

8. ISIL KONFOR

Eğer bir mekanın hava sıcaklığı, nemi, hızı ve radyant sıcaklığı optimum değerlerde ise ve buradaki insanlar oda sıcaklığının daha sıcak veya soğuk olmasını veya nemin daha fazla veya az olmasını gereksinmiyorlarsa bu mekanda ısı konforuna ulaşılmış demektir.

8.1. KONFORA VE İÇ HAVA KALİTESİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Isıl konfor ve kapalı iç hacimlerdeki hava kalitesi aşağıdaki faktörlerden etkilenir:

- Aktivitelevlerinin, giyim kuşamlarının, kalma sürelerinin, ısı ve maddesel yüklerinin (örneğin koku) ve sayısal yoğunluklarının fonksiyonu olarak odada bulunurlar.
- Yüzey sıcaklıkları, hava sıcaklığı dağılımı, ısı kaynakları ve zehirli madde kaynaklarının fonksiyonu olarak hacmin kendisi.
- Hava sıcaklığı, hava hızı ve nemi, hava değişim oranı, havanın saflığı (koku ve asılı maddeler) ve hava hareketlerinin kontrolünün fonksiyonu olarak HVAC sistemi.

Fiziksel ve zihinsel konfor duygusunu etkileyen diğer önemli faktörler akustik ve aydınlatma koşulları ve hacmin rengi olarak sayılabilir, ancak burada bu faktörler üzerinde durulmayacaktır.

8.1.1. Aktivite

Bir insan tarafından yayılan toplam ısı, söz konusu kişinin aktivite seviyesine bağlıdır. Aktivite seviyeleri ve insanlardan yayılan toplam ısı **Tablo 8.1**'de verilmiştir.

8.1.2. Giyim

Vücuttan olan ısı transferi giyilen giysilerin cinsinden etkilenir. **Tablo 8.2** giysilerin ısı dirençleri konusunda fikir vermek üzere hazırlanmıştır.

8.1.3. Sıcaklık

Yaşam bölgesinde hava sıcaklığının ve radyant sıcaklığın ortaklaşa etkisi gözönüne alınması gerekir. Bu sıcaklık oda operasyon sıcaklığı olarak bilinmektedir ve aşağıdaki eşitlikle tanımlanabilir:

$$t_o = 0,5 (t_a + t_r)$$

Burada,

t_o oda operasyon sıcaklığı (°C)

t_a yerel hava sıcaklığı (°C)

$t_r = \sum s_K \cdot t_K$ yerel radyant sıcaklıktır. (°C)

s_K Yüzeyle gözönüne alınan noktalar olan P ve K noktaları arasındaki görme açısıdır.

t_K yüzeylerden herbirini ifade eden K numaralı yüzeyin sıcaklığıdır. (°C)

Yukarıdaki ilişki aşağıdaki hallerde geçerlidir.

- Aktivite seviyesi 1 veya 2 ise,
- Hafif veya orta giyim halinde,
- Oda hava sıcaklığı ve türbülansı müsaade edilen aralıkta ise, bakınız **Şekil 8.4**.

- Emisyon oranı (yayılan radyasyon enerjisinin yüzeylerin maksimum radyasyon yayımlarına oranı), $e = 0,9$

Oda operasyon sıcaklığı döşemeden 0,1 m, 1,1 m ve 1,7 m yükseklikte (örneğin globe termometre ile) belirlenir.

Yerel radyasyon sıcaklığının hesabında, yüzey sıcaklığı ve yüzey komponentleri görme açısına dayalı olarak ağırlıklandırılır.

8.1.3.1. Oda Operasyon Sıcaklığı Aralıkları

Tavsiye edilen oda operasyon sıcaklıkları aralığı **Şekil 8.3**'de çapraz taralı alanla gösterilmiştir. ASHRAE Standard 55'e göre, bir hacimde bulunanların %90'ının kabul edilebilir bulunduğu operasyon sıcaklığı olarak konfor sıcaklıklarını belirlemektedir. Buna göre sakin aktivite düzeyinde (70 W/m²) ve tipik iç ortam giysileriyle standartın tavsiye ettiği operasyon sıcaklık aralıkları kışın 20-24 °C ve ya-

| Aktivite | Aktivite seviyesi | Kişi başına toplam ısı yayımı ^{1) 2)} (W) |
|--------------------------------------------|-------------------|----------------------------------------------------|
| Statik zihinsel faaliyet (okuma, yazma) | 1 ³⁾ | 120 |
| Çok hafif bedensel faaliyet (ayakta durma) | 2 | 150 |
| Hafif fiziksel faaliyet | 3 | 270 ve üzeri |
| Orta veya ağır fiziksel faaliyet | 4 | |

¹⁾ Radyasyon, iletim, buharlaşma, taşınımla 22 °C ortam sıcaklığındaki toplam emisyon.

²⁾ Oturma halinde steady-state enerji dönüşümünün 1 metabolik birimi: 1 met = 58 W/m² vücut yüzeyi değerindedir. (İnsan yüzeyi 1,7 m² alınmıştır.)

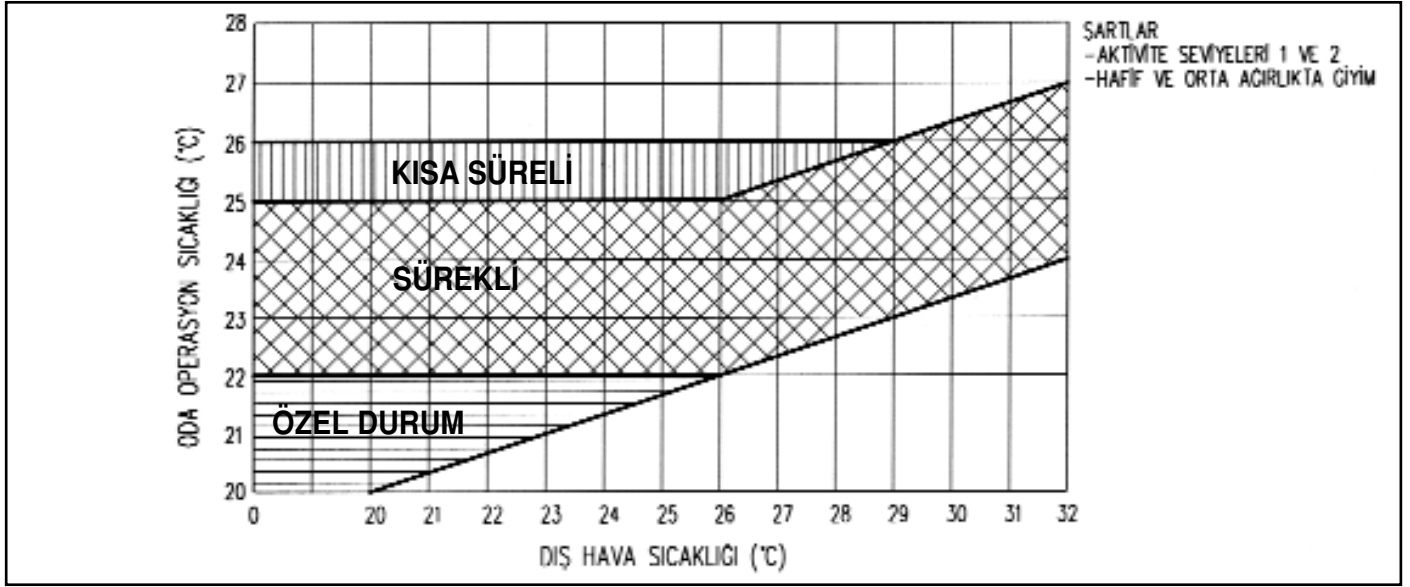
³⁾ Aktivite seviyesi 1 1,2 met değerine karşı gelir.

Tablo 8.1. AKTİVİTENİN FONKSİYONU OLARAK KİŞİ BAŞINA YAYILAN TOPLAM ISI

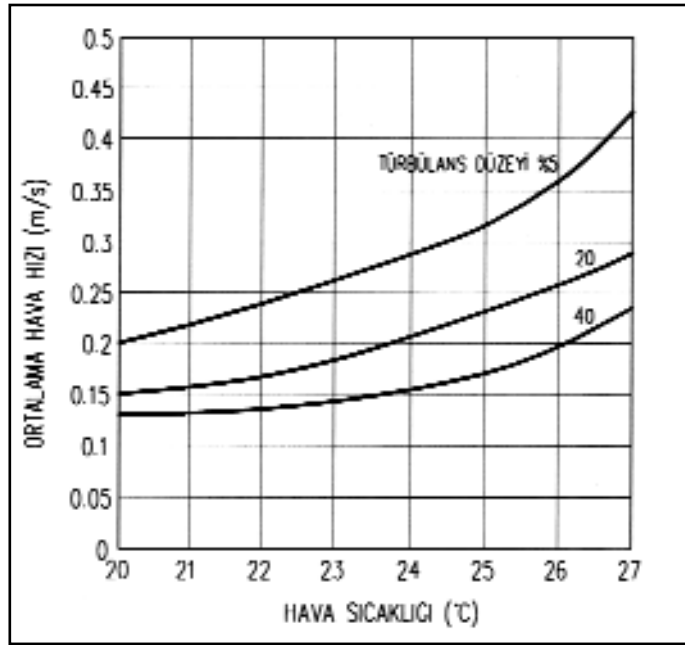
| Giysiler | Isıl direnç (m ² K/W) |
|---------------------|----------------------------------|
| Çıplak vücut | 0 |
| Hafif yaz giysileri | 0.08 |
| Orta giyim | 0.16 |
| Ağır giyim | 0.24 |

Giyisiler için kullanılan diğer bir birim 1 clo= 0.155 m² K/W

Tablo 8.2. GİYSİLERİN ISIL DİRENÇİ



Şekil 8.3. ODA OPERASYON SICAKLIK ARALIKLARI



Şekil 8.4. HAVANIN SICAKLIĞININ VE TÜRBÜLANS DÜZEYİNİN FONKSİYONU OLARAK; KONFOR BÖLGESİNDE İZİN VERİLEN MAX. ORTALAMA HAVA HIZI DEĞERLERİ

zın 23- 26 °C değerlerindedir. Aktivite düzeyi arttığında, endüstriyel ortamlarda olduğu gibi gerekli operasyon sıcaklıkları ISO 7730 da tanımlanmıştır.

Yaz çalışması sırasında yüksek dış hava sıcaklıkları halinde ve kısa periyotlar için ortaya çıkan yüksek ısı yüklerinde oda operasyon sıcaklığında bir yükselmeye müsaade edilir.

Genellikle odanın soğutma yükü dış yüklerin bir fonksiyonu değildir. Tam tersine daha çok iç yüklerle bağlıdır. Eğer bu yükler sadece kısa bir periyot için meydana gelirse, dış sıcaklığın 29 °C'ye kadar olan değerlerinde oda operasyon sıcaklığı 26 °C'ye kadar çıkabilir. (Şekil 8.3'de dik taranmış bölge).

Belirli havalandırma sistemleri için (Kaynakta havalandırma gibi)

oda operasyon sıcaklığının yatay taralı alanda, yani 20-22 °C aralığında olmasına müsaade edilebilir.

8.1.3.2. Hava Sıcaklığının Tabakalaşması

Hava sıcaklığı konusunda kendini iyi hissetme, sadece sıcaklık seviyesi ile ilgili değildir. Aynı zamanda yaşanan bölgedeki düşey sıcaklık gradyanı da bu hisse önemli rol oynar. Bu bağlamda hava sıcaklığındaki düşey doğrultudaki sıcaklık gradyanı 1 m oda yüksekliği başına 2 °C değerini aşmamalıdır. Bir başka tanımla ise, düşük aktivite düzeylerinde, insan başı ile ayağı arasındaki sıcaklık farkı 3 °C değerini aşmamalıdır. Döşeme düzeyinden itibaren 0,1 m yükseklikte hava sıcaklığı 21 °C'nin altında olmamalıdır. Daha yüksek aktivite seviyelerinde bu değerler değişmekte ve artmaktadır.

8.1.3.3. Radyant Sıcaklık Asimetrisi

İnsanlar kendilerini çevreleyen yüzeylerdeki farklı sıcaklıklara bağlı olarak dengesiz ısınma ve soğuma etkilerine maruz kalırlarsa, ısıl konforsuzluk hissederler. Bunu değerlendirmek için, göz önüne alınan hacim iki bölüme ayrılacak ve her bir bölüme karşı gelen radyant sıcaklıklar ölçülecek veya hesaplanacaktır. Her iki kısım arasındaki bölme, en büyük sıcaklık farklılıklarını gösteren yüzeylerin konumuna paralel olacaktır. Sonuçta konfor hissini hâlâ devam ettirilebilmesi için, hesaplanan iki bölme arasındaki sıcaklık farkının belirli değerleri aşmaması gerekir. Bu sınır değerler:

Sıcak tavan yüzeyleri için, $t_{RH1} - t_{RH2} \leq 3,5$ K

Soğuk duvar yüzeyleri için, $t_{RH1} - t_{RH2} \leq 8,0$ K

Soğutulmuş tavan yüzeyleri için, $t_{RH1} - t_{RH2} \leq 17,0$ K

Sıcak duvar yüzeyleri için, $t_{RH1} - t_{RH2} \leq 19,0$ K

Bu değerler konfor bölgesindeki bir oda operasyon sıcaklığı ve hafif veya orta giyimli ve oturan bir insan için uygulanır. Diğer koşullarda, şimdiki halde, hiçbir güvenilir yargıya varılamaz.

8.1.4. Hava Hızı

Isıl konfor açısından özel öneme sahip olan bir faktör de yaşam bölgesindeki hava hızıdır. Hava hızını sınırlayan değerler hava sıcaklığı

ğının ve havanın türbülans düzeyinin bir fonksiyonudur. Bu değerlerin, yani havanın sıcaklığının ve türbülans düzeyinin fonksiyonu olarak, konfor bölgesindeki izin verilen maksimum ortalama hava hızı değerleri **Şekil 8.4'den** elde edilebilir.

Oda sıcaklıklarının 20 °C ile 22 °C arasında bulunması durumunda, karışım prensibine dayanan mekanik havalandırma dışında, hava hızlarının **Şekil 8.4'de** verilen değerleri aşmaması halinde (**Şekil 8.3'deki** yatay taralı alan) ısıl konfor hâlâ sürdürülebilmektedir.

Şekil 8.4'de görülen eğriler, çeşitli türbülans düzey aralıklarına karşı gelen, zaman ortalaması olarak, limit hız değerlerini temsil etmektedirler. Gerekli ısı ve kütle taşınımının olabilmesi için belirli bir minimum hava hareketi gereklidir. Bu minimum hız ısı kaynağındaki doğal konveksiyon tarafından gerçekleştirildiğinden, böyle bir minimum değer belirlenmesine gerek görülmemektedir.

Eğer giysilerin ısıl direnci 0,032 m² K/W artarsa veya aktiviteye bağlı ısı üretimi 10 W artarsa, müsadde edilebilir hava hızı, yaklaşık olarak hava sıcaklığının 1 K artırılmasına karşı gelecek ölçüde artırılabilir. Sabit hava hızı halinde, hava sıcaklığı buna karşı gelen miktarda azaltılabilir.

Hava hızlarının ölçülmesinde yünden bağımsız ölçü yapan cihazlar kullanılmalıdır. Zaman ortalamasının ölçülebilmesi açısından da ölçmenin en az 100 s süreli olması gerekir. Ölçmeler yerden 0,1 ; 1,1 ; ve 1,7 m yüksekliklerde yapılmalıdır. Eğer hiçbir ölçme imkanı yoksa türbülans düzeyi % 40 alınmalıdır. (**Şekil 8.4'deki** en alt eğri)

ASHRAE Standard 55'e dayanan yukarıdaki değerlendirmede aktivite seviyeleriyle, hava hızı arasında hassas bir ilişki kurulamamaktadır. Endüstriyel ortamlarda hava hızları önemli bir konfor parametresidir. Bu açıdan ISO 7730 standartında aktivite seviyelerine göre, konfor bölgelerini tanımlayan, sıcaklık ve hız arasındaki ilişki bir dizi grafik- le tanımlanmıştır. Bu değerler **Şekil 8.5'de** görülmektedir.

8.1.5. Nem

Konfor şartları için havadaki nem miktarının üst limiti 11,5 g_{nem}/kg_{kuru hava} ve % 65 bağıl nem şeklinde tarif edilebilir.

Bağıl nemin alt limiti ile ilişkili hiçbir belirli bilgi mevcut değildir. Bağıl nemin % 30 değeri alt limit olarak kabul edilebilir. Bu değer havanın sıcaklığından aşağı yukarı bağımsızdır. Belirli durumlarda, arada sırada bu değer altına düşülmesi kabul edilebilir.

8.2. ISIL KONFOR MODELLERİ

İnsan aktivite seviyesine bağlı olarak 100 ile 1000 W mertebelerinde ısı üretir. Aslında ısıl konfor hissi bu üretilen ısının rahatça çevreye yayılabilmesi ile ilişkilidir. Konfor hissini devamı için vücut sıcaklığının çok dar bir aralıkta korunabilmesi gerekir. Bu sıcaklığın sabit tutulabilmesi ise, üretilen ısının çevreye transfer edilebilmesi ile mümkündür. Bu tarif içerisinde ısıl konforu, bir enerji dengesi olarak modellemek mümkündür. Bu doğrultuda çeşitli karmaşıklıkta enerji dengesi modelleri oluşturulabilir. Gerçekten de bu alanda geliştirilmiş farklı kabullere dayalı çok sayıda ısıl konfor modeli bulunmaktadır. Burada en basit fakat mekanizmanın temellerini verebilen steady-state enerji dengesi modeli üzerinde durulacaktır.

8.2.1. Steady - State Enerji Dengesi

Vücutun enerji depolama kabiliyeti ihmal edilerek ve vücut içi ile dış

yüzey arasında sıcaklık farkı olmadığı kabul edilerek, tek homojen bir cisim için sürekli ve kararlı halde (steady-state) enerji dengesi

$$M-W= Q_{sk} + Q_{res} = (C + R + E_{sk}) + (C_{res} + E_{res})$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada,

M=Metabolik enerji üretimi, W/m²

W=Yapılan mekanik iş, W/m²

Q_{res} = Solunumla verilen toplam ısı, W/m²

Q_{sk} = Deri yüzeyinden verilen toplam ısı, W/m²

C_{res} = Konvektif olarak solunumla verilen ısı, W/m²

C + R = Konvektif ve radyatif yolla deriden duyulur olarak kaybolan ısı, W/m²

E_{sk} = Deri yüzeyinden buharlaşma (gizli ısı) yolu ile verilen ısı,

E_{res} = Solunumla buharlaşma yolu ile verilen ısı, W/m²

Bu basit enerji dengesi denkleminde görüldüğü gibi metabolik olarak üretilen enerjinin işe dönüştürülemeyen kısmı vücuttan dışarı atılmak zorundadır. Vücutun ısıyı dışarı atma yolları esas olarak solunum ve deri yüzeyi olarak ifade edilebilir. Her iki halde de duyulur ve gizli ısı biçiminde ısı kaybı olmaktadır. Isı üretimi ve kaybının bağlı olduğu faktörlerin incelenmesi aynı zamanda ısıl konfor şartlarının belirlenmesi anlamına da gelmektedir. Metabolik ısı üretimi daha önce incelendiği gibi aktivite seviyesi, cinsiyet, yaşla ilişkilidir. Isı kaybetme yolları ise aşağıda kısaca incelenmiştir.

Yüzeyden Duyulur Isı Kaybı

Deri yüzeyinden olan ortama ısı geçişi giysiler üzerinden olmaktadır. Vücuttan bu yolla olan ısı kaybı deri yüzeyinden giysilere ve giysiler boyunca iletimle olmakta ve giysi yüzeyine ulaşan ısı buradan konveksiyon ve radyasyonla çevreye yayılmaktadır. Her iki yolla olan ısı geçişini de aşağıdaki şekilde ifade etmek mümkündür.

$$C=f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_c)$$

$$R=f_{cl} \cdot h_r \cdot (t_{cl} - t_{r,ort})$$

Burada h_c konvektif ısı transfer katsayısı, h_r radyatif ısı transfer katsayısıdır. f_{cl} giysili alan faktörüdür. Görüldüğü gibi bu yolla ısı transferinde, oda havası sıcaklığı ile odayı çevreleyen yüzeylerin ortalama sıcaklığı ana parametrelerdir. Yani ısıl konfor üzerine oda sıcaklığı kadar etkili olan çevre yüzeylerin sıcaklığıdır. Özellikle bu noktada radyant ısıtmanın önemi ortaya çıkmaktadır. Oda havasının sıcaklığı ve radyant sıcaklığı birlikte ifade için, daha önce verilen oda operasyon sıcaklığı kullanılmaktadır. Oda operasyon sıcaklığı cinsinden her iki denklem birleştirilerek tek bir,

$$(C+R) = f_{cl} \cdot h \cdot (t_{cl} - t_o)$$

denklemleri yazılabilir. Burada oda operasyon sıcaklığı t_o ile gösterilmiştir. Bu yolla ısı geçişinde bir başka önemli faktör de h katsayısıdır. Bu değer esas olarak vücut çevresindeki rüzgar hızına bağlıdır. Dolayısı ile konvektif ısı kaybı açısından bir minimum değer gerekirken, taşınım katsayısının çok büyük olması da aşırı soğumaya (draft) neden olarak rahatsızlık yaratır.

Yüzeyden Buharlaşma ile Isı Kaybı

Deri yüzeyinden buharlaşma ile ısı kaybı esas olarak deri üzerindeki buhar basıncı ile ortam havası buhar basıncı arasındaki farka ve deri üzerindeki nem miktarına bağlıdır.

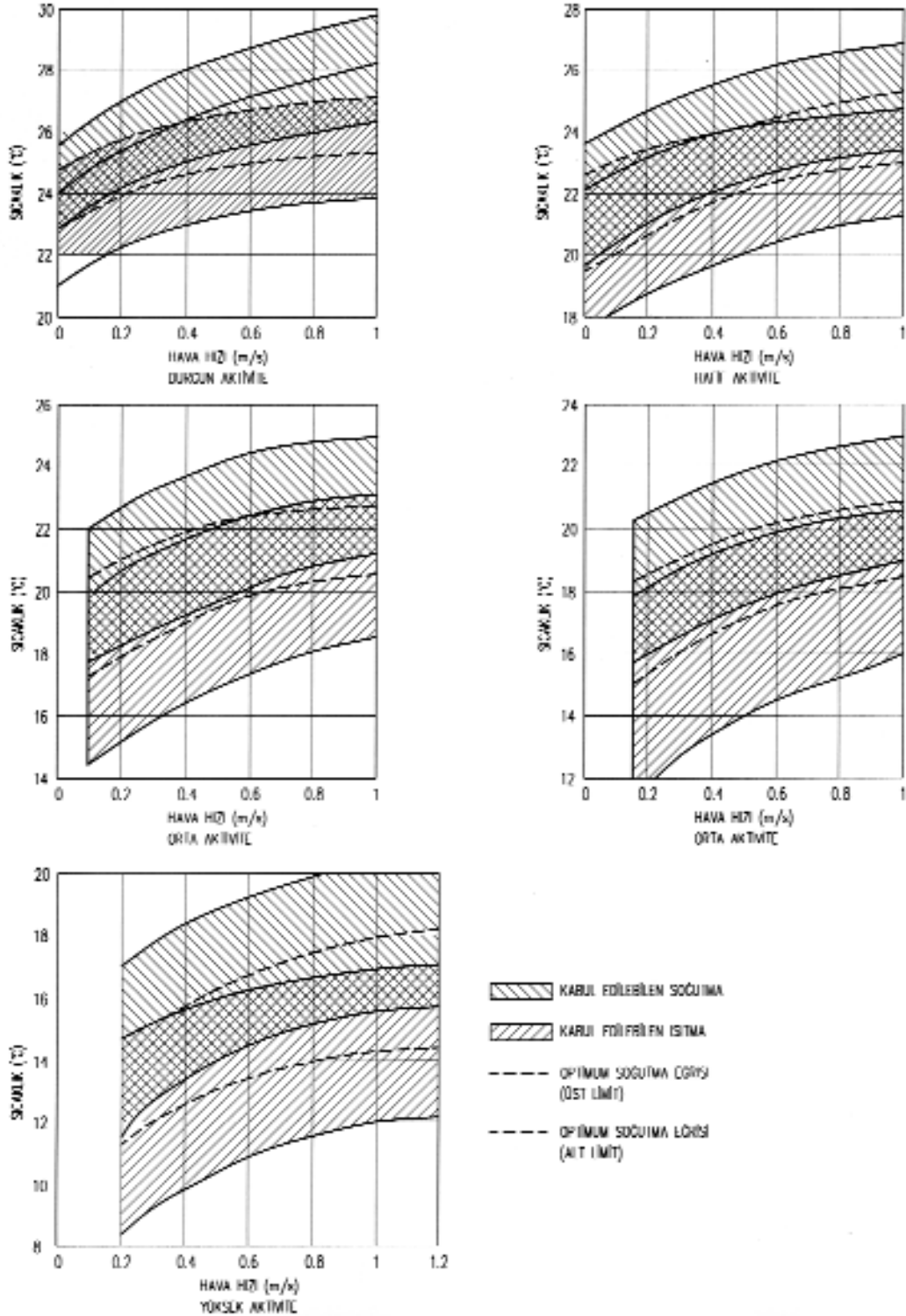
Bu terimin formülasyonu daha karmaşıktır. Ancak burada önemli olan buharlaşma yolu ile ısı kaybının öncelikle ortamdaki neme bağlı olmasıdır. Ortam ne kadar kuru olursa buharlaşma

yolu ile o denli fazla ısı kaybetmek mümkündür. Tam tersine aşırı nemli ortamlarda buharlaşma ile (terleme ile) ısı kaybetmek çok zordur.

Solumun Yolu ile Isı Kaybetmek

Bu yolla ısı kaybı yine solunan havanın sıcaklığına ve özgül nemi-

ne bağlıdır. Oda havası şartlarında solunan hava, yaklaşık vücut sıcaklığında doymuş hava olarak dışarı verilir. Yine solunan hava ne kadar soğuksa ve ne kadar kuru ise vücuttan ısı kaybı o denli yüksek olacaktır. Ancak burada solunan havanın çok kuru veya çok soğuk olması rahatsızlık yaratır.



Şekil 8.5. AKTİVİTE SEVİYELERİNE GÖRE SICAKLIK VE HAVA HIZI ARASINDAKİ İLİŞKİ