

DOĞALTAŞ İŞLEME TESİSİNDE TERMAL KONFOR ANALİZİ

A. Ekrem Arıtan¹, C. Şensöğüt^{2*}, M. Tümer³

ÖZET

Doğaltaş sektörü ülkemizde madenciliğinin lokomotifi durumundadır. Çeşitliliğinden dolayı dünyadan gördüğü alım isteğiyle önemli ihracat rakamlarına ulaşmıştır. Sektör her geçen gün büyümektedir. Bu büyümeyle birlikte doğal olarak iş sağlığı ve güvenliği sorunları da artmaktadır. Bu sorunlar, doğaltaş madenciliğinde, atölye ve fabrika çalışmalarında çalışanların git gide daha fazla maruz kaldıkları sağlık ve güvenlik tehlikelerini ortaya çıkarmaktadır. Özellikle toz, gürültü, titreşim, ortam iklimi vb. konular öne çıkmaktadır. Çalışanların, ortamdaki kaynaklanan tehlikeler sonucu birçok hastalığa yakalanma ihtimalleri çok yüksektir. Bu husus da iş sağlığı ve güvenliği konusuna sadece iş kazaları açısından bakılmaması gerektiğini bizlere açıkça göstermektedir.

Bu çalışmada, bir doğaltaş işleme tesisinde, ortamın sıcaklığı, radyant ısı, nem, hava hızı, giysi ısıl direnci ve metabolik oran dikkate alınarak termal konfor analizi yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Doğaltaş, İş Sağlığı ve Güvenliği, Termal Konfor.

ABSTRACT

Natural stone industry is the locomotive of mining in our country. Due to diversity, it has reached important export figures with the demand to purchase from all over the world. The sector is growing day by day. With this growth, problems of occupational health and safety also naturally increase. These problems reveal the health and safety hazards to the occupants in the natural stone mining, workshop and factory workings as they are exposed more and more. In this sense, dust, noise, vibration, ambient climate etc. issues particularly stand out. Employees are the most likely to experience many illnesses resulting from environmental hazards. This clearly indicates that we should not look at occupational health and safety issues only in terms of work accidents.

In this study, thermal comfort analysis was carried out in a natural stone processing plant

¹Yrd. Doç. Dr., Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 03200, Afyonkarahisar, e-mail: aritan@aku.edu.tr

²Prof. Dr., Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 43270, Kütahya, e-mail: cem.sensogut@dpu.edu.tr ; *Yazışmaların yapılacağı yazar: Cem ŞENSÖĞÜT

³Maden Mühendisi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 03200, Afyonkarahisar, e-mail: mlktumer03@hotmail.com

by considering the ambient temperature, radiant heat, humidity, air velocity, overalls' thermal resistance and metabolic rate.

Keywords: Natural stones, Occupational Health and Safety, Thermal Comfort.

1. GİRİŞ

İnsanın bulunduğu ortamdaki rahatını ifade eden en önemli terimlerden birisi termal konfordur. Rahatının yüksek olduğu ortamda insanın zihinsel ve fiziksel performansı da artmaktadır (Olesen, 1982).

ASHRAE 55 Standardına göre termal çevreden memnun olma durumu, termal konfor olarak adlandırılmaktadır. Diğer bir ifade ile termal konfor, çalışanların psikolojik, fizyolojik, kültürel ve sosyal durumlarını olumsuz etkilemeyecek ve çalışanları rahatsız etmeyecek şekilde olmalıdır. İşletmede çalışılan ortamda kullanılan soğutucu ve ısıtıcılar, çalışanların sağlığını olumsuz etkilemeyecek şekilde tasarlanmalıdır. İşyerinde çalışanların bulunduğu ortamların tamamı termal konfor şartlarına uygun olmalıdır (Yönetmelik, 2013).

Doğaltaş sektörü, ülkemizde maden sektörünün en önemli kollarından birisidir. Sektör ihracat rakamlarına bakıldığında madencilik alanında ilk sırada bulunmaktadır.

İş sağlığı ve güvenliği kültürü, doğaltaş sektöründe hızla gelişmekte ve yıllardır süregelen problemler üzerine araştırmalar ve gerekli önlemler alınmaya çalışılmaktadır. Bu sektörde de diğer sektörlerde olduğu gibi iş güvenliği tedbirlerine sadece iş kazası açısından bakılmaktadır. Fiziksel, kimyasal vb. risklerin değerlendirilmesi konusu tam olarak maalesef incelenmemiştir.

Bu çalışmada, doğaltaş sektöründe hizmet veren bir mermer işleme tesisinde fiziksel risklerden termal konfor konusu araştırılmıştır. Yerinde ölçümler alınarak, Predicted Mean Vote (PMV) endeksleri hesaplanmış ve sonuçlarla ilgili değerlendirilmelerde bulunulmuştur.

2. ISIL KONFOR ŞARTLARI

Termal rahatlık genellikle 'termal çevreyle olan memnuniyeti ifade eden zihin durumu' olarak da tanımlanır ve insanın bir ortamdaki tatminini ifade eden önemli bir kavramdır. Tatminin yüksek olduğu ortamda ise performans yüksektir (ASHRAE, 2009), (Parsons, 2005).

Bir insanın ısı algısı, temel olarak vücudunun termal dengesine bağlıdır. Bu denge, fiziksel aktivite ve kıyafetlerin yanı sıra çevre parametrelerinden etkilenir. Termal konforun temel bileşenleri; çevresel faktörler, dış faktörler ve kişisel faktörler olarak ifade edilebilir. Çevresel faktörler; hava sıcaklığı (T), hava hızı (V), ortalama ışınma sıcaklığı (T_g) ve bağıl nemdir (RH). Dış faktörler; çalışanın beslenme durumu, vücut şekli, yaşı, cinsiyeti ve sağlığı olarak ifade edilebilir. Dış faktörler birbirinden bağımsız olsalar da ısı konforu üzerinde belirgin etkiye sahiptirler. Kişisel faktörler ise, metabolizma düzeyi ve kıyafet ısı direnci olarak ifade edilebilir. Metabolizma düzeyi, insan performansını etkileyen bir tanımdır. Kıyafet ısı direnci

ise, çalışan ile çevre arasındaki ısı transferini etkileyen bir faktördür (ASHRAE, 2009) (Hensen, 1990) (Atılğan ve Ataer, 2009) (TS EN ISO 7730, 2016).

Bu faktörler ölçüldüğünde, tahmin edilen veya ölçülen vücut için bir bütün olarak termal algı tahmini ortalama olarak (PMV) hesaplanmış olur (TS EN ISO 7730, 2016). PMV ısıl duyum ölçeği Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. ASHRAE Isıl duyum ölçeği (Fanger, 1967), (ASHRAE, 2010).

PMV Değeri	Anlamı	Yorumu
+3	Aşırı sıcak	Bunaltıcı, tolere edilemez.
+2	Sıcak	Çok sıcak.
+1	Biraz sıcak	Sıcak, tolere edilebilir.
0	Nötr	Konforlu
-1	Biraz serin	Soğuk, tolere edilebilir.
-2	Serin	Çok soğuk.
-3	Soğuk	Tolere edilemez, soğuk.

Termal rahatsızlık, istenmeyen lokal soğutma veya vücudun ısınması nedeniyle oluşabilir. Memnuniyetsizlik, vücudun bir bütün olarak sıcak veya soğuktan rahatsızlığından kaynaklanabilir (TS EN ISO 7730, 2016).

3. DOĞALTAŞ İŞLEME TESİSLERİNDE TERMAL KONFOR ŞARTLARINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Doğaltaş işleme tesislerinde ısı konfor açısından en büyük sorun, makinelerin çalışma prensiplerinden dolayı, ortamda su varlığının fazla olmasıdır. Özellikle ST, katrak makinelerinin olduğu bölümlerde bu durum daha sıkıntılı bir hal almaktadır.

Ortamda bulunan su, özellikle nem sorunu oluşturmaktadır. Ayrıca yeterince havalandırma yapılamaması yani hava hızının ayarlanamaması da büyük sorun oluşturmaktadır. Çalışma ortamında düşük sıcaklıkların oluşması ve nem oranının artışı ile çalışanlarda üşüme hissi daha da artabilmektedir.

Çalışanların iş kıyafetleri de ısı konfor hislerini etkileyen ana faktörlerdendir. Uygun iş kıyafetinin seçimi çok önemlidir. Termal konfor sadece çalışanın çevre ile etkileşimi değil aynı zamanda vücut ısı dengesi ile de ilgilidir. Burada karşımıza çıkan diğer bir ısı konfor faktörü de çalışanın metabolizma oranıdır.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Materyal

Isıl konfor için ölçüm alınan tesis, Afyonkarahisar İli, İncehisar İlçesi sınırları içerisinde bulunmaktadır. Tesis, doğaltaş levha ve plaka üretimi üzerine çalışmaktadır. Tesiste; katrak,

ST, eskitme bölümü, dar bant cila ve trimming ebatlama hattı bulunmaktadır. Bu bölümlerde; sıcaklık, nem, hava hızı ve ışıma sıcaklığı ölçümleri alınmıştır.

4.2. Yöntem

Termal konfor ölçümleri; sıcaklık, nem, ışıma sıcaklığı ve hava hızı propları ile donatılmış DELTA OHM WBGT 32.3 termal konfor ölçüm cihazıyla, 8 saatlik çalışma süresince yapılmış ve değerlerin ortalamaları alınmıştır. Giysi ısı direnci ve metabolizma oranı çalışma yeri göz önüne alınarak ASHRAE 55 standardına göre kabul edilmiştir (Tablo 2, Tablo 3).

Tablo 2. Çeşitli Giysi Türleri ve Yalıtım Katsayıları (ASHRAE, 2010), (İmancı, 2014).

Kıyafet Yalıtım Katsayısı, I_{cl} (clo*)	Kıyafet Yalıtım Katsayısı, I_{cl} (clo)
Pantolon, kısa kollu gömlek	0,57
Pantolon, uzun kollu gömlek	0,61
Pantolon, uzun kollu gömlek, ceket	0,96
Diz uzunluğunda etek, kısa kollu gömlek	0,54
Ayak bileği uzunluğunda etek, uzun kollu gömlek, ceket	1,10
Etek / Elbise	0,54-1,10
Şort	0,36
Önlük / Tulum	0,72-1,37
Spor Kıyafetleri	0,74

*1 clo = 0.155 m²K/W

Tablo 3. Metabolik hızın kategoriye göre sınıflandırılması (TS EN ISO 8996, 2006).

Sınıf	Ortalama Metabolizma Hızı (Parantez içinde aralık ile)		Örnekler
	W·m ⁻²	W	
0 (Dinlenme)	100 (70-130)	115 (100-125)	Dinlenme, rahatça oturma.
1 (Düşük metabolik oran)	165 (130-200)	180 (125-235)	Elle çalışma (yazma, yazma, çizim, dikiş, kitap tutma); El ve kol işi (küçük tezgâh araçları, muayene, montaj veya sıralama Hafif malzemelerden); Kol ve bacak çalışmaları (normal koşullarda sürüş, pedal). Delik (küçük parçalar); Rahat yürüyüş (2,5 km/h'ye kadar hız).
2 (Orta metabolik oran)	165 (130-200)	295 (235-360)	Sürekli el ve kol işi (çivi çakma, dosyalama); Kol ve bacak işi (kamyon, traktör veya inşaat ekipmanının arazi işletmesi); Kol ve gövde çalışması (pnömatik çekiçle çalışmak, traktör montajı, 2,5 km/h ile 5,5 km/h arasındaki bir hızda yürümek, Demir dövme.
3 (Yüksek metabolik oran)	230 (200-260)	415 (360-465)	Yoğun kol ve gövde işi; Ağır malzeme taşıma; Kürek, balyoz çalışması; testereyle kesme; sert ahşabı planyalamak veya kesmek; biçmek; kazma; 5,5 km/h ila 7 km/h arasındaki bir hızda yürümek. Ağır yüklü el arabaları veya el arabalarını itmek veya çekmek; yontma.
4 (Çok yüksek metabolik oran)	290 (>260)	520 (>465)	Maksimum hıza hızlı, çok yoğun faaliyet; Balta ile çalışmak; Yoğun kürek veya kazma; Koşu; Daha yüksek bir hızda yürümek 7 km/h.

1 met = 58,2 W/m²

İşletmeden alınan ölçümler, TS EN 27243, TS EN ISO 7730, ISO 8996 standartları, ASSHRAE 55'den alınan veriler ve Fanger modeline göre değerlendirme yapılmıştır. Bu

modelde, PMV Eşitlik 1’de tanımlanmıştır (ASHRAE, 2010), (Fanger, 1972), (TS EN ISO 7730, 2016), (TS EN ISO 8996, 2006), (TS EN 27243, 2002).

$$\left[\begin{aligned} & \text{PMV} = [0,303 \times \exp(-0,036 \times M) + 0,028] \times (M-W) - 3,05 \times 10^{-3} \times [5,733 - 6,99 \times (M-W) - p_a] \\ & - 0,42 \times [(M-W) - 58,15] - 1,7 \times 10^{-5} \times M \times (5,867 - p_a) - 0,0014 \times M (34 - t_a) - 3,96 \times 10^{-8} \times f_{cl} \times \\ & [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - f_{cl} \times h_c \times (t_{cl} - t_a) \dots \dots \dots \text{Eşitlik 1} \end{aligned} \right]$$

Burada, M = metabolik hız (kcal / saat)

ADu = DuBois (vücut yüzey) alanı (m²)

η = mekanik verimlilik

Pa = ortam havasındaki buhar basıncı (mmHg)

ta = iç ortam hava sıcaklığı (°C)

fcl = giyinmiş gövdenin yüzey alanının, çıplak vücudun yüzey alanına oranı

tcl = giyinmiş vücudun dış yüzeyinin ortalama sıcaklığı (°C)

tmrt = ortalama ışın sıcaklığı (°C)

hc = konvektif ısı transfer katsayısı (kcal / saat m² °C).

PMV değerinin yorumlanması Tablo 1’de verilmiştir. Bu sonuçlara göre; ortamın termal konforunun uygun ya da uygun olmadığından bahsedilebilmektedir (TS EN ISO 7730, 2016).

Fanger metodu, aşağıdaki şekilde uygulanmıştır.

1. Sıcaklık, nem, hava hızı ve ısıma sıcaklığı ölçümleri alınmıştır.
2. TS EN ISO 8996 (2006) standardından metabolizma hızı seçilmiştir. Mekanik verim değerleri, giysi yüzey sıcaklığı ve hc değeri Fanger’in (1972) verdiği tablodan seçilmiştir.
3. Ortam havasındaki buhar basıncı (p_a); Parsons’un (2005) formülünden hesaplanmıştır (p_a, doymuş buhar basıncının bağıl nemle çarpılması ile bulunmaktadır).
4. Giysi ısı direnci, ASHRAE 55’de bulunan tablolardan seçilmiştir. Bu değer birimi clo’dur.

Değerler Eşitlik 1’de verilen formülde yerine konularak PMV değeri elde edilmiştir.

İşletmenin termal konfor şartlarının değerlendirilmesinde, Berkeley Üniversitesi Yapısal Çevre Merkezi tarafından ASHRAE 55 standardı temel alınarak oluşturulan internet ara yüzü termal konfor programı kullanılmıştır (Berkeley, 2017).

5. BULGULAR

İşletmede, yerinde alınan ölçümler sonucunda da hava hızı, çalışma sıcaklığı, ısıma sıcaklığı ve nem değerleri elde edilmiştir. ANSI-ASHRAE 55-2010 standardına göre çalışma yeri göz önüne alınarak; giysi ısı direnci 0,96 (clo) ve metabolik oran 2 (W/m²) kabul edilmiştir (Tablo 4).

Tablo 4. Termal konfor ölçüm ve kabul değerleri.

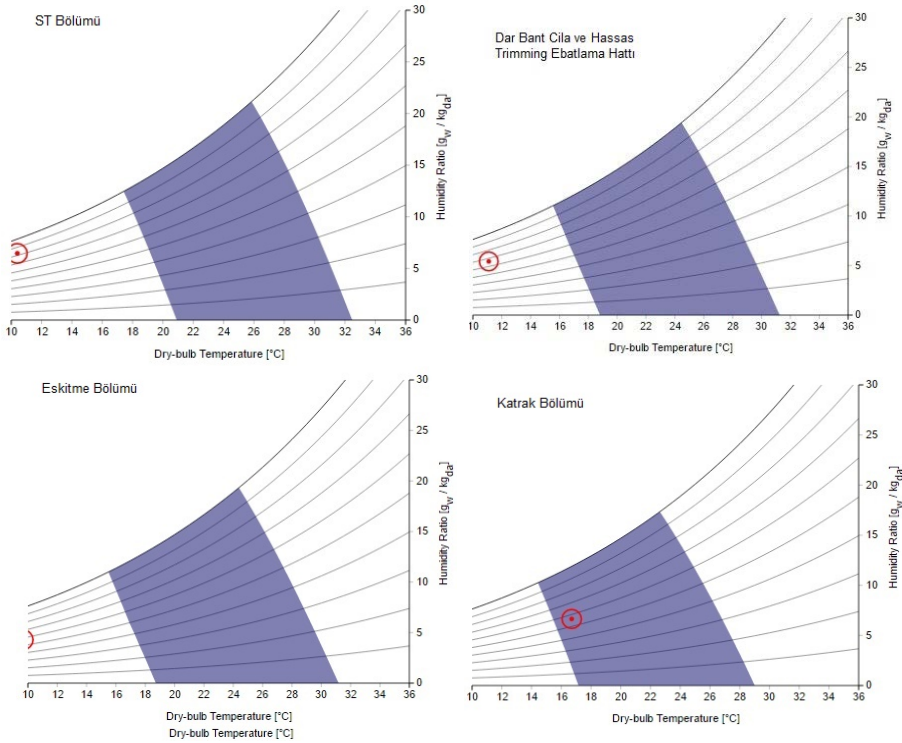
Konum	Çalışma Sıcaklığı (°C)	Işıma Sıcaklığı (°C)	Hava Hızı (m/sn)	Nem (%)
Katrak Bölümü	16,7	16,9	0,55	56,3
ST Bölümü	10,4	8,7	0,76	82,5
Eskitme Bölümü	9,7	11,5	0,48	57,6
Dar Bant Cila ve Trimming Ebatlama Hattı	11,1	11,3	0,48	66,2

Bu bölgelerin hesaplanan PMV değerlerine ait çizelge aşağıda Tablo 5’da verilmiştir.

Tablo 5. PMV değerleri.

Bölge	PMV
Katrak Bölümü	-0,37
ST Bölümü	-1,40
Eskitme Bölümü	-1,25
Dar Bant Cila ve Trimming Ebatlama Hattı	-1,09

Tablo 4’de verilen değerlere göre 4 bölgeye ait termal konfor şartları Eşitlik 1’e göre hesaplanmış ve Şekil 1’de grafikleri verilmiştir.



Şekil 1. Termal konfor grafikleri

Bu sonuçlara göre; katrik bölümü konforlu bölge içerisine girmektedir. ST, Eskitme ve dar bant cila ve trimming ebatlama bölümlerinde çalışanlar ise tolere edilebilir serin ortamda çalışmaktadırlar.

PMV, ölçüm yapılan 4 bölgede de eksi değer olarak ortamın serin olduğunu göstermiştir. Katrak bölümünde; çalışma sıcaklığı, ışıma sıcaklığı, hava hızı ve nem değerlerinde çok fazla uygunsuz değer bulunmadığı ve bunun sonucu olarak PMV değerinin diğer 3 bölgeye göre daha fazla sifira yakın olduğu (-0,37) görülmüştür. Bu da diğer 3 bölgeden daha fazla termal konfor şartları için uygun olduğunu göstermektedir. Şekil 1’de görüldüğü üzere termal konfor bölgesi içinde kalınmasına olanak sağlamıştır.

6. SONUÇLAR

Sıfır değerinin “nötr” (konforlu bölge olması), -1 değerinin tolere edilebilir serin değerler olması düşünüldüğünde genel olarak işletmede büyük bir termal konfor problemi görülmemesi ile birlikte maruziyetin devamlı olması nedeniyle çalışanlarda ilerleyen yıllarda romatizma vb. hastalıkların görülme ihtimali oluşmaktadır.

Özellikle sıcaklık, nem, hava hızı gibi bir değerde oluşabilecek negatif bir değişimle, -1 değerinden uzaklaşan, -2 çok serin seviyesine yaklaşılan ST bölümünde daha dikkatli olunması gerekmektedir. Bu bölümden başlanarak, işletme içerisinde bulunmayan ısıtma sisteminin tüm bölgelere uygulanacak şekilde tatbikine başlanması gerekmektedir.

Mart ayında alınan ölçümlerde dış ortam ısısının eksi olmaması düşünüldüğünde kış aylarında ısıtmanın önemini daha çok ortaya çıkacaktır.

Isıtma sistemi önlemiyle birlikte, çalışanların giymiş oldukları iş elbiselerinin clo değerleri tekrar gözden geçirilmeli, her bir çalışma bölümü için mevsimsel ısı konfor ölçümleri yapılarak, uygun iş elbiseleri temin edilmelidir.

7. KAYNAKLAR

[1] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), 2009, Handbook—Fundamentals Chapter 9, 7-8.

[2] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), ANSI/AHSRAE Standard 55-2010, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, ASHRAE Publications.

[3] Atılgan, I. ve Ataer, E., 2009, Application of Thermal Comfort Analysis, IX. HVAC and Sanitary Engineering National Congress, İstanbul, Türkiye, 06-09 May, 571-581.

[4] Berkeley University. Thermal Comfort Tool, Center for the Built Environment, www.smap.cbe.berkeley.edu/comforttool, ziyaret tarihi: 14 Mart 2017.

[5] Fanger, P. O., 1967, "Calculation of Thermal Comfort: Introduction of a Basic Comfort Equation", ASHRAE Transactions, 73 (2), 1-20.

[6] (Fanger, 1972) Fanger, P. O., 1972, Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering, McGraw-Hill, New York.

[7] Hensen, J.L.M., 1990, Literature Review on Thermal Comfort in Transient Conditions, Building and Environment, 25(4), 309-316.

[8] İmancı, C., 2014, Döküm Atölyelerinde Termal Konfor Şartlarının İncelenmesi, İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara.

[9] İşyeri Bina ve Eklentilerinde Alınacak Sağlık ve Güvenlik Önlemlerine İlişkin Yönetmelik, 2013, 28710 Sayılı Resmi Gazete, Ankara.

[10] Olesen, B.W., 1982, Thermal Comfort, Technical Review to Advance Techniques in Acoustical Electrical and Mechanical Measurement, 2, 3-37.

[11] Parsons, K. C., 2005, Human Thermal Environments, Taylor & Francis, New York, s. 196-197.

[12] TS EN ISO 7730, 2016, Orta Dereceli Termal Ortamlar- PMV ve PPD İndislerinin Tayini Termal Rahatlık İçin Şartların Belirlenmesi.

[13] TS EN ISO 8996, 2006, Termal Çevre Ergonomisi-Metabolik Hızın Tayini, Ankara.

[14] TS EN 27243, 2002, Sıcak Ortamlar - WBGT (Yaş - Hazne Küre Sıcaklığı) İndeksine Göre Isının Çalışan Üzerindeki Baskısının Tahmini, Ankara.