

YERALTI OCAKLARINDA ISI STRESİNİN ETKİLERİ VE ANALİZİ ÜZERİNE BİR PAKET PROGRAM

A Computer Program on the Analysis and Effects of Heat Stress in Underground Mines

Mustafa ÖNDER (*)
Saim SARAÇ (**)
Neşet EREN (***)

ÖZET

Yeraltı madenciliğinde havanın sıcaklık ve nemini kontrol etme gereksinimi, korumasız insan vücudunun etkin olarak çalışabileceği iklimsel koşulların dar sınırlar içerisinde kalmasından kaynaklanmaktadır. Ocaklardaki iklimsel koşulları kabul edilebilir sınırlar içerisinde tutmanın ana nedeni; verimliliği artırmak, kaza oranını azaltmaktır. Bu çalışmada; sıcaklık ve nemin insan vücudu üzerindeki etkisi araştırılarak, işçiler için uygun çalışma koşullarının belirlenmesi amacı ile kullanılan yaklaşımlar incelenmiştir. Ayrıca, ısı stresinin belirlenmesinde kullanılan yaklaşımları temel alan bir bilgisayar paket programı hazırlanmış ve bu programın özellikle derin yeraltı ocaklarında ısı stresi analizine getireceği avantajlar açıklanmıştır.

Anahtar sözcükler: Isı Stresi, Isı Stres Göstergeleri, Yeraltı Madenciliği, Yeraltı İklimi.

ABSTRACT

The need to control air temperature and humidity in underground mining operations is due to the relatively narrow range of climatic conditions in which the unprotected human body can operate efficiently. The major reasons for ensuring climatic conditions within reasonable ranges in mines are to increase productivity and to reduce accident rates. In this study, the theories that have been used in the determination of suitable working conditions for workers were examined by investigating the effects of air temperature and humidity on human body. In addition, a computer program used in the determination of heat stress has been developed and the advantages of using this program in the analysis of heat stress in deep underground mines have been explained.

Keywords: Heat Stress, Heat Stress Indices, Underground Mining, Underground Climate.

(*)Yrd. Doç. Dr., Osmangazi Ünv, Müh. Mimarlık Fak. Maden Müh. Böl. Batı Meşelik, Eskişehir,
monder@ogu.edu.tr

(**)Prof. Dr., Süleyman Demirel Ünv, Müh. Mimarlık Fak. Maden Müh. Böl. Isparta,
saim@mmf.sdu.edu.tr

(***)Maden Müh., Osmangazi Ünv, Müh. Mimarlık Fak. Maden Müh. Böl. Batı Meşelik, Eskişehir,
neset_eren@yahoo.com

1. GİRİŞ

İnsan vücudu, içinde yaşadığı ortamın iklimsel koşullarından doğrudan etkilenir. Kısıtlı bir hacim içinde çalışılan yeraltı ocaklarında, ağır iş yapan işçiler için bu etkileşim çok daha anlamlı olur. İnsan vücudunun ısıya karşı davranışı ve yaşadığı ortamın iklimsel koşullarına tepkisi konunun en temel boyutudur.

Yeraltı ocaklarında sıcak ve nemli koşullarda çalışan işçilerde, olumsuz çevre koşullarından dolayı ya dikkat dağılarak kaza oranlarında artış meydana gelmekte, ya da vücut ısısını azaltmak amacıyla sık sık dinlenmeye gereksinim duyularak verimlilik azalmaktadır. Bu koşullarda amaç, yeraltı ocak iklimini işçinin rahat çalışabileceği sıcaklık sınırları içerisinde tutmaktır. Bu sıcaklık sınırlarını belirlemede göz önünde tutulacak en önemli unsurlardan birisi işçinin deri sıcaklığıdır. Sıcak veya soğuk hissi vermeyen bir çevre içerisinde bulunan dinlenme halindeki bir kişinin ortalama deri sıcaklığı yaklaşık 34 °C'dir (McPherson,1993). Sıcak koşullarda ve ağır iş yapan işçilerde ortalama deri sıcaklığı, kabul edilebilir sınırlar üzerine çıkarak işçinin ölümüne sebep olacak kadar kötü sonuçlar doğurabilir. Uygun çalışma koşullarının oluşturulması için dünya çapında kullanılan diğer ısı stres göstergeleri ise etkili sıcaklık ve yaş küresel sıcaklıktır.

Bu çalışmada, ısı stresinin belirlenmesinde kullanılan teori ve göstergeler incelenerek "Visual Studio. NET 2003" editöründe "Visual Basic. NET" kullanılarak yazarlar tarafından bir bilgisayar paket programı geliştirilmiştir. Programın yeraltı ocaklarındaki iklimsel koşulların düzenlenmesine ve ısı stresinin analizine getireceği kolaylıklar vurgulanmıştır. Özellikle Zonguldak kömür havzası gibi derin yeraltı koşullarının var olduğu işletmelerde, ısı stres analizinin uluslararası kuruluşlar tarafından kabul görmüş göstergelerle yapılmasının önemi açıklanmaya çalışılmıştır.

2. VÜCUDUN ISI DÜZENLEMESİ

İnsan vücudu, merkezi bir iç sıcaklığa (t_c) ve bunu çevreleyen deri için, bir deri sıcaklığına (t_{sk}) sahiptir. İç sıcaklık sabit olmayıp, kasların hareketine ve vücudun içinde bulunduğu ortama göre 36-38 °C arasında değişir. Deri sıcaklığı ise giyime, çevre havasının hızına ve sıcaklığına, terleme oranına ve yapılan harekete bağlı olarak değişir. Derinin ortalama sıcaklığı ve ıslaklığı

fizyolojik ısı transferinde önemli parametrelerdir (McPherson,1993).

Vücut, çevresi ile ısı dengesini korumak için, ürettiği metabolik ısıyı eşit bir oranla çevreye transfer etmelidir. İnsan vücudu tarafından oluşturulan metabolik ısı, çevreye bu ısının oluşum oranına eşit olmayan bir hızla verilirse, insan iki reaksiyon tipinden birisini veya her ikisini birden gösterir. Bunlardan birincisi, elbise giymek veya çıkarmak ve fiziksel eylemlerin azaltılması veya artırılmasıdır. İkinci tip tepkiler ise, çevresi ile sabit bir enerji dengesini tekrar kurmak için vücut tarafından yapılan terleme veya titreme gibi istem dışı davranışlardır. Bunlar vücudun ısı düzenlemesi olarak adlandırılır (Pickering ve Tuck,1997).

Vücudun hem içinde hem de deri boyunca sıcaklığa duyarlı alıcılar vardır. Bu alıcılar t_c ve t_{sk} 'nin değerlerinden farklı bir değerle karşılaştığında tepki gösterirler. Hava sıcaklığı yükselmeye devam ettikçe, çalışma oranına ve iç alıcılardan gelen sinyallere bağlı olarak vücut yüzeyinde kısmen ıslanmalarla sonuçlanan terleme başlayacaktır.

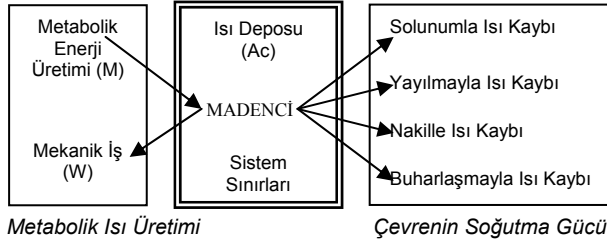
Tüm derinin ıslanması sağlanıncaya kadar devam eden terleme periyodu boyunca oluşan buharlaşma soğuması, çevre sıcaklığına göre deri sıcaklığındaki artış oranını azaltır. Deri sıcaklığı 34 °C'ye yaklaştığında ve aştığında deri alıcıları daha fazla ter üretmek için tepki gösterirler. Terle örtülü alan ve buharlaşma soğumasının etkinliği hızla artar. Deri tam olarak ıslandığında ise, daha ileri soğuma ancak deri sıcaklığının artması ile mümkün olabilir. Böylece deri sıcaklığındaki artma devam eder. Deri sıcaklığı 36 °C'yi aşarsa sıcak koşullara alışmamış bir kişi, sıcak çarpmasının belirtilerini göstermeye başlar. 37 °C'nin üzerindeki deri sıcaklığında ise kişi aşırı tehlikededir (McPherson,1993).

Denge koşullarında metabolik ısı üretimi (M), vücuttan çevreye ısı transferi ile dengelenir. Ancak, metabolik ısının bir kısmı (Ac) vücut içerisinde depolanarak, iç sıcaklıkta (Δt_c) ve aynı zamanda deri sıcaklığında (Δt_{sk}) geçici bir artışa sebep olur.

Deri sıcaklığı vücut yüzeyi boyunca değişken olmasına ve çevre havasının sıcaklığı ile değişmesine rağmen, gergin olmayan bir insan için 34 °C'lik ortalama bir değere sahiptir. Depolanan ısının (Ac) etkisi iç sıcaklığı ve

böylece deri sıcaklığını arttırmaktadır. Bu durumda vücut yeni bir denge oluşturmak için ter bezlerini çalıştırarak soğumaya çalışır (McPherson,1993).

İnsan vücudundan ısı transferi solunumla (Br), yayılmayla (Rad), nakille (Con) ve buharlaşmayla (Evap) oluşur. İnsan vücudunun enerji dengesinin şematik diyagramı Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. İnsan vücudunun enerji dengesinin şematik diyagramı

Metabolik ısı üretimi öncelikle kasların hareketine bağlı olmakla beraber, sağlık koşullarına ve ruhsal duruma bağlı olarak da değişir. Çizelge 1'de bir seri eylemin ortalama metabolik ısı üretim değerleri W/m^2 olarak verilmiştir (McPherson,1993). Elle hafif işler için makina, dozer ve delici jumbo ekipmanları operatörlerinin yaptıkları işler, orta derecedeki iş için yeraltında hafif inşaat çalışmaları, ağır iş için ise kürekle çalışma işleri örnek olarak verilebilir (Howes ve Nixon,1997).

Çizelge 1.Eylemlerin Metabolik Isı Üretimleri

Eylem	Metabolik Isı Üretimi (W/m^2)
Uyuma	40
Oturma	58.5
Ayakta durma	70
1 m/s'lik hızla yürüme	130
1.4 m/s'lik hızla yürüme	175
1.8 m/s'lik hızla yürüme	220
Elle çok hafif iş yapma	95
Elle hafif iş yapma	145
Elle orta derecede iş yapma	245
Elle ağır iş yapma	340

3. ISI DÜZENLEME MODELİ

İnsan vücudunun ısı transferini tanımlayan eşitlikler McPherson tarafından ayrıntılı olarak verilmiştir. Bu eşitlikler belli bir düzen içinde organize edilerek ısı düzenleme sistemi

modellenebilir. Bu model metabolik ısı üretimi ile net ısı transferini kıyaslar ve fizyolojik parametrelerin bir veya daha fazlasını ayarlar. Süreç, ısı dengesine (net ısı transferi metabolik ısıya eşit) ulaşıncaya kadar iteratif olarak tekrar edilir (McPherson,1993).

Bu bölümde verilen ısı düzenleme modeli, ısı stresinin fizyolojik göstergesi olarak ortalama deri sıcaklığını (MST) kullanır. Net ısı transferi ve metabolik ısı arasındaki fark ısı birikimini (Ac) gösterir. $(Br+Con+Rad+Evap)$ havanın soğutma gücü (ACP) olarak tanımlanır ve insan vücudu ve çevresi arasındaki ısı transferinin belirlenmesinde kullanılır.

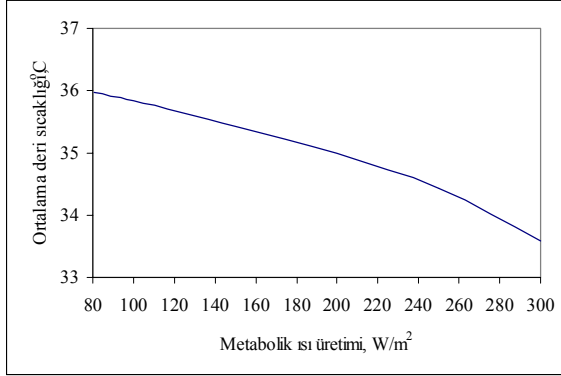
$$Ac=M-(Br+Con+Rad+Evap) \quad (1)$$

Eşitlik 1'den elde edilen Ac değeri pozitifse ısı vücut içerisinde geçici olarak toplanır. Bu durumda kişinin reaksiyonu dinlenmek, çalışma oranını düşürmek veya kıyafetlerini çıkarmak şeklinde olabilir. Bununla beraber benzetim modelleri metabolik ısının korunduğunu kabul ederler. Deri sıcaklığı ve böylece ıslaklık yüzdesi Ac'nin fonksiyonu olarak artar (Wu ve Gillies, 1997; McPherson, 1993).

Isı düzenleme modelinin iteratif olarak tekrarlanmasında deri sıcaklığı (t_{sk}) Ac'ye bağlı olarak düzenlenmelidir. Isı transfer eşitlikleri $Ac \pm 1 W/m^2$ duyarlılığına ulaşıncaya kadar iteratif olarak tekrarlanır. İterasyon işlemleri sonucunda elde edilen deri sıcaklığı değeri metabolizma tarafından kabul edilebilir deri sıcaklık değerini aşılıyorsa işçi, vücut ısı düzenleme sistemini kullanarak çevresi ile ısı dengesini sağlamaya çalışır. Öncelikle terleme başlar. Isı düzenleme sistemi daha da zorlanırsa, baş ağrısı veya mide bulantısı gibi fiziksel rahatsızlıklar meydana gelir. Gerekli önlemler alınmazsa ısı düzenleme sistemi çevresi ile kurduğu dengeyi koruyamaz ve vücudun ısısında artış olur. İç sıcaklık sürekli artar ve sonuç muhtemelen ölümdür (McPherson, 1993 ; Pickering ve Tuck,1997).

Vücudun yapmış olduğu aktiviteye yani metabolik ısı üretim değerine karşılık gelen ortalama kabul edilebilir bir deri sıcaklığı mevcuttur. Şekil 2 iklimle alışmış bir işçinin 4 saat devamlı çalıştıktan ve vücudu tam olarak terledikten sonra dengedeki deri sıcaklığının maksimum kabul edilebilir değerini saptamak için kullanılmaktadır. Metabolik ısı üretimine karşılık gelen ortalama deri sıcaklığının üzerindeki deri sıcaklığına sahip işçilerde ısı stresi başlayabilir.

İç sıcaklık 40 °C'nin üzerine çıktığında ölümcül ısı stres riski hızla artar (Steward,1982; Murray-Smith vd., 1984).



Şekil 2. Metabolik ısı üretimine karşılık gelen ortalama deri sıcaklığının sınır değerleri

4. ISI STRES GÖSTERGELERİ

Isı stres göstergeleri, bir çevrenin soğutma gücünü tanımlamak için kullanılır. Pratik uygulamalar için bu göstergeler doğrudan ölçülebilmeli veya birkaç gözlemden kolayca belirlenebilmelidir. 90'dan fazla ısı stres göstergesi geliştirilmiştir. Bu fazlalık, insan ısı düzenleme sisteminin karmaşıklığı ve iklimsel koşulların değişkenliğinden kaynaklanmaktadır (McPherson,1993; Stewart,1982).

Yeraltı ocaklarındaki çevresel koşulları tanımlamak için kullanılan ısı stres göstergelerini, doğrudan ölçüm, deneysel yöntemler ve rasyonel göstergeler olmak üzere üç tipte sınıflamak mümkündür.

4.1 Doğrudan Ölçüm

McPherson (1993), tek bir psikrometrik parametrenin tek başına fizyolojik reaksiyonların güvenilir göstergesi olarak kullanılmayacağını ileri sürmüştür. Isı transferinin buharlaşmayla gerçekleştiği sıcak ve nemli çevrelerde, çevre havasının yaş sıcaklığı vücudun soğumasını etkileyen en önemli değişkendir. Çoğu ocaklarda iklimsel ölçüt olarak yaş sıcaklık kullanılmaktadır. 27-28 °C'lik bir yaş sıcaklık değeri, sınır değer olarak kabul edilmektedir. Sıcaklık bu değerlerin üzerine çıktığında çalışma oranı veya vardiya saatleri azaltılmaktadır. Krige ve Barnard (1981), yaş sıcaklıktaki 1 °C'lik azalmanın verimliliği % 3-4 oranında artırabileceğini ileri sürmüşlerdir.

Yaş sıcaklıktan sonra ortam konforunu belirlemede doğrudan ölçülebilen çevresel faktörlerin en önemlisi hava hızıdır. Çok sıcak ve nemli ortamlar 1-2.5 m/s'lik bir hava hareketi sağlanmasıyla tahammül edilebilir hale getirilebilir. Murray-Smith (1987), hava hızındaki artışın iç sıcaklığı ve böylece ısı stres riskini azaltacağını vurgulamıştır.

Sıcak koşulların diğer bir göstergesi ise kuru sıcaklık değeridir. Kuru sıcaklık değeri iklimsel koşulların kabulünde yetersiz kaldığından tek başına nadiren kullanılmaktadır (Hartman,1991).

4.2 Deneysel Yöntemler

Bu teknikler, ya kontrollü iklimsel koşullar altında çalışan gönüllüler üzerinde yapılan gözlemlerin istatistiksel olarak değerlendirilmesi sonucu geliştirilmiş olan ya da ölçülebilir parametrelerin kullanıldığı basitleştirilmiş ilişkilere dayanan ısı stres göstergelerini türetirler.

4.2.1 Etkili Sıcaklık (ET)

Etkili sıcaklık (*Effective Temperature*), yaygın olarak kullanılan ısı stres 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 abaklar veya eşitlikler yardımıyla belirlenebilir.

Etkili sıcaklık göstergesi, 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 (Pickering ve Tuck, 1997; McPherson, 1993; Hartman, 1991).

Uluslararası Mesleki Sağlık ve Emniyet Enstitüsü NIOSH (1986), 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. İklimde alışkın kişilerde ise bu değerlerin 2 °C daha fazla alınabileceğini öne sürmüştür.

Amerika Isıtma, Soğutma ve İklimsel Düzenleme Mühendisleri Odası ASHRAE (1995), işçilerin

verimli olarak çalışabilmeleri için etkili sıcaklığın en fazla 26.7 °C olması gerektiğini belirtmektedir.

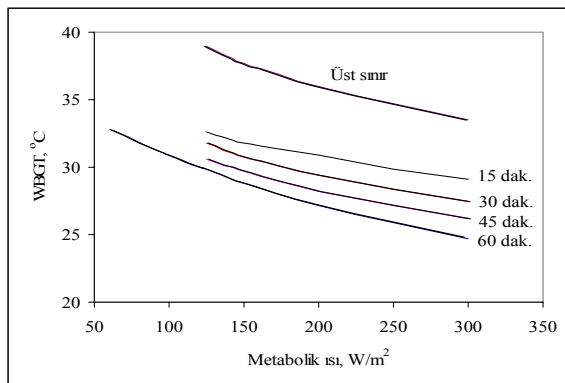
4.2.2 Yaş Küresel Sıcaklık (WBGT)

WBGT (*Wet Bulb Globe Temperature*), henüz madencilikte yaygın olarak kullanılmamasına rağmen endüstride yaygın olarak kullanılan bir ölçüttür. Uluslararası Standartlar Organizasyonu (ISO), sıcak ortamda çalışanların ısı streslerini değerlendirmede bu göstergenin kullanılmasını önermiştir (Howes ve Nixon, 1997; Ramsey vd., 1986). WBGT değeri sadece iki ölçümle tespit edilebilmektedir. Ölçülecek ilk parametre bir yaş sıcaklık termometresi ile ölçülen yaş sıcaklık (θ_w) değeri, diğeri ise bir termometre ile ölçülen kuru sıcaklık (θ_d) değeridir. Bu iki değer bileşeni (Eşitlik 2) WBGT değerini vermektedir (Howes ve Nixon, 1997; Schutte ve Kielblock, 1997).

$$WBGT = 0.7\theta_w + 0.3\theta_d \quad (2)$$

WBGT, yaş ve kuru sıcaklıklar ve hava hızı gibi fizyolojik reaksiyonları etkileyen ana iklimsel parametrelerin bir fonksiyonudur. Buna ilave olarak, hava hızının ayrıca ölçülmesini gerektirmemesi de önemli bir avantajdır (McPherson, 1993).

NIOSH (1986), ısı stresinin bir standardı olarak "Şekil 3" de verilen grafiği önermiştir. Bu grafikte, metabolik ısı üretimi ve çalışma sürelerine göre tavsiye edilen WBGT değerleri ile birlikte metabolik ısı üretimine bağlı olarak değişen, kabul edilebilecek en büyük WBGT değerleri gösterilmiştir.



Şekil 3. Metabolik ısı üretimine göre kabul edilebilir WBGT değerleri

Uluslararası Standartlar Organizasyonu (ISO), sıcak ortamlarda çalışan kişilerin metabolik ısı üretimlerine bağlı olarak, kabul edilebilecek en büyük WBGT değerlerini Çizelge 2 de özetlemiştir (Parsons, 1995).

Çizelge 2. WBGT İçin Sınır Değerler

Metabolik ısı üretimi (W/m²)	WBGT (°C)			
	İklima alışmış kişi		İklima alışmamış kişi	
M<65	33		32	
65<M<130	30		29	
130<M<200	28		26	
	Hava hareketi yok	Hava hareketi var	Hava hareketi yok	Hava hareketi var
200<M<260	25	26	22	23
M>260	23	25	18	20

ASHRAE (1995), yeraltındaki orta derecedeki çalışmalar için WBGT değerinin 26.7 °C'yi, ağır çalışmalar için de 25 °C'yi geçmemesi gerektiğini açıklamıştır.

4.3 Rasyonel Göstergeler

Isı stresinin rasyonel bir göstergesi, ısı denge eşitliğine (Eşitlik 1) dayanır. Bir yeraltı ocağında çalışan işçilerin maruz kaldıkları ısı stresini belirlemek amacıyla, böyle bir ısı düzenleme modeli bilgisayarlar için programlanabilir. Rasyonel göstergelerin yaygın olarak kullanılması ACP olup, ortalama deri sıcaklığını (MST) analiz ederek çalışmaktadır.

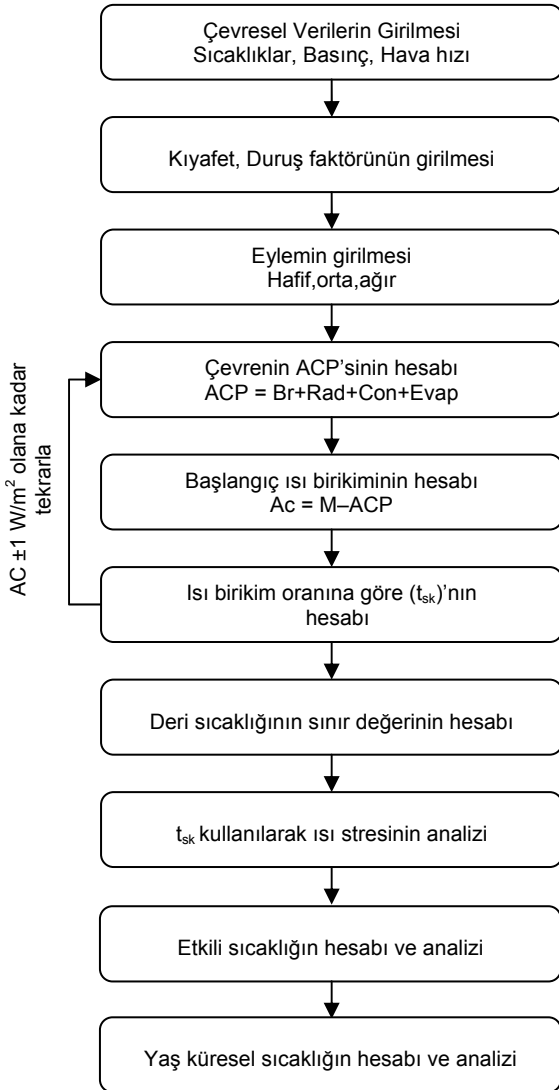
Yeraltı ocaklarındaki olası bir iklim problemini, bir ısı stres göstergesi tespit ederken, diğer herhangi birisi tespit edemeyebilir. Bundan dolayı iklimsel koşulların kabul edilebilirliğinin analizinde, ısı stres göstergelerinin birden fazlasının kullanılması faydalı olur (Tuck, 1997).

5. BİLGİSAYAR PAKET PROGRAMI

Yeraltı ocaklarındaki ısı stresinin analizinde kullanılan model, oldukça uzun ve karmaşık hesaplamaları gerektirmektedir. Ayrıca uluslararası ısı stres standartlarını yeraltı ocaklarına uygulamak oldukça detaylı araştırma yapmayı zorunlu kılmaktadır. Bu nedenle, ısı stres analizinin bir bilgisayar programı yardımıyla yapılması hem hata yapma olasılığını en aza indirecek, hem de havalandırma mühendisine büyük kolaylıklar sağlayacaktır.

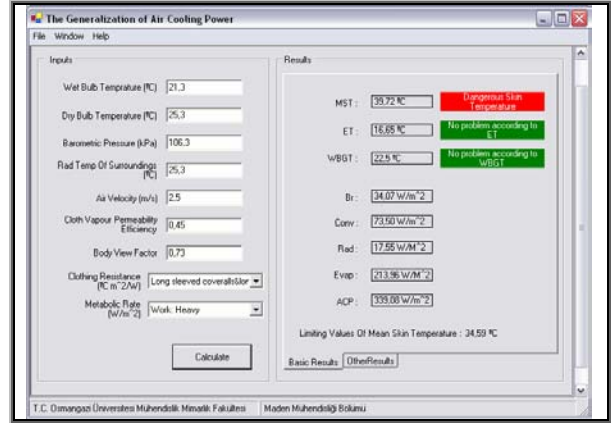
Bu amaçla, yazarlar tarafından "HESTA" isimli bir bilgisayar paket programı geliştirilmiştir. Isı

stresinin araştırılması amacıyla, derlenilmesi gereken veriler; kuru-yaş sıcaklıklar, hava hızı, barometrik basınç, kayaç yüzey sıcaklığı, işçinin metabolik ısı üretimi, kıyafet tipi ve duruş faktörünün belirlenmesini kapsamaktadır. Kayaç yüzeyinin sıcaklığı hassas olarak belirlenebilmekle beraber, çoğu yeraltı ocakları için kuru sıcaklığa eşit olarak alınabilir. İşçinin metabolik ısı üretimi Çizelge 1’de verilen aktivitelerden seçilebilirken, madencilikte yaygın olarak kullanılan kıyafet tiplerinin ısıl dirençleri gibi detay bilgilerde konu ile ilgili hazırlanmış çizelgelerden belirlenebilmektedir. Ayrıca, insan vücudunun duruş faktörü oturmuş, ayakta veya çömelmiş kişiler için 0.7-0.75 arasında değişirken, yürüyen bir kişi için ise 0.73 olarak alınabilir (McPherson,1992;1993). Programın yapısı Şekil 4’te özetlenmiştir.



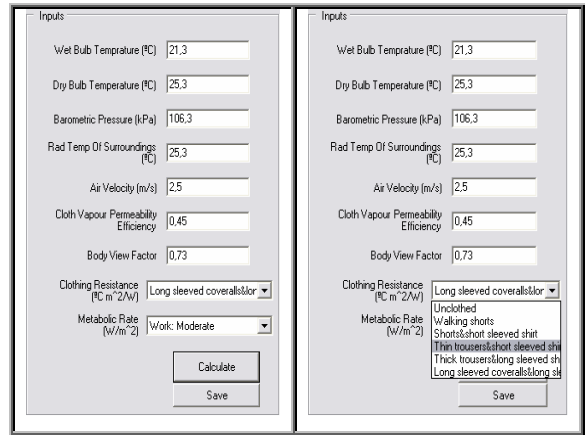
Şekil 4. Isı stresi tahmin modelinin yapısı

Programa veri bağlantısı sağlanarak girilen değerlerin kayıt edilmesi mümkün kılınmıştır. Program Windows Uygulaması olarak yazılmış olup Windows 98/Me/2000/Xp/2003 işletim sistemlerinde çalışmaktadır. Programın genel bir görünümü Şekil 5’te verilmiştir.



Şekil 5. "HESTA" programının genel görünümü

Programın veri girişi Şekil 6’da gösterilen pencereden yapılmaktadır. Kullanıcıya kolaylık sağlaması amacıyla kıyafet tipi ve metabolik aktivitenin seçimi için bir "Açılır Kutu" tasarlanmıştır.

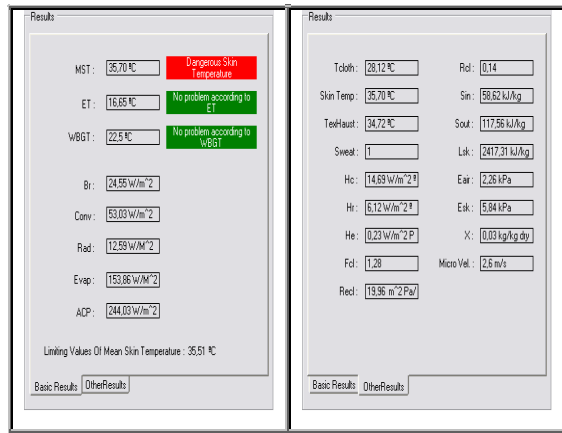


Şekil 6. Isı stresi verilerinin girildiği pencere

Programa veri girişinden sonra yapılan hesaplama sonuçları iki ayrı bölümde toplanmıştır (Şekil 7). Bu bölümlerden temel sonuçlar "Basic Results" menüsünden görülebilir. Bu bölümde, var olan iklimsel koşulların işçiler

için uygun olup olmadığı denetlenemez, ortalama deri sıcaklığının kabul edilebilir maksimum değeri de görülebilir. Denetim mekanizmasında, halen uluslararası literatürde yaygın olarak kullanılan MST,ET ve WBGT değerleri kullanılmaktadır. Hesaplanan değerler *NIOSH*, *ASHRAE* ve *ISO* standartlarına göre değerlendirilip, herhangi bir ısı stresinin oluşup oluşmayacağı konusunda bilgi verilmektedir. Böylece kıyafet tipi ya da yapılan aktivite türü gibi kişisel parametreleri değiştirilerek, işçiler için daha uygun çalışma ortamının hızlı bir şekilde oluşturulması sağlanmış olacaktır. Buna rağmen uygun çalışma ortamı oluşturulamaması durumunda sıcaklığın düşürülmesi ya da hava hızının artırılması gibi bazı önlemlerle iklimsel koşullar iyileştirilebilir. Tüm bu düzenlemelerin öncelikle bilgisayar ortamında yapılması hem ekonomik hem de zaman açısından tasarruf sağlayacaktır.

Yardımcı sonuçlar ise “*Other Results*” menüsünde toplanmıştır. Bu bölümde hesaplama sırasında elde edilen sayısal değerler ayrıntılı olarak verilmektedir.



Şekil 7. Analiz sonuçlarının gösterildiği pencereler

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.

Verimlilik ve kaza oranları üzerinde iklimsel koşulların etkinliğini vurgulamak için pek çok çalışma yapılmış, bu çalışmaların sonuçları havanın soğutma gücünün ve diğer iklimsel parametrelerin konforlu sınırlar içinde kalmasının verimlilik üzerinde çok büyük etkileri olduğunu ortaya koymuştur.

Bir yeraltı ocağında çalışan işçiler üzerinde ısı stresinin araştırılmasında kullanılan teorinin oldukça uzun ve karmaşık hesaplamalara sahip olmasından dolayı, hata yapma olasılığı oldukça fazladır. Bu nedenle, “*HESTA*” isimli bir paket program geliştirilmiştir. Bu program ısı stresini *NIOSH*, *ASHRAE* ve *ISO* gibi uluslararası kuruluşların uygun gördüğü standartlara göre değerlendirmektedir. Isı stresinin tespitinde yaygın olarak kullanılan göstergeler ortalama deri sıcaklığı, etkili sıcaklık ve yaş küresel sıcaklık olarak kabul edilebilir. Bu göstergelerden birisi mevcut iklimsel problemi tespit ederken, diğer herhangi bir gösterge tespit edemeyebilir. Bundan dolayı iklimsel koşulların kabul edilebilirliğinin analizinde, ısı stres göstergelerinin birden fazlasının kullanılması faydalı olur.

Ülkemizde özellikle TTK Yeraltı Ocakları Zonguldak Havzası’nda, derin yeraltı işletmeciliği uygulanmaya başladığından yüksek sıcaklık ve nem sorunu gündeme gelecektir. Bu da özellikle derin kotlarda ve ağır madencilik koşullarında çalışan işçilerde ısı stresine sebep olabilecektir. Mevcut ısı stresinin tespiti ve alınacak önlemlerin değerlendirilmesi ise sadece konu üzerine odaklanmış bilgisayar programlarıyla başarılabilecektir.

Türkiye yeraltı madenciliğinde mevcut standartlar sadece sıcaklık için sınır değerlerden ibarettir. Bu standartlar kıyafet ve metabolik eylemler gibi ısı stresinin hesabında oldukça öneme sahip olan kişisel parametreleri de içermelidir.

7. KAYNAKLAR

ASHRAE, 1995; “Mine Air Conditioning and Ventilation”, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Chapter 25, 1-7 pp.

Hartman, H.L., 1991; “Heat in Mines”, Mine Ventilation and Air Conditioning, 561-593 pp.

Howes, M.J. and Nixon, C.A., 1997; “Development of Procedures for Safe Working in

Hot Conditions”, Proceedings of the 6th International Mine Ventilation Congress, 191-197.

Krige, D.G. and Barnard C.P.S., 1981; “Gold-Mine Productivity as Affected by the Average Wet-Bulb Temperature of the Underground Working Places”, Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy, May, 117-121.

McPherson, M.J., 1992; “The Generalization of Air Cooling Power”, Proceedings Fifth International Mine Ventilation Congress, The Mine Ventilation Society of South Africa, Johannesburg, South Africa, 27-35.

McPherson, M.J., 1993; “Subsurface Ventilation and Environmental Engineering”, Chapman & Hall, 905 pp.

Murray-Smith, A.I., Steward, J.M., Trethowen, S.J. and Turner, M.J., 1984; “Assessment, Measurement and Reduction of Human Heat Stress in South African Gold Mines”, Third International Mine Ventilation Congress, 333-338.

Murray-Smith, A.I., 1987; “The Effect of Clothing on Heat Stress in Mining Environments”, Journal of the Mine Ventilation Society of South Africa, March, 37-39.

NIOSH, 1986; “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 pp.

Parsons, K.C., 1995; “International Heat Stress Standards: A Review”, Ergonomics, (38), 6-22.

Pickering, A.J. and Tuck, M.A., 1997. “Heat: Sources, Evaluation, Determination of Heat Stress and Heat Stress Treatment”, Mining Technology, June, 147-156.

Ramsey, J.D., Burford, C.L., Dukes-Dabos, F.N., Tayyari, F. and Lee, C.H., 1986; “Thermal Environment of an Underground Mine and Its Effect upon Miners”, Ann. Am. Conf. Gov. Ind. Hyg., Vol.14, 209-223.

Schutte, P.C. and Kielblock, A.J., 1997; “Heat Stress Protection in Abnormally Hot Environments”, Proceedings of the 6th International Mine Ventilation Congress, 185-189.

Steward, J., 1982; “Fundamentals of Human Heat Stress”, Environmental Engineering in South African Mines, 495-533 pp.

Tuck, M.A., 1997; “Control of Mine Climate”, Mining Technology, August, 215-220.

Wu, H.W. and Gillies, A.D.S., 1997; “The Development of a Personal Response Heat Stress Meter Calibrated to the Physiology of the Range of Employees within the Mine Workplace”, Proceedings of the 6th International Mine Ventilation Congress, 255-261.