanılmaktadır. Almanya'da 28 °C'yi aşan etkili sıcaklıklarda çalışma vardiyaları azaltılır. Etkili sıcaklığın genellikle 28 °C'nin üzerine çıkmaması tavsiye edilmektedir [10;8;11].

Uluslararası Mesleki Sağlık ve Emniyet Enstitüsü NIOSH [12], sıcak iklime alışkın olmayan kişilerin oturarak çalışmaları durumunda etkili sıcaklığın en fazla 30 °C, orta derecede çalışmalarında 28 °C ve ağır işlerde çalışmalarında da 26.5 °C'yi geçmemesini önermiştir. İklimle alışkın kişilerde ise bu değerlerin 2 °C daha fazla alınabileceğini öne sürmüştür. Amerika Isıtma, Soğutma ve İklimsel Düzenleme Mühendisleri Odası ASHRAE [13], işçilerin verimli olarak çalışabilmeleri için etkili sıcaklığın en fazla 26.7 °C olması gerektiğini belirtmektedir.

TTK Kilimli İşletmesi'nin her bir katında ölçülen kuru sıcaklık, yağ sıcaklık ve hava hızı değerleri kullanılarak etkili sıcaklık değerleri belirlenmiş ve Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Katlardaki etkili sıcaklık değerleri

Isı gerilimini belirlemek amacıyla kullanılan etkili sıcaklık göstergesine göre, katlardaki iklimsel koşullar kabul edilebilir değerlere sahiptir.

## 6. SONUÇLAR

Yeraltı ocaklarında iklimsel koşulları uygun değerlerde tutmanın temel hedefi, verimliliği artırmak ve kaza oranını azaltmaktır. Sıcak bir çalışma ortamındaki işçiler, hem psikolojik hem de fizyolojik olarak etkilenecekler ve çalışma etkinlikleri azalacaktır. Moraller bozulacak, dikkatler dağılacak, görev yerleri sık sık terk edilecek, kaza olaylarında artışlar olabilecektir.

TTK Kilimli İşletme Müessesesinin psikrometrik koşullarının analizi sonucunda;

- ✓ -460/-360 katlar arasında 142.314 kW'lık ısı ve 0.0404 g/s'lik nem artışı görülmüştür.
- ✓ -360/(-260;-160) katlar arasında 29.948 kW'lık ısı ve 0.0054 g/s'lik nem artışı görülmüştür.
- ✓ (-260;-160)/+50 katlar arasında 245.230 kW'lık ısı ve 0.0685 g/s'lik nem kaybı görülmüştür.
- ✓ Genel olarak havalandırma havasında “ısı ve nem kaybı” oluşmaktadır. Katlar boyunca havalandırma havasındaki ısı kaybı 72.968 kW, nem kaybı da 0.0227 g/s'dir.

Yapılan analizlere göre TTK Kilimli Taşkömürü İşletme Müessesesinin iklimsel koşullarında herhangi bir olumsuzluk gözlenmemiştir. Isı geriliminin belirlenmesinde kullanılan etkili sıcaklık göstergesine göre, Kilimli işletmesinde herhangi bir problem olmamakla birlikte, ısı geriliminin tespit edilmesinde bir göstereye bakarak karar vermek mevcut bir ısı probleminin göz ardı edilmesine sebep olabilir. Isı gerilimini bir göstere tespit edemezken, diğer göstergeler tespit edebilir. Bu yüzden ısı geriliminin tespit edilmesinde uluslararası organizasyonlar tarafından da kullanılan ortalama deri sıcaklığı (MST), yaş küresel sıcaklık (WBGT) gibi göstergelerin de kullanılması mevcut bir ısı probleminin tespitinde işletmeye faydalı bilgiler sunabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Güyagüler, T., “Yeraltı Kömür Ocaklarında Yüksek Sıcaklık ve Rutubet Sorunu”, Türkiye 6. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, Zonguldak, 133-141,(1988).
- [2] Ayvazoğlu, E. ve Er, M., “TTK Kozlu Taşkömürü İşletme Müessesesi Ocaklarında İklim Şartlarının İncelenmesi”, Türkiye Madencilik ve Teknik 11. Kongresi, 57-73, (1989).
- [3] Güyagüler, T. ve Önder, Ü.Y., “OAL Kömür Ocaklarında Ocak Havasının Psikrometrik Özelliklerinde Görülen Değişimin İncelenmesi”, Türkiye 7. Kömür Bildiriler Kitabı,Zonguldak, 189-205, (1990).
- [4] Önder, Ü.Y. and Güyagüler, T., “Psychrometric Analysis of Ventilating Air at Middle Anatolian Lignite Mine (OAL), Turkey”, CIM Bulletin, October, 72-75, (1992).
- [5] Papila, O. and Didari, V., “Investigation of Climatic Conditions in Karadon District of Turkish Hardcoal Enterprises (TTK)”, The First International Symposium on Mine Environmental Engineering”, 29-31 July, Kütahya, 81-89,(1996).
- [6] Önder, Ü.Y. ve Güyagüler, T., “TTK Karadon Bölgesi Yeraltı Ocaklarında Jeotermal Gradyantın Belirlenmesi”, Türkiye 14. Madencilik Kongresi Bildiriler Kitabı, 131-135, (1995).
- [7] Önder, Ü.Y. and Güyagüler, T., “Determination of Thermal Properties and Heat Emission of Coal Measure Rocks in Zonguldak Coal Region, TURKEY”, Proceedings of the 7<sup>th</sup> US Mine Ventilation Symposium, 449-453, (1995).
- [8] McPherson, M.J., “Subsurface Ventilation and Environmental Engineering”, Chapman&Hall, 905 p, (1993).
- [9] Polat, N.K. ve Didari, V., “TTK Kilimli İşletmesinin Kazemaru Programı Kullanılarak Havalandırma Analizi”, Türkiye 13. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı,378-380, (2002).
- [10] Pickering, A.J. and Tuck, M.A., “Heat: Sources, Evaluation, Determination of Heat Stress and Heat Stress Treatment”, Mining Technology, June, 147-156, (1997).
- [11] Hartman, H.L., “Heat in Mines”, Mine Ventilation and Air Conditioning, 561-593, (1991).
- [12] NIOSH, “Criteria for a Recommended Standard-Occupational Exposure to Hot Environments, Revised Criteria”, US Department of Health and Human Services, National Institute for Occupational Safety and Health Division of Standards Development and Technology Transfer, NIOSH Publication 86-113, 140 p, (1986).
- [13] ASHRAE, “Mine Air Conditioning and Ventilation”, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Chapter 25, 1-7, (1995).



**Ek: Psikrometrik Kavram ve Eşitlikler**

| Psikrometrik kavram  | Psikrometrik eşitlik  | Birim                              |
|--|---|------------------------------------|
| Doymuş havanın buhar basıncı ( $e_{sw}$ )  | $e_{sw}=610.6 \exp \frac{17.27\theta_w}{237.3 + \theta_w}$                                | Pa                                 |
| Doymuş havanın nem içeriği ( $X_s$ )   | $X_s=0.622 \frac{e_{sw}}{P - e_{sw}}$   | kg/(kg kuru hava)                  |
| Buharlaştırmanın gizli ısısı ( $L_w$ )   | $L_w=(2502.5-2.386 \theta_w)1000$   | J/kg                               |
| Havanın nem içeriği ( $X$ )  | $X=\frac{L_w X_s C_{pa}(\theta_d - \theta_w)}{L_w C_{pv} \theta_d - \theta_w}$            | kg/(kg kuru hava)                  |
| Gerçek buhar basıncı ( $e$ )   | $e=\frac{PX}{0.622 + X}$  | Pa                                 |
| Nemli havanın özgül hacmi ( $V_m$ ) ve yoğunluğu ( $\rho_m$ )  | $V_m(\text{gerçek})=\frac{287.04 \theta_d}{P} \frac{273.15}{0.378e}$                      | $\text{m}^3/(\text{kg karışım})$   |
|  | $V_m(\text{görünür})=\frac{287.04 \theta_d}{P} \frac{273.15}{e}$                          | $\text{m}^3/(\text{kg kuru hava})$ |
|  | $\rho_m(\text{gerçek})=\frac{P}{287.04 \theta_d} \frac{0.378e}{273.15}$                   | $\text{kg karışım}/ \text{m}^3$    |
|  | $\rho_m(\text{görünür})=\frac{P}{287.04 \theta_d} \frac{e}{273.15}$                       | $\text{kg kuru hava}/ \text{m}^3$  |
| Bağıl nem ( $rh$ )   | $rh=\frac{e}{e_{sd}} * 100$<br>$e_{sd}=610.6 \exp \frac{17.27\theta_d}{237.3 + \theta_d}$ | %                                  |
| Entalpi ( $H$ )  | $H=C_{pa} \theta_d + X [C_w \theta_w + L_w + C_{pv}(\theta_d - \theta_w)]$                | J/(kg kuru hava)                   |
| Sigma ısısı ( $S$ )  | $S=H - X C_w \theta_w$  | J/(kg kuru hava)                   |
| $e_{sw}$ : Doymuş havanın buhar basıncı, Pa<br>$\theta_w$ : Havanın yaş sıcaklığı, °C<br>$P$ : Barometrik basınç, Pa<br>$\theta_d$ : Havanın kuru sıcaklığı, °C<br>$C_{pa}$ : Kuru havanın özgül ısısı, 1005 J/kgK<br>$C_{pv}$ : Su buharının özgül ısısı, 1884 J/kgK<br>$C_w$ : Suyun özgül ısısı, 4187 J/kgK |   |                                    |

