

İŞLETMELERDE FARKLI METABOLİK AKTİVİTE DÜZEYLERİNDE ÇALIŞANLAR İÇİN ISIL KONFOR BÖLGELERİNİN TESPİTİ

İbrahim Atmaca*

Yrd. Doç. Dr.,
Akdeniz Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
Makina Mühendisliği Bölümü, Antalya
atmaca@akdeniz.edu.tr

Sezgi Koçak

Arş. Gör., Akdeniz Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
Makina Mühendisliği Bölümü, Antalya
sezgikocak@akdeniz.edu.tr

ÖZET

Üretim yapan işletmelerde verimlilik, iş güvenliği ve insan sağlığı açısından önemli olan faktörlerden birisi de ısı ortam şartlarıdır. Bu çalışmada sürekli rejim enerji dengesi modeli kullanılarak oluşturulan simülasyon ile farklı metabolik aktivite seviyeleri için gerekli ısı konfor aralığı tahmin edilerek, kolay okunabilir grafikler üzerine işlenmiştir.

Makale çeşitli makine – atölye çalışmaları dikkate alınmıştır. Hafif, orta ve ağır iş durumu için sırasıyla 1.8 met, 2.2 met ve 4.0 met aktivite düzeyleri için ısı konfor aralıkları tespit edilmiştir. Artan metabolik aktivite seviyesi ile optimum operatif sıcaklık değerinin düştüğü, yüksek metabolik aktivite seviyelerinde yüksek ısı ortam hava hızlarına ihtiyaç duyulduğu sonuçlarına varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Isıl konfor, aktivite düzeyi, iş güvenliği, simülasyon

Determination of Thermal Comfort Zone for Employees Working on Different Metabolic Activity Levels in the Plants

ABSTRACT

From the point of productivity, work safety and human health, thermal ambient conditions are one of the most important factors of manufacturing plants. In this study, steady-state energy balance model is used in the simulation in order to estimate required thermal comfort range for different metabolic activity levels. The results are shown in easily readable graphics.

Various machine-workshop operations are considered. Thermal comfort ranges are determined for light, medium and heavy working conditions that have 1.8 met, 2.2 met ve 4.0 met activity levels, respectively. It is concluded that the optimum operative temperature is decreased while metabolic activity levels are increased. In addition, the results showed that at high metabolic activity levels, high thermal ambient air velocities are required.

Keywords: Thermal comfort, activity level, work safety, simulation

* İletişim yazarı

Geliş tarihi : 11.01.2013

Kabul tarihi : 08.02.2013

Atmaca, İ., Koçak, S. 2013. "İşletmelerde Farklı Metabolik Aktivite Düzeylerinde Çalışanlar İçin Isıl Konfor Bölgelerinin Tespiti," Mühendis ve Makina, cilt 54, sayı 638, s. 26-32.

1. GİRİŞ

İş güvenliği ve insan sağlığı açısından önemli olan fiziksel faktörlerden bazıları gürültü, titreşim, aşırı sıcak ve soğuk (ısı ortam), radyasyon ve elektromanyetik dalgalar şeklinde sıralanabilir. Çalışanlar kendilerini rahat hissedebildikleri iş koşullarında verimli çalışabilirler ve her türlü ortam streslerinden etkilendiklerinde bu verimli çalışma aksamaya başlar. Bu nedenle, insanların rahat çalışabildikleri ısı ortam koşullarını iyi tanımlamak ve çeşitli stres hallerinde de tolerans sınırlarını bilmek oldukça önemlidir.

Ortamın, rahat çalışılabilecek sıcaklığın üstünde olmasıyla iş güvenliği ve iş sağlığı açısından;

- Bıkkınlık,
- Sinirlilik,
- Dikkatsizlik,
- Hataların yoğunlaşması,
- Zihinsel çalışmalarda verim düşüklüğü,
- Yetenek ve becerilerin azalması,
- İş kazalarının fazlaşması,
- Ağır bedensel işlerde verim düşüklüğü,
- Vücutta su ve asit-tuz dengesinin bozulması,
- Kan dolaşımının zorlaşması,
- Yorgunluk

gibi olumsuzluklar ortaya çıkabilmektedir. Özellikle çok dikkat isteyen işlerde, iş fazla yorucu olmasa bile belli bir sıcaklığa kadar kaza sayısı sabit olmakta, bu sıcaklığın üzerinde ise kaza sayıları artabilmektedir [1].

İş güvenliği ve işçi sağlığı açısından önem arz eden parametrelere biri olan ısı ortamın, ortamı kullananlar tarafından hissedilen hali olan ısı konfor "ısı çevreden memnun olunan düşünce hali" olarak tanımlanmaktadır. İnsan vücudunun ısı dengesini ve ısı konforu etkileyen parametreler, çevresel ve kişisel parametreler olmak üzere iki grup altında toplanabilmektedir. Çevresel parametreler; ortam sıcaklığı, bağıl nemi, ortamdaki hava hızı ve ortamdaki sıcak yüzeylerden kaynaklanan ortalama ışınım sıcaklığıdır. Kişisel parametreler ise giyinme durumu ve metabolik aktivite düzeyidir [2,3,4,5]. Ergonomi "insanların anatomik özelliklerini, antropometrik karakteristiklerini, fizyolojik kapasite ve toleranslarını göz önünde tutarak, endüstriyel iş ortamındaki tüm faktörlerin etkisiyle oluşabilecek, organik ve psikososyal stresler karşısında, sistem verimliliği ve insan – makine – çevre temel yasalarını ortaya koymaya çalışan, çok disiplinli bir araştırma ve geliştirme alanı" olarak tanımlanmaktadır [6]. Konfor bir düşünce hali olduğu için ve çalışılan ortamın ısı koşulları insan verimliliğini etkilediği için ısı konfor ergonomisinin bir konusu olarak da ele alınabilir ve incelenebilir. Çünkü konfor-

lu olmayan bir ortamda çalışan insan üzerindeki pozitif veya negatif yöndeki ısı yük, dikkatin dağılmasına ve neticesinde performansın düşmesine ve iş kazalarına sebep olabilmektedir.

Kişinin aktivitesine göre metabolizmanın ürettiği enerji de değişmektedir. Metabolik enerji üretimini ifade eden birim "met" olup, dinlenme halindeki bir insanın metabolik hızı olarak tanımlanmıştır (1 met=58.2 W/m²). Ortalama yetişkin bir insanın ısı transfer yüzey alanı (Dubois yüzey alanı) yaklaşık 1.8 m² dir ve yaklaşık 106 W enerji üretir. Ortamın konforlu hissedilmesi için bu, 106 W çevreye ısı kaybı olarak atılmaktadır. Vücut, yaşamsal organların fonksiyonlarının zarar görmemesi için, çevresel şartlar ne olursa olsun vücut iç bölme sıcaklığını 36.9 °C'de tutmak için kompleks fizyolojik denetim mekanizmalarına sahiptir. Eğer vücut bulunduğu çevreyle ne kadar kolay bir şekilde enerji dengesini kurabiliyorsa, yani fizyolojik denetim mekanizmaları ne kadar az devreye giriyorsa, bulunduğu ortamı o denli konforlu hisseder [2,5,7].

Isıl konfor için kabul edilebilir aralıklar ASHRAE Standart 55 [8] ve ISO 7730 [9] gibi uluslararası standartlarda verilmektedir. ASHRAE Standart 55' in başlığı olan "Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy" dilimize "Yaşam alanları için ısı çevresel şartlar" olarak çevrilebilir. Bu standartta metabolik aktivite düzeyinin 1.0 ile 1.3 met arasında olması halleri için yaz ve kış koşullarında kabul edilebilecek iç ortam şartları bir grafikte açıkça verilmektedir. Bu grafik Şekil 1'de sunulmuştur. Bu grafikte önerilen operatif sıcaklık aralıkları %80 kişi için kabul edilebilir aralıklardır. Grafikteki konfor aralıkları hava hızının 0.2 m/s'yi geçmemesi kaydıyla geçerlidir. Grafikte iki bölge görülmektedir. 0.5 clo klasik yazlık giyim, 1 clo ise klasik kışlık giyim için yaklaşık değerlerdir. Bir diğer standart ISO 7730' un başlığı olan "Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PMV indices and specification of the conditions for thermal comfort" ise dilimize "ortalama ısı şartlar – PMV ve PPD indislerinin belirlenmesi ve ısı konfor için şartların saptanması" olarak çevrilebilir. ISO 7730 da iki amaç hedeflenmiştir.

- Ortalama (aşırı uç noktalara kaçmayan) ısı çevrelere maruz insanlar için, ısı his (PMV) ve ısı memnuniyetsizliğinin (PPD) derecesinin tahmini için bir metod sunmak.
- Konfor için kabul edilebilir ısı çevre şartlarını belirlemek.

ISO 7730 da ısı konfor için gerekli ortam şartları hafif ve çoğunlukla oturularak yapılan aktiviteler (M=70 W/m²=1.2 met) için ısıtma ve soğutma periyotları durumunda ayrı ayrı önerilmektedir. Bu önerilerde yaz periyodu için giysi yalıtımı 0.5 clo, kış periyodu için giysi yalıtımı 1 clo kabul edilmiştir.

Yaz şartları yani soğutma periyodu için;

- Operatif sıcaklık 24.5 °C ± 1.5 °C,
- Bağıl nem %30 ile %70 aralığında,

- Zeminden 0.1 m ve 1.1 m yükseklikler arasındaki düşey hava sıcaklığı farkının 3 °C den az olması

önerilmektedir. Önerilen hava hızları ise hava sıcaklığı ve türbülans yoğunluğuna bağlı olarak grafik hâlde sunulmaktadır. Önerilen hava sıcaklığı aralığında ortalama hava hızı, %10 ile %20 türbülans yoğunluğu arasında yaklaşık 0.2 m/s civarında kalmaktadır.

Kış şartları yani ısıtma periyodu için;

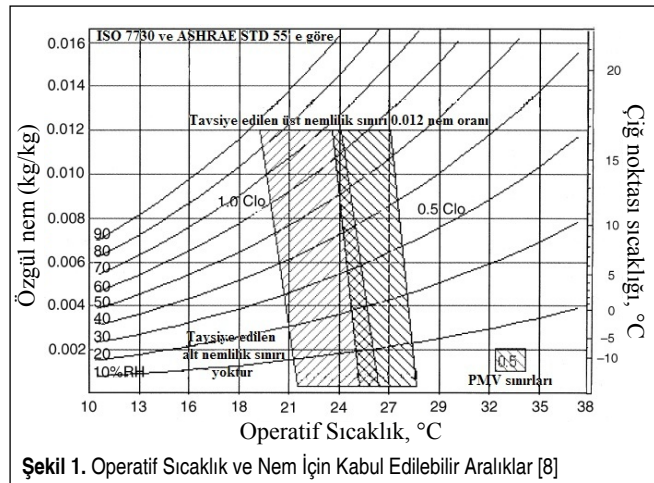
- Operatif sıcaklık 22 °C ± 2 °C,
- Bağıl nem %30 ile %70 aralığında,
- Zeminden 0.1 m ve 1.1 m yükseklikler arasındaki düşey hava sıcaklığı farkının 3 °C den az olması,
- Zemindeki yüzey sıcaklığının 19 °C ile 26 °C arasında kalması (fakat yerden ısıtma sistemlerinin 29 °C için dizayn edilebileceği),
- Pencereler veya diğer soğuk yüzeylerden dolayı ışınlım sıcaklığı asimetrisinin 10 °C den az olması,
- Tavandan ısıtmadan dolayı ışınlım sıcaklığı asimetrisinin 5°C den az olması

önerilmektedir. Önerilen hava hızları ise yine hava sıcaklığı ve türbülans yoğunluğuna bağlı olarak grafik hâlde sunulmaktadır. Önerilen hava sıcaklığı aralığında ortalama hava hızı yine, %10 ile %20 türbülans yoğunluğu arasında yaklaşık 0.2 m/s civarında kalmaktadır.

Bu standartta, çeşitli metabolik aktivite düzeyleri ve giysi yalıtım değerleri için %50 bağıl nem durumunda, farklı hava hızı değerlerinde PMV indisinin alacağı değerler de tablolar halinde sunulmaktadır. Bahsedilen PMV değeri tabloları, standart da şu aralıklar için mevcuttur:

- 0 clo ≤ Icl ≤ 2 clo
- 58 W/m² = 1 met ≤ M ≤ 232 W/m² = 4 met
- 0.1 m/s ≤ v ≤ 1 m/s

Gerek ASHRAE Standart 55'te verilen ve Şekil 1'de sunu-



Şekil 1. Operatif Sıcaklık ve Nem İçin Kabul Edilebilir Aralıklar [8]

lan grafikte, gerekse ISO 7730'da 1.2 met metabolik aktivite (hafif ve çoğunlukla oturularak yapılan aktiviteler) durumu için optimum konfor şartları sunulmuştur. ISO 7730'da çeşitli metabolik aktivite düzeylerine göre konfor ölçütleri tablo halinde verilse de burada da nemin etkisi mevcut değildir. İşletmelere ve işletmelerde imalatı yapılan ürüne göre talep edilen iç ortam bağıl nem değerleri de değişim göstermektedir. İşletmelerde üretime bağlı olarak talep edilen iç ortam bağıl nem değerleri Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. İşletmelerde Üretime Bağlı Olarak Talep Edilen İç Ortam Bağıl Nem Değerleri [10,11]

İşletme	Talep Edilen Bağıl Nem
Mobilya fabrikası	%40-50 üretim %50-55 depolama
Ahşap işleme fabrikası	%50-60
Tekstil fabrikası	%45-90 (uygulamaya göre) %75-85 (pamuklu dokuma) %70 (sentetik lif – suni elyaf)
Ayakkabı üretim fabrikası (deri ürünler)	%65-75 deri işleme %55-65 üretim ve saklama
Kereste işleme fabrikası	%45-60
Kâğıt işleme fabrikası	%50-65
Çay üretim tesisi	%60-65
Streç film üretimi	%50
Tütün mamulleri üretimi	%70-80
Sosis üretimi	%80-90

Bu çalışmada, çeşitli işletmelerde işin ağırlığına bağlı olarak değişen metabolik aktivite seviyelerinde çalışan insanların kendilerini ısı olarak memnun hissedebilecekleri şartlar, yaz koşulları için incelenmiştir. Makine işinde atölye ortamında çeşitli faaliyetler için metabolik aktivite seviyeleri Tablo 2'de verilmiştir. Farklı metabolik aktivite düzeyinde atölye ortamında çalışanlar için konfor aralıkları Şekil 1'de sunulduğu gibi grafik haline getirilmiştir. Böylelikle aktivite seviyesine ve iç ortam bağıl nemine göre talep edilebilecek iç ortam operatif sıcaklık değerleri, kolaylıkla tespit edilebilir hâle getirilmiştir. Özellikle orta ve ağır iş ortamında yüksek aktivite düzeyinde çalışanlar için iç ortam hava hızının etkisinin de görülebilmesi için farklı iç ortam hava hızlarında elde edilen

Tablo 2. Makine-Atölye İşleri İçin Metabolik Aktivite Seviyeleri [8]

Aktivite	Metabolik Enerji Üretimi
Makine – Atölye İşleri	
Testere vb. kullanma	1.8 met = 105 W/m ²
Elektrik işleri	2.0 – 2.4 met = 115 – 140 W/m ²
Ağır iş	4.0 met = 235 W/m ²

sonuçlar grafik üzerinde işlenmiştir. Grafikler oluşturulurken detayları bir sonraki bölümde sunulan ve Fanger metodu olarak da bilinen sürekli rejim enerji dengesi metodu ile oluşturulan bilgisayar simülasyonundan yararlanılmıştır.

2. SÜREKLİ REJİM ENERJİ DENGESİ MODELİ

İnsan vücudu, kullandığı besin ve teneffüs edilen oksijen ile düşük sıcaklıklı ısı yayan ve mekanik iş üreten termodinamik bir sistem gibi ele alınabilir. Sürekli rejim enerji dengesi modeli (Fanger Modeli) vücudun ısı dengede olduğunu ve enerji depolamasının ihmal edilebileceğini kabul eden bir modeldir. Bu kabule göre Termodinamiğin I. Kanunu yazılırsa;

$$M - W = Q_{duy} + Q_{gizli} + Q_{sol} = (C + R) + E_{deri} + (C_{sol} + E_{sol}) \quad (1)$$

şeklinde ifade edilebilir. Yapılan mekanik iş (W) üretilen metabolik enerjinin %10' u kadar alınabilmektedir [7]. Vücuttan olan duyulur ısı kaybı, deri sıcaklığı ve operatif sıcaklık ile giysi ısı direnci ve bileşik ısı geçiş katsayısına bağlı olarak;

$$t_o = (h_r \cdot t_r + h_c \cdot t_a) / (h_r + h_c) \quad (2)$$

$$h = h_c + h_r \quad (3)$$

$$Q_{duy} = C + R = (t_{deri} - t_o) / [R_{cl} + (1 / f_{cl} \cdot h)] \quad (4)$$

şeklinde bulunabilir. Operatif sıcaklık hem hava sıcaklığını hem de ortalama ışınlım sıcaklığını beraber temsil eden bir sıcaklıktır ve denklem (2) de verildiği gibi ortalama ışınlım sıcaklığı ile ortam sıcaklığının taşınım ve ışınlım ile ısı geçiş katsayısına bağlı olarak ağırlıklı ortalaması şeklinde hesaplanır. Bu ifadelerde ışınlımla ısı geçiş katsayısı iç ortam sıcaklıklarında hemen hemen sabittir ve değeri 4.7 W/m²K olarak alınabilmektedir [2]. Isı taşınım katsayısı h_c ;

$$Eğer \ 2.38(t_{cl} - t_a)^{0.25} > 12.1\sqrt{V} \quad ise; \quad h_c = 2.38(t_{cl} - t_a)^{0.25} \quad (5)$$

$$Eğer \ 2.38(t_{cl} - t_a)^{0.25} < 12.1\sqrt{V} \quad ise; \quad h_c = 12.1\sqrt{V} \quad (6)$$

bağıntılarıyla tespit edilebilmektedir. Giysi alan faktörü ise;

$$f_{cl} = \begin{cases} 1 + 0.2I_{cl} & I_{cl} < 0.5clo \\ 1.05 + 0.1I_{cl} & I_{cl} > 0.5clo \end{cases} \quad (7)$$

şeklinde tespit edilebilmektedir. Giysi yüzeyi sıcaklığı da;

$$t_{cl} = 35.7 - 0.0275(M - W) - R_{cl} \begin{bmatrix} (M - W) \\ -3.05[5.73 - 0.007(M - W) - p_a] \\ -0.42[(M - W) - 58.15] \\ -0.0173M(5.87 - p_a) \\ -0.0014M(34 - t_a) \end{bmatrix} \quad (8)$$

bağıntısıyla elde edilebilmektedir [2,4,7].

Isıl olarak konforun sağlanması için gerekli deri sıcaklığı ve gerekli olan terleme nedeniyle gerçekleşen buharlaşma ısı kaybı şu şekilde ifade edilmektedir;

$$t_{deri,g} = 35.7 - 0.0275(M - W) \quad (9)$$

$$E_{rsw,g} = 0.42(M - W - 58.15) \quad (10)$$

Deriden buharlaşmayla olan gizli ısı kaybı ise deri yüzeyi ile çevre ortam arasındaki su buharı basıncı farkına, giysi tabakasının buharlaşma ile ısı geçiş direncine, buharlaşma ile ısı geçiş katsayısı ve deri ıslaklığına bağlı olarak şu şekilde ifade edilebilir;

$$Q_{gizli} = E_{deri} = \frac{w(p_{deri,s} - p_a)}{R_{e,cl} + 1 / (f_{cl} \cdot h_e)} \quad (11)$$

Bu ifadede deri ıslaklığı;

$$w = 0.06 + 0.94 \frac{E_{rsw,g}}{E_{max}} \quad (12)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Bu ifadedeki maksimum buharlaşma ile ısı geçişi, derinin tamamen ıslak olması yani $w = 1$ için denklem (11) den bulunan değere eşittir. Giysi tabakasının buharlaşma ile ısı geçişine direnci ve buharlaşma ile ısı geçiş katsayısı ise sırasıyla;

$$R_{e,cl} = R_{cl} / i_{cl} \cdot LR \quad (13)$$

$$h_e = h_c \cdot LR \quad (14)$$

ifadeleriyle tanımlanmaktadır. Bu ifadelerde Lewis Oranı (LR) iç ortam koşulları için yaklaşık 16.5 °C/kPa, giysilerin buhar geçirgenlik verimi i_{cl} ise iç ortamda kullanılan giysiler için 0.34 olarak alınabilmektedir [2].

Solunum vasıtasıyla da vücuda giren havaya taşınım ve buharlaşma yoluyla duyulur ve gizli ısı transferi olur. Solunumla olan ısı kaybı oldukça önemlidir, çünkü çevre koşullarında teneffüs edilen hava hemen hemen vücut kor sıcaklığında ve doymuş olarak dışarıya atılır. Solunumla meydana gelen duyulur ve gizli ısı transferi miktarı;

$$C_{sol} + E_{sol} = [0.0014M(34 - t_a) + 0.0173M(5.87 - p_a)] / A_D \quad (15)$$

ifadesiyle bulunabilir [2].

Isıl konforun tayininde, bahsedilen 4 çevresel parametre ile 2 kişisel parametrenin etkisini göz önüne alarak tek bir değer ile değerlendirme yapabilmemizi sağlayan ortalama tahmini oy (PMV) indeksi kullanılmıştır. PMV geniş bir insan grubunun ısı ortama verdiği tepkiyi ortalama olarak tahmin edebilen 7 noktalı ölçeğe dayalı bir ısı duyumu indisidir. Bu noktalar şu şekilde ifade edilir;

PMV=+3 sıcak
 PMV=+2 ılık
 PMV=+1 ılıkça
 PMV=0 nötr
 PMV=-1 serince
 PMV=-2 serin
 PMV=-3 soğuk

$$PMV = [0.303 \exp(-0.036M) + 0.028]L \quad (16)$$

Bu ifadede L değeri insan vücudu üzerindeki ısı yükü göstermektedir ve sürekli rejim enerji dengesi (denklem 1) yardımıyla;

$$L = M - W - (Q_{diy} + Q_{gizli} + Q_{sol}) = M - W - \left(\frac{C_{deri} + R_{deri} + E_{deri}}{+C_{sol} + E_{sol}} \right) \quad (17)$$

şeklinde tayin edilebilmektedir [2,4,7,12].

3. SİMÜLYASYON

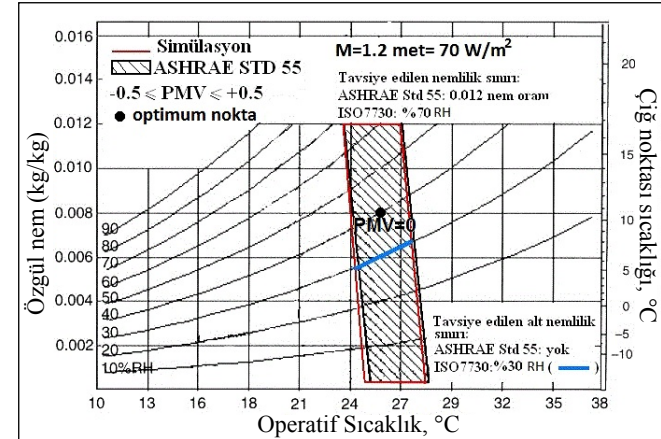
Çeşitli metabolik aktivite düzeylerinde, farklı ortam bağıl nem değerleri için ısı ortam hava hızlarına bağlı olarak PMV değerlerinin tespiti için, bir önceki bölümde detayları verilen sürekli rejim enerji dengesi modeli kullanılarak Compaq Visual Fortran 6 programıyla hazırlanan yazılım ile simülasyon oluşturulmuştur. Simülasyon çeşitli giriş ve çıkış verilerinden oluşmaktadır. Giriş verilerini çevresel ve kişisel parametreler oluşturmaktadır. Çıkış verisi ise sürekli rejim enerji dengesi modeliyle tespit edilen tahmini ortalama oy indeksi (PMV) değeridir. İnceleme sadece yaz koşulları için yapıldığından giysi yalıtım değeri de 0.5 clo olarak alınmıştır.

4. KONFOR BÖLGELERİNİN TESPİTİ

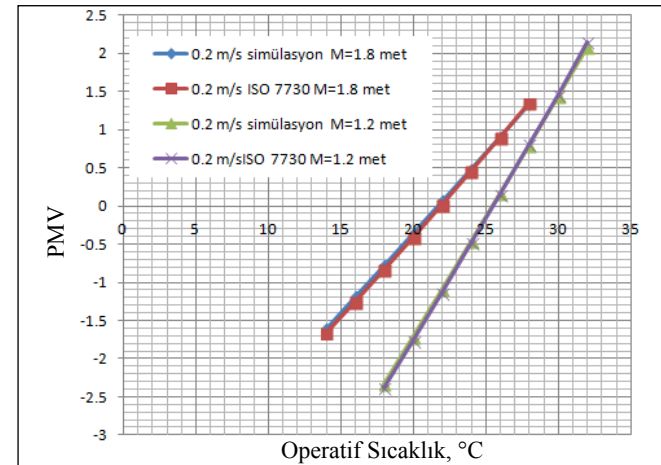
Çalışmada, 1.8 met seviyesinde hafif, 2.2 met mertebesinde orta ve 4.0 met mertebesinde ağır makine – atölye işlerinde çalışanlar için önceki bölümlerde detayları verilen model ve simülasyonla konfor bölgelerinin tespiti amaçlanmıştır. Konfor bölgeleri oluşturulurken ± 0.5 PMV değeri aralığı dikkate alınmıştır. Bu aşamaya geçmeden önce simülasyondan elde edilen verilerin güvenilirliğinin tespiti için hafif ve çoğunlukla oturularak yapılan işler için verilen metabolik aktivite seviyesi olan 1.2 met için ASHRAE standart 55'te verilen konfor aralığı simülasyondan elde edilen konfor aralığıyla Şekil 2'de karşılaştırılmıştır. Şekilden de görüleceği üzere simülasyon sonuçları ile standartta verilen aralık hemen hemen aynıdır. Modelden elde edilen sonuçların doğruluğunun tespiti için ISO 7730'dan alınan verilerle de karşılaştırmalar yapılmış ve Şekil 3'te sunulmuştur. Şekil 3'ten de görüleceği üzere, gerek 1.2 met aktivite düzeyi için gerekse 1.8 met aktivite düzeyi için simülasyon sonuçları ile ISO 7730'dan alınan veriler oldukça yakındır. 0.2 m/s ısı ortam hava hızı için 1.2 met metabolik aktivite düzeyinde optimum operatif sıcaklık yaklaşık

25.5 °C iken, aktivite düzeyinin 1.8 met'e yükselmesiyle bu değer yaklaşık 22 °C'ye düşmüştür.

Ancak Şekil 3'te testere vb. kullanımı gibi hafif atölye işi için verilen 1.8 met aktivite düzeyine ait veriler sadece %50 bağıl nem durumu için geçerlidir. Çeşitli ısı ortam bağıl nem değerlerine bağlı olarak 1.8 met metabolik aktivite düzeyinde konfor aralığı simülasyonla oluşturulmuş ve Şekil 4'te sunulmuştur. Bu grafik hazırlanırken ısı ortam hava hızı, standartlara önerilen optimum değer olan 0.2 m/s olarak alınmıştır. Şekil 4'ten de görüleceği üzere üst nemlilik sınırı için hem ASHRAE standart 55 tarafından verilen maksimum 0.012 nem oranı değeri hem de ISO 7730 tarafından önerilen %70 üst bağıl nem sınırı dikkate alınarak konfor aralığı oluşturulmuştur. ASHRAE Standart 55'te alt nemlilik sınırı önerilmediği için konfor aralığı minimum nem değerine kadar indirgenmekle beraber ISO 7730 tarafından önerilen alt nemlilik sınırı olan %30 bağıl nem seviyesi de grafikte işaretlenmiştir. 1.8 met metabolik aktivite düzeyi için PMV indeksinin 0 olduğu optimum nokta, 22 °C operatif sıcaklık, %50 bağıl nem ve 0.2 m/s hava hızı olarak grafik üzerinde işaretlenmiştir. Bu aralık



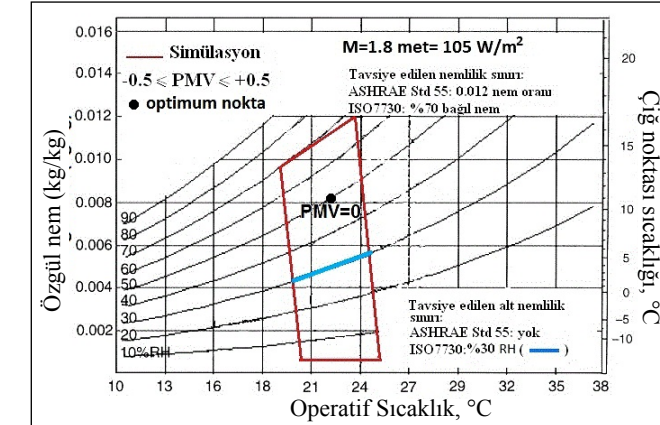
Şekil 2. 1.2 met Metabolik Aktivite Düzeyi İçin Elde Edilen Konfor Aralığının ASHRAE Standart 55'te Verilen Aralık ile Karşılaştırılması



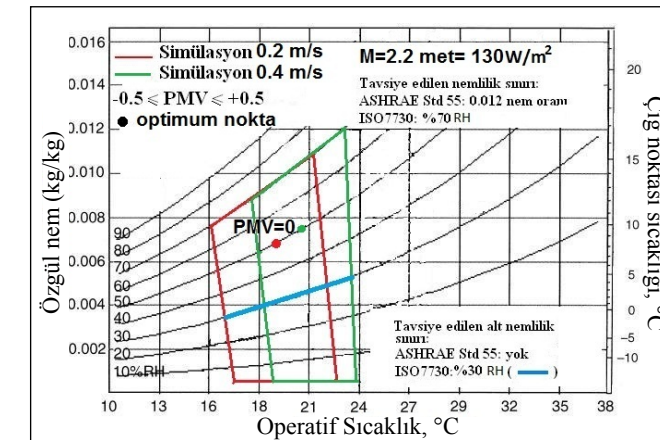
Şekil 3. 1.2 met ve 1.8 met Metabolik Aktivite Düzeyleri İçin Simülasyon Sonuçları ile ISO 7730 Verilerinin Karşılaştırılması

± 0.5 PMV değerine göre %50 bağıl nem ve 0.2 m/s hava hızında 19.3 °C ile 24 °C aralığına genişletilebilmektedir. Grafikten de görülebileceği üzere ısı ortam bağıl nemi arttıkça talep edilen iç ortam operatif sıcaklığı azalırken, bağıl nem azaldıkça istenen operatif sıcaklık artmaktadır.

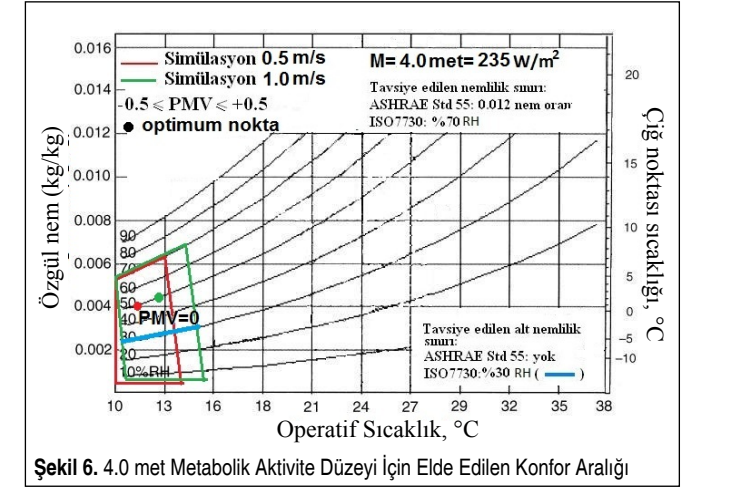
Benzer grafik daha fazla dikkat isteyen ve dolayısıyla daha fazla metabolik aktivite düzeyi oluşan elektrik işleri gibi aktiviteler için de oluşturulmuş ve Şekil 5'te sunulmuştur. Bu grafik hazırlanırken metabolik aktivite düzeyi 2.2 met olarak alınmıştır. Metabolik aktivite düzeyi yükseldikçe talep edilen iç ortam operatif sıcaklığı azaldığı için, yüksek metabolik aktivite düzeylerinde optimum şartları elde etmenin bir yolu da ısı ortam hava hızı değerlerini yükseltmektir. Bu nedenle 2.2 met aktivite düzeyinde konfor aralıkları belirlenirken 0.2 m/s hava hızı yanında alternatif olarak 0.4 m/s hava hızı durumu da grafik üzerine işlenmiştir. Yine alt ve üst nemlilik sınırları belirlenirken mevcut standartlarda tavsiye edilen durumların her biri dikkate alınarak grafik üzerine işlenmiştir. 2.2 met aktivite düzeyinde %50 bağıl nem için 0.2 m/s hava hızında optimum operatif sıcaklık değeri 19°C iken bu sıcaklık ± 0.5 PMV değeri için 16.3°C ile 21.6°C aralığına genişletilebilmektedir. Benzer şekilde 0.4 m/s hava hızı için ise yine %50 bağıl nem değerinde optimum operatif sıcaklık değeri 20.5°C



Şekil 4. 1.8 met Metabolik Aktivite Düzeyi İçin Elde Edilen Konfor Aralığı



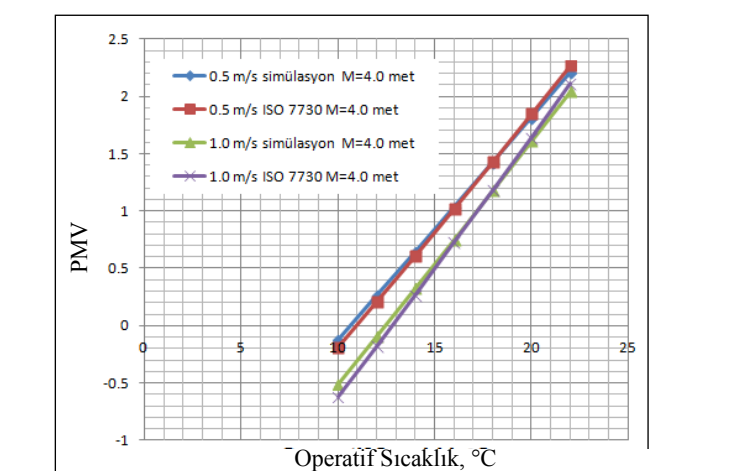
Şekil 5. 2.2 met Metabolik Aktivite Düzeyi İçin Elde Edilen Konfor Aralığı



Şekil 6. 4.0 met Metabolik Aktivite Düzeyi İçin Elde Edilen Konfor Aralığı

iken, bu da ± 0.5 PMV değeri için 18°C ile 22.8°C aralığına genişletilebilmektedir.

Ağır iş durumunda 4.0 met aktivite düzeyi için de konfor aralıkları belirlenmiş ve Şekil 6'da verilmiştir. Aralıklar belirlenirken yine hem ASHRAE Standart 55 ve hem de ISO 7730'da önerilen alt ve üst nemlilik sınırları dikkate alınmış ve grafik üzerine işlenmiştir. Yüksek metabolik aktivite düzeyinde 0.2 m/s ısı ortam hava hızlarında ideal PMV değerlerine ulaşmak olanaksızdır. Kaldı ki ISO 7730 standardında da %50 bağıl nem için 0.4 – 0.5 ve 1.0 m/s hava hızları için PMV değerleri sunulmuştur. Bu nedenle 4.0 met aktivite düzeyi için konfor aralıkları oluşturulurken hava hızı olarak 0.5 m/s ve 1.0 m/s durumları ele alınmıştır. Başka bir ifadeyle yüksek aktivite düzeylerinde konfor ancak hava hızlarının artırılmasıyla sağlanmaktadır da diyebiliriz. Durumun daha iyi ifadesi için simülasyonla elde edilen sonuçlar %50 ısı ortam bağıl nem değeri için ISO 7730 verileriyle de karşılaştırılarak Şekil 7'de sunulmuştur. Hem Şekil 6'dan hem de Şekil 7'den görülebileceği üzere, 4.0 met aktivite düzeyinde %50 bağıl nem için 0.5 m/s hava hızında optimum şartlar 10.7°C'de sağlanırken bu değer 10°C ile 13.2°C aralığına genişletilebilmektedir. 1.0 m/s hava



Şekil 7. 4.0 met Metabolik Aktivite Düzeyi İçin Farklı Hava Hızlarında Simülasyon Sonuçları ile ISO 7730 Verilerinin Karşılaştırılması

hızı değerinde ise optimum operatif sıcaklık değeri 12.5°C iken yine bu değer de 10.1°C ile 14.8°C aralığına genişletilebilmektedir. Yine Şekil 6'dan görülebileceği gibi bu değerler ısı ortam bağıl nemine bağlı olarak değişim göstermektedir.

SONUÇ

İşletmelerde çeşitli aktivite düzeylerinde çalışanlar için ısı ortam şartları hem çalışma verimliliğini hem de iş güvenliği ve işçi sağlığını önemli derecede etkileyen faktörlerden birisidir. Bu çalışmada sürekli rejim enerji dengesi modeli kullanılarak hazırlanan simülasyon ile makine – atölye işlerinde çalışanların kendilerini konforlu hissedebilecekleri aralıklar tahmin edilerek, elde edilen veriler kolay anlaşılabilir grafikler üzerine işlenmiştir. Konfor aralıkları, PMV indeksinin ± 0.5 aralığında değişimi dikkate alınarak belirlenmiştir. Genel haliyle aktivite düzeyi arttıkça gerekli iç ortam operatif sıcaklık değerinin azaldığı, çok yüksek operatif sıcaklık değerlerinde sadece iç ortam operatif sıcaklığını düşürmenin yetmediği bunun yanı sıra iç ortam hava hızlarını yükseltmenin de gerekli olduğu tespit edilmiştir. Çeşitli sektörlerde üretime bağlı olarak gerekli iç ortam bağıl nem değerleri de değişim göstermektedir. Elde edilen grafiklerden, farklı ısı ortam bağıl nem değerleri için ısı konforunun temininde gerekli operatif sıcaklık değerleri de kolaylıkla belirlenebilmektedir.

SEMBOLLER

A_D	DuBois yüzey alanı, m^2
C	Taşınım ile ısı kaybı oranı, W/m^2
E	Buharlaşma ile ısı kaybı oranı, W/m^2
f_{cl}	Giysi alan faktörü, [-]
h	Bileşik ısı geçiş katsayısı, $W/m^2 K$
h_c	Taşınım ile ısı geçiş katsayısı, $W/m^2 K$
h_e	Buharlaşma ile ısı geçiş katsayısı, $W/m^2 K$
h_r	Işınım ile ısı geçiş katsayısı, $W/m^2 K$
I_{cl}	Giysi ısı direnci, clo
i_{cl}	Giysi ısı geçirgenlik verimi, [-]
L	Vücut üzerindeki ısı yük oranı, W/m^2
LR	Lewis oranı, $^{\circ}C/kPa$
M	Metabolik enerji üretimi oranı, W/m^2
p_a	Ortam havası su buharı basıncı, kPa
$P_{deri,s}$	Deri sıcaklığındaki su buharının doyma basıncı, kPa
PMV	Tahmini ortalama oy indeksi, [-]
Q	Isı, W/m^2
R	Işınım ile ısı kaybı oranı, W/m^2
R_{cl}	Giysi ısı direnci, m^2K/W
$R_{e,cl}$	Giysi buharlaşma direnci, m^2kPa/W
t	Sıcaklık, $^{\circ}C$
V	Hava hızı, m/s
w	Deri ıslaklığı, [-]

W Mekanik iş oranı, W/m^2

Alt Simgeler

a	Çevre ortam
cl	Giysi
duy	Duyulur
g	Gerekli
max	Maksimum
o	Operatif
r	Işınım
rsw	Terleme ile olan
sol	Solunum

KAYNAKÇA

1. **Yiğit, A.** 2008. İş Güvenliği ve Sağlığı, Alfa Aktüel Yayınevi, Bursa, s. 162-164
2. ASHRAE, 1993. "Chapter 8: Physiological Principles and Thermal Comfort," ASHRAE Fundamentals, p. 39.
3. **Havenith, G., Holmer, I., Parsons, K.** 2002. "Personal Factors in Thermal Comfort Assessment: Clothing Properties and Metabolic Heat Production," Energy and Buildings, no. 34, p. 581-591.
4. **Holz, R., Hourigan, A., Sloop, R., Monkman, P., Krarti, M.** 1997. "Effects of Standard Energy Conserving Measures on Thermal Comfort," Building and Environment, no. 32(1), p. 31-43.
5. **McQuiston, F.C., Parker, J.D.** 1994. Heating, Ventilating, and Air Conditioning Analysis and Design, John Wiley & Sons, New York, USA, p. 125-135
6. **Erkan, N.** 1997. "Ergonomi," Milli Produktivite Merkezi Yayınları no: 373, Ankara, s. 115-131.
7. **Butera, F.M.** 1998. "Chapter – 3 Principles of Thermal Comfort," Renewable and Sustainable Energy Reviews, no. 2, p. 39 – 66.
8. ANSI / ASHRAE Standard 55, 2004, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.
9. ISO 7730, 1994. "Moderate Thermal Environments – Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort," International Organization for Standardization.
10. Alarko-Carrier, "Nemlendirme Uygulamaları," http://www.alarko-carrier.com.tr/eBulten/TekBulten/images_6/e_tekbulten6_2-5.pdf, son erişim tarihi: 15 Aralık 2012
11. **Doğmuş, O., Onat, A., Yılmaz, Ş., Ergün, Ş.** 2005. "Tekstil Fabrikalarındaki Bağıl Nem Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile Kontrolü," KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi, no. 8(1), s. 53-59.
12. **Srinavin, K., Mohamed, S.** 2003. "Thermal Environment and Construction Workers' Productivity: Some Evidence from Thailand," Building and Environment, no. 38, 339-345