

Ocak Havasının Sıcaklığını, İçerdiği Nem Miktarının ve İst. İçeriğinin Belirlenmesi

Determination of the Mine Air Temperature, Humidity and Heat Value.

Gündüz ÖKTEN *

ÖZET

Endüstride çalışanlara sağlıklı bir çalışma ortamı sunabilmek için, havanın ısı olarak tariflenen sıcaklık ve nem'in belirli sınırlar içinde tutulması gerekir. Bunun sağlanamaması durumunda; işçilerin sık sık hastalandığı, çalışma veriminin düştüğü, iş kazalarının arttığı gözlenmiştir. Belirtilen nedenlerle, ocak havasının sıcaklığının ve içerdiği nem miktarının etkin bir şekilde kontrolü gerekir.

Bu çalışmada, ocak havasının sıcaklığının ölçülmesinde kullanılan aletler ve ölçmelerin nasıl yapıldığı tanıtılmıştır. Ayrıca, havadaki bağıl ve mutlak nem miktarlarının ve havanın ısı içeriğinin ne şekilde belirlendiği açıklanmıştır.

ABSTRACT

The heat and humidity defined as the air temperature should be kept within certain limits in order to provide a healthy environment for the workers. In case of these conditions are not provided, it is observed that the health of the workers are deteriorated, the work efficiency is decreased and accidents happen very frequently. Therefore, the temperature and the humidity of mine environment should be controlled very effectively.

In this study, the equipments and the methods used to measure the temperature are explained. Determination of the amount of relative and absolute humidity together with heat content of mine environment are described.

(*) Dr., Maden Y. Müh. İ.T.Ü. Maden Fakültesi, Teşvikiye, İSTANBUL

1. GİRİŞ

Sıcaklık ve nem, endüstride çalışanları çeşitli yönlerden etkilemektedir. Sağlıklı bir çalışma ortamı için ise, kısaca ocak havasının ısı olarak tariflenen sıcaklık ve nem'in belirli sınırlar içinde tutulması gerekir. Bunun sağlanamaması durumunda; işçilerin sık sık hastalandığı (ısı çarpması, kramplar, yorgunluk vb.), çalışma veriminin düştüğü, iş kazalarının arttığı gözlenmiştir.

Isı zorlamalarının etkisini ortadan kaldırmak için bir çok devlet kısıtlamalar getirmiştir. Kuru hazne sıcaklığı; B. Almanya ve İngiltere'de 28°C, Avustralya'da 27°C ve Sovyetler Birliği'nde 26°C olarak sınırlandırılmıştır. Aksi halde vardiya süresi kısaltılmakta, işçilerin dinlenmesi için belirli aralıklarla mola verilmektedir (1).

Ancak, ocak iklimi açısından yalnız kuru sıcaklık bir ölçü olmayıp, havanın içerdiği nem miktarı ve hızı da insanın çalışma yeteneği üzerinde önemli etki göstermektedir. Bu nedenle tüzüklerde, kartiyerlerdeki çalışma süresi yalnız kuru sıcaklığa bağlanmamış, özellikle havanın nemlilik derecesi ile ilişkili olarak verilmiştir (2).

Bu çalışmada, ocak havasının sıcaklığının, nem miktarının ve ısı içeriğinin ne şekilde belirlendiği incelenmiş ve bir örnek ile açıklanmıştır.

2. SICAKLIK

Sıcaklık, bir cismin göreceli (izafi) sıcaklığı ya da soğukluğunun bir ölçüsüdür. Dokunma duyumuzla cisimlerin sıcaklığı hakkında kabaca bilgi sahibi olabiliriz. Ancak, elde edeceğimiz sonuçlar, bilimsel çalışmalar için yeterli duyarlılıkta değildir. Sıcaklığı duyarlı bir şekilde belirlemek amacıyla, cismin sıcaklıkla değişen fiziksel özelliğinden yararlanılır. Bu amaçla; cıvalı ve alkollü termometreler, direnç termometresi, termokupl, optik pirometre, sabit hacimli gaz termometresi vb. ölçme aletleri geliştirilmiştir (3).

2.1. Ocak Havasının Sıcaklığının Belirlenmesi

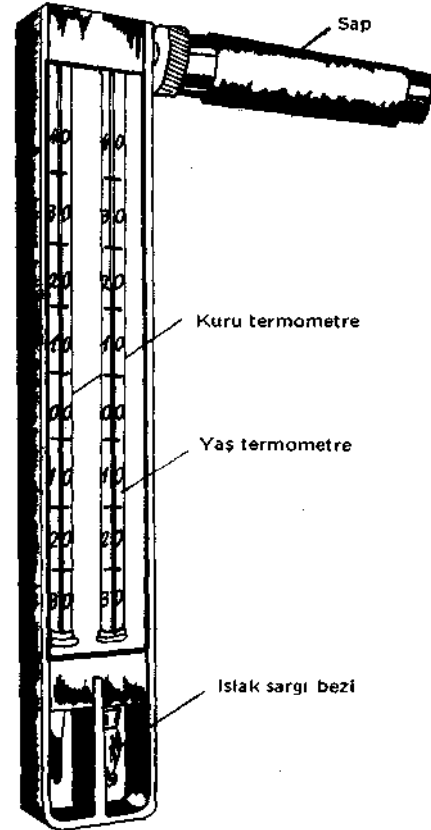
Ocak havasının sıcaklığı verilirken, kuru (t_d) ve nemli (t_n) sıcaklıklar ayırt edilmelidir. Kuru sıcaklık kuru termometre ile, nemli sıcaklık ise nemli termometre ile ölçülür. Nemli termometre-

nin cıva ya da ispiroto dolu haznesinin üzeri, ıslatılmış bir gazlı bez ya da tülbent ile örtülmüştür. Suyun buharlaşması sonucu oluşan soğuma nedeniyle, nemli termometrenin göstergesi kuru termometreninkinden düşüktür. Doymuş hava içinde her iki termometre de aynı değeri gösterir (2).

Ocak havasının sıcaklığını duyarlı bir şekilde ölçmek için genellikle, Döndürülen Termometre ya da Havalandırmalı Psikrometre kullanılmaktadır.

2.1.1. Döndürülen Termometre

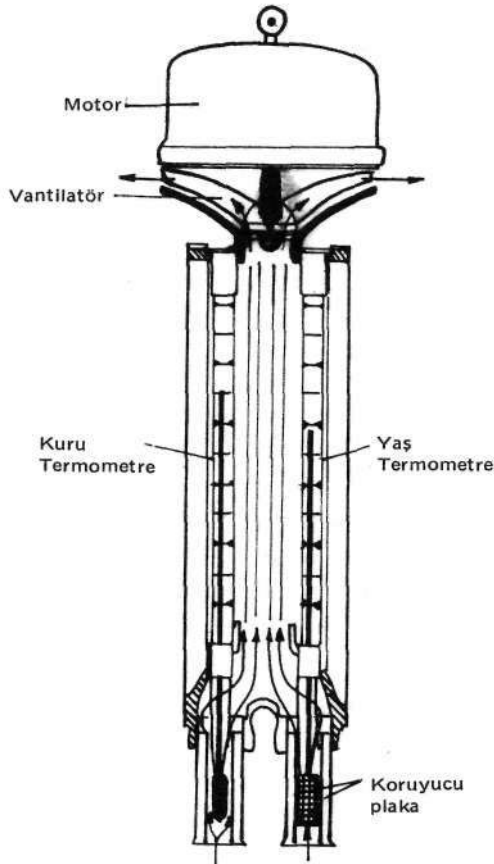
Bu alet, döndürülen psikrometre olarak da isimlendirilmektedir. Esnek olmayan (rijit) bir çerçeve üzerine yan yana yerleştirilmiş yaş ve kuru termometrelerden meydana gelmiştir. Aletin döndürülmesi için çerçeveye bir kol eklenmiştir (Şekil 1.). Psikrometre, her iki termometrenin gösterdiği değerler sabit kalıncaya kadar döndürülür. Bu süre genellikle, 0,5 - 2 dakika arasında değişmektedir. Ölçme sırasında termometrelere dokunulmamalı ve okuma hemen yapılmalıdır (1).



Şekil 1 – Döndürülen termometre

2.1.2. Havalandırmalı Psikrometre

ASSMANN tarafından geliştirilen havalandırmalı psikrometre (Aspirasyon Psikrometresi), bir kuru bir de nemli termometreden oluşur. Termometrelerin havalandırılması, bir kanal sistemi ve termometre çiftinin üst kısmına yerleştirilmiş vantilatör ile sağlanır (Şekil 2.). Vantilatör mekanik bir donanım ya da elektrik enerjisi ile çalıştırılır. Haznelerin iki yanına koyulan çift katlı ışın koruyucusu, ortamın ısı iletimini önler. Böylece soğuma sınırı sıcaklığı, döndürülen termometrelere oranla büyük bir duyarlılıkla bulunabilir. Haznelere temas eden hava hızının sabit kalması, ölçme sonuçlarının duyarlı olmasını sağlar (2,5).



Şekil 2 — Havalandırmalı psikrometre

3. NEM

Atmosfer havası, havayı oluşturan gazlar ile su buharının (nem) bir karışımıdır. Havanın esas bileşeni olan azot ve oksijen gazlarının hava içindeki oranları büyük sınırlar arasında değişmediği halde, nem miktarı yer ve zamana bağlı olarak büyük

değişme gösterir. Bu nedenle, nem miktarı için ortalama bir değer vermeye olanak yoktur. Havanın su buharı alabilme özelliği sınırlı olup, sıcaklık ve basıncın bir fonksiyonudur (4).

Bağıl ve mutlak nem olmak üzere iki türlü nem birbirinden ayırt edilmektedir.

3.1. Bağıl Nem

Bağıl Nem (ϕ), var olan t° sıcaklığında, su buharı - hava karışımındaki su buharı kısmi basıncının (P_v), olanaklı olan en yüksek buhar basıncına (P_s) oranı olarak tanımlanır (4).

$$\phi = \frac{P_v}{P_s} \quad \text{ya da}$$

$$\phi = \frac{P_v}{P_s} \cdot 100 \quad [1]$$

3.1.1. Bağıl Nem Miktarının Belirlenmesi

Ocak havasındaki nem miktarını belirlemek için çeşitli yöntemler kullanılmakta olup, bunlar aşağıda kısaca tanımlanmıştır.

3.1.1.1. Higrometre Ölçmeleri

Yağı alınmış insan saçı telinin uzunluğu, havadaki nem miktarına bağlı olarak değişme gösterir. Bu esasa dayanarak geliştirilen saç higrometresinde, uzunluk değişimi bir kol yardımıyla göstergeye iletilir. Var olan göstergeden bağıl nem miktarı okunur. Az duyarlı bir ölçme aletidir"; Genellikle yeryüzündeki belirli noktalarda kullanılan bu aletten yeraltında ender olarak yararlanılmaktadır (0,2).

Saç higrometresinin ölçme prensibine göre çalışan, kaydedici nem ölçme aletleri geliştirilmiştir. Bunlar Termohigrograf olarak adlandırılır. Yeryüzünde ve hava giriş kuyularında kullanılırlar. Üretimin yapıldığı kesimlerde ve hava dönüş yollarında kullanılmaları için, üzerine toz sızdırmayan bir kap geçirilir. Hava, basınçlı hava enjektörü yardımıyla toz süzgeci üzerinden emilir.

Termopsikrograf, psikrometre özelliğinde olup, ocak havasının kuru ve nemli sıcaklıklarını sürekli kaydetmektedir. Ölçülen değerler bir kaldırma ko-

lu yardımıyla kaydediciye aktarıldığından, aletin duyarlılığı azdır. Ölçme elemanlarının iyi bir şekilde donatılması ile 0,5 - 1 m/sn'lik hava hızlarında elverişli değerler elde edilebilir (2).

3.1.1.2. Psikrometre Ölçmelerinin Değerlendirilmesi (Grafik Yöntem)

Daha önce de belirtildiği gibi, psikrometre ölçmeleri sonucunda, ocak havasının kuru (t_d) ve nemli (t_n) sıcaklıkları saptanmaktadır. Bu verilerden yararlanarak, farklı barometrik basınçlarda bağıl nem miktarını belirlemek için abaklar hazırlanmıştır (Şekil 3). Grafik yöntem ile bağıl nem miktarının nfr, şekilde belirlendiği Bölüm 5'te açıklanmıştır.

3.1.1.3. Psikrometre Ölçmelerinin Değerlendirilmesi (Analitik Yöntem)

Bölüm 3.1.'de Bağıl Nem miktarının;

$$\varphi = \frac{P_v}{P_s} \cdot 100$$

bağıntısı yardımıyla hesaplanacağı belirtilmiştir.

Bu bağıntıda;

φ : Havadaki bağıl nem miktarı (%)

P_v : t_n sıcaklığında su buharının kısmi basıncı (mm Hg)

P_s : t_n sıcaklığında, doymuş havanın su buharı basıncı (mm Hg) 'dir.

Doymuş havanın su buharı basıncı (P_s), yalnız sıcaklığa bağlıdır. Bu değer, hava basıncından ve gazın bileşiminden bağımsızdır. P_s 'nin t_n sıcaklığındaki değeri, Çizelge Vden alınabilir.

Su buharının kısmi basıncı (P_v), $0_a - 50$ C arasındaki sıcaklıklar için, psikrometre ölçmeleri sonucunda belirlenen kuru ve nemli sıcaklıklara ve ölçülen hava basıncı değerine dayanarak, SPRUNG formülüne [2] göre hesaplanır.

$$P_v = P_n - O \cdot S \cdot \frac{t_d - t_n}{755} \quad [2]$$

Bu bağıntıdaki değerler;

P_n : t_n sıcaklığında, doymuş havanın su buharı basıncı (mm Hg) (Çizelge 1'den alınır)

t_d : Kuru sıcaklık (C)

t_n : Nemli sıcaklık (C)

P : Barometrik basınç (mm Hg) 'tır.

Genel olarak $P / 755$ oranı 1 civarında değişim gösterir. Bu nedenle hava basıncı dikkate alınmayabilir. Duyarlı ölçmelerde; özellikle derin yeraltı ocaklarında ve deniz seviyesinden çok yüksek yerlerde yapılan ölçmelerde, hava basıncı belirlenmeli ve eşitlikteki yerine konmalıdır.

0°C'nin altındaki sıcaklıklarda nemli termometre üzerine sarılı ıslak bez donacağı için, doymuş havanın su buharı basıncı buza göre hesaplanmalı, 0,5 sabiti 0,43 'e indirilmelidir.

Çizelge 1 - Hava İçindeki Su Buharının Değişik Sıcaklıklardaki Kısmi Basıncı (1)

t °C	Buhar Basıncı mm Hg	t °C	Buhar Basıncı mm Hg	t °C	Buhar Basıncı mm Hg	t °C	Buhar Basıncı mm Hg
- 20	0,96	6	7,00	16	13,64	26	25,2
- 15	1,45	7	7,49	17	14,5	27	26,7
- 10	2,16	8	8,02	18	15,5	28	28,4
- 5	3,17	9	8,58	19	16,5	29	30,1
0	4,58	10	9,21	20	17,5	30	31,8
1	4,92	11	9,84	21	18,7	31	33,7
2	5,29	12	10,52	22	19,8		
3	5,68	13	11,23	23	21,1		
4	6,09	14	11,99	24	22,4		
5	6,53	15	12,79	25	23,8		

Ocak yangınlarında görüleceği gibi, sıcaklığın 50°C'yi aşması durumunda P_v değerini hesaplamak için KIRSCHER formülü kullanılır (5).

$$P_v = P_n - 6,65 \left(1 - \frac{P_n}{P}\right) \cdot \frac{P}{755} \cdot \left(1 + \frac{t_n}{1000}\right) \cdot (t_k - t_n) \quad [3]$$

Bu formüldeki değerler daha önce açıklanmıştır.

3.2. Mutlak Nem

1 m³ ya da 1 kg hava içindeki su buharının kg ya da gr cinsinden miktarına, havanın Mutlak Nem'i denir. 1 m³, basınç ve sıcaklığa bağlı olarak farklı hacim kaplayacağından, hesaplamalarda genellikle 1 kg hava içindeki nem miktarı belirlenir.

Bu değer [4] ya da [5] bağıntısı yardımıyla hesaplanır.

$$x = \frac{0,622 \cdot P_v}{P - P_v} \quad (\text{kg/kg}) \quad \text{[4]}$$

$$x = \frac{622 \cdot P_v}{P - P_v} \quad (\text{gr/kg}) \quad \text{[5]}$$

Bu bağıntılarda;

- x : Havadaki mutlak nem miktarı (kg/kg, gr/kg)
 P_v : t_k sıcaklığında su buharı kısmi basıncı (mm Hg)
 P : Barometrik basınç (mm Hg) 'dir.

4. NEMLİ HAVANIN ISI İÇERİĞİ (Entalpi)

1 kg kuru hava ve x kg su buharından oluşan havanın ısı içeriği [6] bağıntısı yardımıyla hesaplanır.

$$i = 0,24 \cdot t_k + 0,46 \cdot x \cdot t_k + 597 \cdot x \quad [6]$$

Bu eşitlikte;

- i : Nemli havanın ısı içeriği (kcal/kg)
 t_k : Kuru sıcaklık (C)
 x : Hava içindeki mutlak nem miktarı (kg/kg)

0,24: Kuru havanın sabit basınçtaki özgül ısı (kcal/kg°C)

0,46: Su buharının sabit basınçtaki özgül ısı (kcal/kg °C)

597: Suyun buharlaşma ısı (kcal/kg)'dir (4).

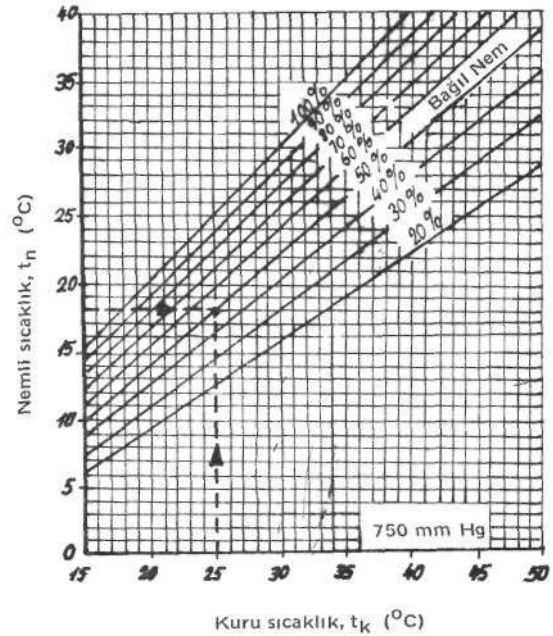
5. OCAK HAVASININ SICAKLIĞININ İÇERDİĞİ NEM MİKTARININ VE ISI İÇERİĞİNİN BELİRLENMESİNE İLİŞKİN BİR ÖRNEK

Psikrometre ölçmeleri sonucunda, kuru sıcaklık ($t_k = 25^\circ\text{C}$) ve nemli sıcaklık ($t_n = 18^\circ\text{C}$) olarak belirlenmiştir. Barometrik basınç ise 750 mm Hg'dir. Bu verilere dayanarak, ocak havasındaki Bağıl ve Mutlak Nem miktarlarını ve Havanın Isı İçeriği hesaplanabilir.

- Bağıl Nem Miktarının Hesaplanması

a. Grafik Yöntem

Apsis eksenine 25 C'den, ordinat eksenine 18°C'den dik çıkarak dikmeler kesiştirilir. Her iki dikmenin kesiştiği noktadan geçen doğrunun üzerindeki değerden Bağıl Nem miktarı okunur. Şekil 3'te görüldüğü gibi, Bağıl Nem miktarı % 50 olarak bulunmuştur.



Şekil 3. Nemli ve kuru sıcaklıklara bağlı olarak Bağıl Nem miktarının bulunması

b. Analitik Yöntem

Analitik yöntem ile Bağıl Nem miktarını (ϕ) belirlemek için [1] bağıntısından yararlanılır.

$$\phi = \frac{P_v}{P_s} \cdot 100 \quad [1]$$

Bu bağıntıdaki P_v değeri;

$$P_v = P_n - 0,5 (t_k - t_n) \cdot \frac{P}{755} \quad [2]$$

eşitliğinden bulunur.

P_n 'nin değeri; Çizelge 1'de $t_n = 18^\circ\text{C}$ için, $P_n = 15,5 \text{ mm Hg}$ 'dir.

O halde;

$$P_v = 15,5 - 0,5 (25 - 18) \cdot \frac{750}{755}$$

$P_v = 12,02 \text{ mm Hg}$ olarak saptanır.

P_s 'nin değeri; Çizelge 1'de $t_k = 25^\circ\text{C}$ için, $P_s = 23,80 \text{ mm Hg}$ 'dir.

Bu durumda, ocak havasındaki Bağıl Nem miktarı;

$$\phi = \frac{12,02}{23,80} \cdot 100 = \%50 \text{ dir}$$

— Mutlak Nem Miktarının Hesaplanması

Hava içindeki Mutlak Nem miktarı, [4] ya da [5] bağıntılarından yararlanarak hesaplanabilir.

$$x = \frac{0,622 \cdot P_v}{P - P_v} \quad [4]$$

$$x = \frac{622 \cdot P_v}{P - P_v} \quad [5]$$

Daha önceden, $P_v = 12,02 \text{ mm Hg}$ ve $P = 750 \text{ mm Hg}$ olduğu bilinmektedir.

O halde;

$$x = \frac{0,622 \cdot 12,02}{750 - 12,02} = 0,010 \text{ (kg/kg)}$$
$$x = \frac{622 \cdot 12,02}{750 - 12,02} = 10,13 \text{ (gr/kg)'dir.}$$

— Nemli Havanın Isı İçeriği (Entalpi)

Nemli havanın ısı içeriği (i), [6] eşitliğinden elde edilir.

$$i = 0,24 \cdot t_k + 0,46 \cdot x \cdot t_k + 597 \cdot x \quad [6]$$

Önceden; $t_k = 25^\circ\text{C}$ ve $x = 0,010 \text{ kg/kg}$ olarak belirlenmiştir.

O halde;

$$i = 0,24 \cdot 25 + 0,46 \cdot 0,01 \cdot 25 + 597 \cdot 0,01$$

$$i = 12,09 \text{ kcal/kg'dir.}$$

6. SONUÇ

Ocak havasının ısı olarak tariflenen sıcaklık ve nem'in belirli sınırlar arasında tutulması gerekmektedir. Bunun sağlanamaması durumunda; işçilerin sık sık hastalandığı, çalışma veriminin düştüğü, iş kazalarının arttığı gözlenmiştir.

Çalışanların ısı zorlamalarıyla karşılaşarak karşılaşmadıkları konusunda bir hüküm verebilmek için, ocak havasının sıcaklığının ve içerdiği nem miktarının düzenli bir şekilde kontrolü gerekir. Ölçme sonuçları diğer ülkelerde kabul edilen sınır değerler ile karşılaştırılarak; eğer gerekiyorsa, etkin önlemler alma yoluna gidilir. Böylece hem iş verimi artırılmış, hem de çalışanların-sağlığı korunmuş olur.

KAYNAKLAR

1. AYVAZOĞLU, E., "Madenlerde Havalandırma ve Emniyet", İ.T.Ü. Maden Fak., Yayın No. 13, 1984.
2. SALTOĞLU, S., "Madenlerde Havalandırma ve Emniyet İşleri", İ.T.Ü. Kütüphanesi Sayı: 1019, 1975.
3. KÜRKÇÜOĞLU, N., "Üniversite Fiziği (Birinci Kısım)", İ.T.Ü. Kütüphanesi Sayı: 1043, 1976.
4. WEUTHEN, P., "Die Bestimmung der Feuchtigkeit in Luft, anderen Gasen und Gasmischungen" Sonderdruck aus GT-T, Fachzeitschrift für das Laboratorium, Heft 11, 1964, p. 767 - 770.
5. NEUMANN, W., PLASCHE, F., SONNEMANN, G., "Wetterlehre und Grubenbrandbehaftung" VEB Deutscher Verlag für Grunstoffindustrie, 1963.