

İnsan Vücudundan Solunum Yoluyla Gerçekleşen Isı Kaybının Analizi

Öğr. Gör. Mehmet BİLGİLİ
Prof. Dr. Beşir ŞAHİN
Öğr. Gör. Erdoğan ŞİMŞEK

ÖZET

İnsan vücudundan çevreye olan ısı kayıpları temel olarak duyulur ısı ve gizli ısı şeklinde iki grupta incelenmektedir. Duyulur ısı kayıpları, sıcaklık farkından kaynaklanan deriden iletim, taşınım, ışınım ve solunan hava aracılığıyla olmaktadır. Gizli ısı kayıpları ise deriden terin buharlaşması ve difüzyonu, ve ayrıca solunum yoluyla gerçekleşmektedir. Vücuttan çevreye bu şekillerle transfer edilen ısının yaklaşık % 90'ı deriden, % 10'u da solunum sisteminden gerçekleşmektedir.

Bu çalışmada, hafif aktivite seviyesinde olan bir kişinin, farklı mevsimlerdeki gün içerisinde solunum yoluyla gerçekleştirdiği duyulur ve gizli ısı kayıpları hesaplanarak karşılaştırmalar yapılmıştır. Mevsimsel ve çevresel değişikliklerin ısı kaybı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; vücuttan solunum yoluyla gerçekleşen duyulur ve gizli ısı kayıpları önemli değişiklikler göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Çevresel değişiklikler, duyulur ısı, gizli ısı, insan vücudu, solunumla ısı kaybı, termo-regülasyon

1. Giriş

İnsan vücudu, alınan besinler ve teneffüs ettiği oksijen ile enerji üreten ve ürettiği enerjinin işe dönüştüremediği kısmını ısı olarak dış ortama ileten termodinamik bir sistem olarak düşünülebilir[1]. İnsanlar, aktivite seviyesine bağlı olarak 100 ile 1000 W aralığında ısı üretirler. Aktivite seviyesindeki artış, vücudun ürettiği ısı miktarında da artışa neden olur. Buna karşın, insanların hayati fonksiyonlarını sürdürebilmeleri için dış ortam şartlarındaki değişiklikler ne olursa olsun vücut, iç bölge sıcaklığını belirli bir aralıkta tutmak zorundadır. Bu sıcaklık aralığı, aşırı sıcak ve aşırı soğuk ortamlarda çok az değişiklik gösterebilir[2].

Öngel ve Mergen [3] yaptıkları çalışmada, normal şartlarda insan vücudunun iç sıcaklığının 36,5 °C - 37,5 °C ve deri yüzey sıcaklığının ise ortalama 31,5 °C - 33,5 °C aralığında kalması gerektiğini ifade etmektedirler. Tunç ve arkadaşları [4]'na göre, vücut içerisindeki organların hayati fonksiyonlarını sürdürebilmesi, ancak bu dar sıcaklık aralığında mümkündür. Bu sıcaklık sınırları içerisinde

Abstract:

Bio-heat losses from the human body are basically investigated in two groups such as latent heat losses and sensible heat losses. Sensible heat losses from the skin occur in terms of a convection, radiation and conduction heat transfer, mass transfer from the skin due to the temperature differences as well as respiration. On the other hand, latent heat losses happen due to the evaporations of sweat diffusions of sweat and respiration. Ninety per cent of bio-heat losses from the human body to the surrounding are caused by the bio-heat transfer from the skin and the rest of 10% are caused by respirations.

In the present work, daily latent and sensible heat losses in terms of respiration have been determined having human bodies in lower activity level and comparisons of results obtained for different season have been also conducted. Effects of seasonal and environmental conditions on the bio-heat losses have been investigated. It has been observed that latent and sensible heat losses from the human body have been varied considerably from season to season.

Key Words:

Environmental differences, human body, latent heat, respiratory heat loss, sensible heat, thermo-regulation

Makale

insanlar konfor hissini yaşayabilir ve yaşamlarını sağlıklı bir şekilde sürdürebilirler.

Metabolizma tarafından üretilen ısının işe dönüştürülmeden kısmı vücuttan dışarı transfer edilir. Bu transfer, temel olarak duyulur ve gizli ısı transferi şeklinde gerçekleşir [5]. Vücut iç bölgelerinden deri yüzeyine iletim ve taşınım ile olan ısı transferi, deriden çevre ortama iletim, taşınım ve ışınila gerçekleşir [6]. Deriden gizli ısı transferi, deri yüzeyi ve çevre ortam arasındaki su buhar basıncı, sıcaklık farkı, hava hızına bağlı şekilde, ter olarak adlandırılan ve deriden difüzyon sonucu geçen nemin deri yüzeyinden buharlaşması ile gerçekleşir [2]. Diğer bir gizli ısı transfer şekli, solunumla vücut iç sıcaklığının düşürülmesidir. Solunum yoluyla vücut iç bölgelerine çevreden ısı girişi sağlanmakta, iç bölgelerdeki ısı, nem de eklenerek duyulur ve gizli ısı şeklinde çevre ortamına transfer edilmektedir [7].

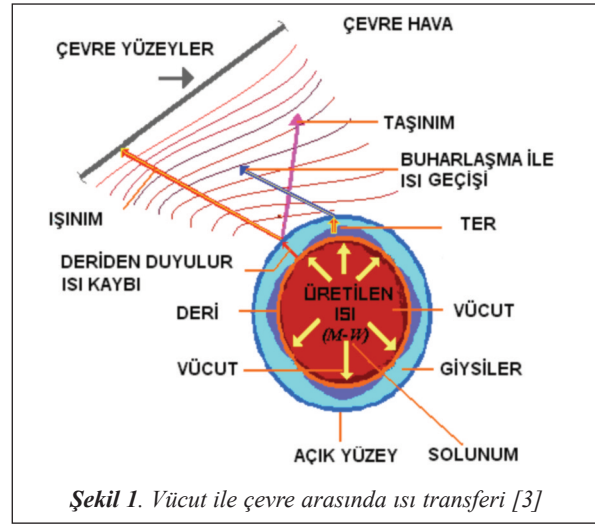
Tunç ve arkadaşları [8] yaptıkları çalışmada, vücuttan çevreye transfer edilen ısının yaklaşık % 90'ının deriden, % 10'unun solunum sisteminden gerçekleştiğini belirtmektedirler.

Bu çalışmada, hafif aktivite seviyesinde olan bir kişinin farklı mevsimlerdeki gün içerisinde solunum yoluyla gerçekleştirdiği duyulur ve gizli ısı kayıpları hesaplanmıştır. Gün içerisinde ortam sıcaklığı, bağıl ve özgül nem miktarları ve atmosferik basınç değerlerindeki değişikliklerin ısı kaybı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ayrıca, farklı mevsimlerdeki solunum yoluyla gerçekleşen duyulur ve gizli ısı kayıpları karşılaştırılmıştır. Vücuttan solunum yoluyla dışarı atılan havanın özgül nem miktarları ve sıcaklıklarındaki değişimler incelenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Vücutun Enerji Dengesi Modeli

İnsan vücudunun iç yüzeyinden deri yüzeyine doğru gerçekleşen ısı transferi, Şekil 1'de gösterildiği gibi iletim, taşınım (iç bölgelerden deri dokusuna doğru kan hareketi) ve iç bölgelerden deri yüzeyine doğru iletilen sıvı transferi ile gerçekleşir. Toksoy [7]'a göre bu sıvı hareketi (kütle transferi), deri yüzeyinde



Şekil 1. Vücut ile çevre arasında ısı transferi [3]

ter zerreciklerinin oluşumuna, oluşan ter sıvısının buharlaşması da ısının dış ortama atılmasına neden olmaktadır.

Çelik ve Bayazıt [8]'in ifade ettiği gibi, insan vücudunun dış çevreye karşı verdiği sıcaklık tepkisi termo-regülasyon sistemidir. Öngel ve Mergen [5]'e göre, bu termodinamik sistem, vücudun iç sıcaklığını $37 \pm 0,5$ °C ve deri yüzey sıcaklığını ise ortalama $31,5-33,5$ °C arasında tutmakla yükümlüdür. Bu ısıl dengenin korunması için üretilen ısı ile çevreye transfer edilen ısı arasındaki fark aynı olmalıdır. Çelik ve Bayazıt [8] çalışmalarında, vücudun ısıya maruz kalması durumunda, termo-regülasyon sistemin vücuda ısı geçişini en aza indirecek şekilde cevap vereceğini ifade etmektedir. Doku sıcaklıkları, optimal kimyasal reaksiyonların meydana gelmesi için biyolojik olarak güvenli seviyelerde tutulur. Termo-regülasyon sistem, bu seviyeleri deriye olan taşınım ve iletim oranlarını değiştirerek ayarlar. Dolayısıyla bazal sıcaklık dağılımı, dokudan iletilen ısı, kanla yüzeye taşınan ısı ve yüzey ısı geçişi ile şekillendirilir. Bundan dolayı, vücudun ısıl dengesi kararlı bir şekilde sabit kalmaktadır. Metabolik reaksiyonlar sonucunda üretilen ısı, deri yüzeyinden çevreye transfer edilen ısı tarafından dengelenmezse vücut sıcaklığı artar veya azalır.

Kaynaklı ve Yamankaradeniz [1]'e göre, vücut ile çevresi arasındaki ısı geçişi ile ilgili, sürekli rejim enerji dengesi ve anlık enerji dengesi modelleri

olmak üzere yaygın olarak iki model kullanılmaktadır.

2.2. Sürekli Rejim Enerji Dengesi Modeli

Fanger [9,10] tarafından geliştirilen sürekli rejim enerji dengesi modelinde, vücudun ısı dengede olduğu ve enerji depolamasının ihmal edilebileceği kabul edilir. Vücut içi ve deri tek bir bölme olarak ele alındığı için, titreme ve kan akışı denetimi göz önüne alınmaz. Dolayısıyla vücut sıcaklığı zamana göre değişmez. Metabolizma tarafından işe dönüştürülemeyen enerji, deri yüzeyinden ve solunumla çevre ortama transfer edilerek bir enerji dengesi kurulur. Bu enerji dengesi;

$$M - W = Q_{sk} + Q_{res} \\ = (C + R + E_{sk}) + C_{res} + E_{res} \quad [W/m^2] \quad (1)$$

bağıntısı ile ifade edilir. Burada; M metabolik ısı enerji üretimi, W yapılan mekanik iş, Q_{res} solunum ile olan toplam ısı kaybı, Q_{sk} deriden olan toplam ısı kaybı, C_{res} solunumla ilgili taşınım (duyulur ısı) kaybı, E_{res} solunumla ilgili buharlaşma (gizli) kaybı, C+R deriden duyulur ısı kaybı, E_{sk} deriden toplam buharlaşma kaybını ifade etmektedir [11].

2.3. Vücuttan Solunum Yoluyla Isı Kayıpları

Solunum sırasında, vücuda solunan havaya taşınım ve buharlaşma nedeniyle duyulur ve gizli ısı geçişi olur. Solunum sırasında önemli miktarlarda ısı geçişi söz konusu olabilir. Çünkü hava çevre koşullarında solunur ve iç vücut sıcaklığı veya iç vücut sıcaklığının çok az altında bir sıcaklıkta doymuş olarak dışarı atılır. Solunumla ilişkili duyulur ve gizli ısı kayıpları[3];

$$C_{res} = m_{res}c_{p,a}(t_{ex} - t_a) / A_D \quad (2)$$

$$E_{res} = m_{res}h_{fg}(W_{ex} - W_a) / A_D \quad (3)$$

eşitlikleri ile ifade edilir. Bu eşitliklerde, m_{res} (kg/s) solunan hava debisi, W_{ex} (kg H_2O /kg kuru hava) dışarı atılan havanın özgül nemi, t_{ex} ($^{\circ}C$) dışarı atılan havanın sıcaklığı, W_a (kg H_2O /kg kuru hava) solunan çevre havasının özgül nemi ve $c_{p,a}$ (kJ/kg.K)

havanın özgül ısı, t_a ($^{\circ}C$) çevre ortam sıcaklığı ve h_{fg} (kJ/kg.K) suyun gizli buharlaşma ısısıdır. Çıplak vücudun DuBois yüzey alanı A_D (m^2) ile gösterilir ve;

$$A_D = 0,202.m^{0,25}.l^{0,775} \quad (4)$$

şeklinde hesaplanır. Buradaki m (kg) kişinin kütlesini, l (m) ise kişinin boyunu ifade etmektedir [3].

Yukarıdaki denklemler, parametrelerin değerlerini yaklaşık veya deneysel bağıntılarla ifade ederek basitleştirilebilir. Normal koşullarda, solunan hava debisi önemli ölçüde metabolik hızın bir fonksiyonu olup,

$$m_{res} = K_{res} \cdot M \quad (5)$$

bağıntısı ile verilmektedir. Bu bağıntıda, K_{res} bir oranlama sabitidir (2,58 kg.m²/MJ).

Solunum havası, yaklaşık doymuş halde olup dışarı atıldığı sırada sıcaklığı vücut sıcaklığına yakındır. Fanger [10] tarafından geliştirilen,

$$t_{ex} = 32,6 + 0,066t_a + 32W_a \quad (6)$$

$$W_{ex} = 0,0277 + 0,000065t_a + 0,2W_a \quad (7)$$

deneysel denklemleri, olağan iç çevre koşullarında dışarı verilen havanın halini belirlemek için kullanılır. Çevre havanın özgül nemi, toplam veya barometrik basınç p_t (kpa) ve çevre havanın su buharı basıncı p_a (kpa) yardımı ile,

$$W_a = 0,622p_a / (p_t - p_a) \quad (8)$$

şeklinde yazılabilir [3].

3. Bulgular ve Tartışma

İnsan vücudunun ısı dengesini belirleyen en önemli faktörlerden birisi olan çevresel faktörler; ortam sıcaklığı, bağıl nem, özgül nem, rüzgar hızı, atmosfer basıncı gibi meteorolojik parametrelerdir. Bu parametrelerin insan vücudunun solunum yoluyla

Makale

gerçekleştirdiği ısı kaybı üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla Türkiye’de Adana ili sınırları içerisinde Çukurova Üniversitesi Balcalı yerleşkesi seçilmiştir. İstasyondan elde edilen parametreler 2 Ekim 2008, 2 Ocak, 2 Nisan ve 2 Temmuz 2009 tarihlerine aittir ve değerler 15 dakika aralıklarla ölçülmüştür. Ölçümden elde edilen parametrelerin minimum ve maksimum değerleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Kütlesi 70 kg, boyu 1,73 m olarak belirlenen kişinin hafif aktivite seviyesinde olduğu düşünülmüştür. Bu kişinin vücut iç sıcaklığı ve deri sıcaklığı 36,8 °C ve 33,7 °C olarak sürekli rejim enerji dengesi modeline göre sabit olduğu kabul edilmiştir. Kişinin metabolik ısı enerji üretimi 1 met (58,2 W/m²) alınmıştır. Kişinin DuBois yüzey alanı 1,8 m² hesaplanmıştır. Çevresel faktörlerin ve fizyolojik özelliklerin elde edilmesiyle vücuttan solunum yoluyla gerçekleşen duyulur ve gizli ısı kayıpları Şekil 2’de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi, duyulur ısı kayıpları gizli ısı kayıplarından tüm aylar için daha küçük değerdedir. Tüm duyulur ısı kayıpları günün sabah saatlerinde en yüksek değerlerde olurken, en düşük değerlerini öğleden sonra 12:00 ile 16:00 saatleri arasında almıştır. Bunun en önemli nedeni, ortam sıcaklığının gün içerisindeki değişimidir. Ortam sıcaklığı, günün sabah saatlerinde düşük seyrederken, öğleden sonra yükselmektedir. Ortam sıcaklığında bir artışın olması, solunum yoluyla duyulur ısı kaybının azalmasına neden olmaktadır. Aylara göre değerlendirme yaptığımızda, solunum yoluyla en büyük duyulur ısı kayıpları Ocak ayında görülmüştür. Çünkü bu ayda çevre ortam sıcaklığı diğer aylara göre tabii ki daha düşüktür. Duyulur ısı kayıplarının en düşük hesaplandığı ay ise Temmuz’dur. Nisan ve Ekim ayların-

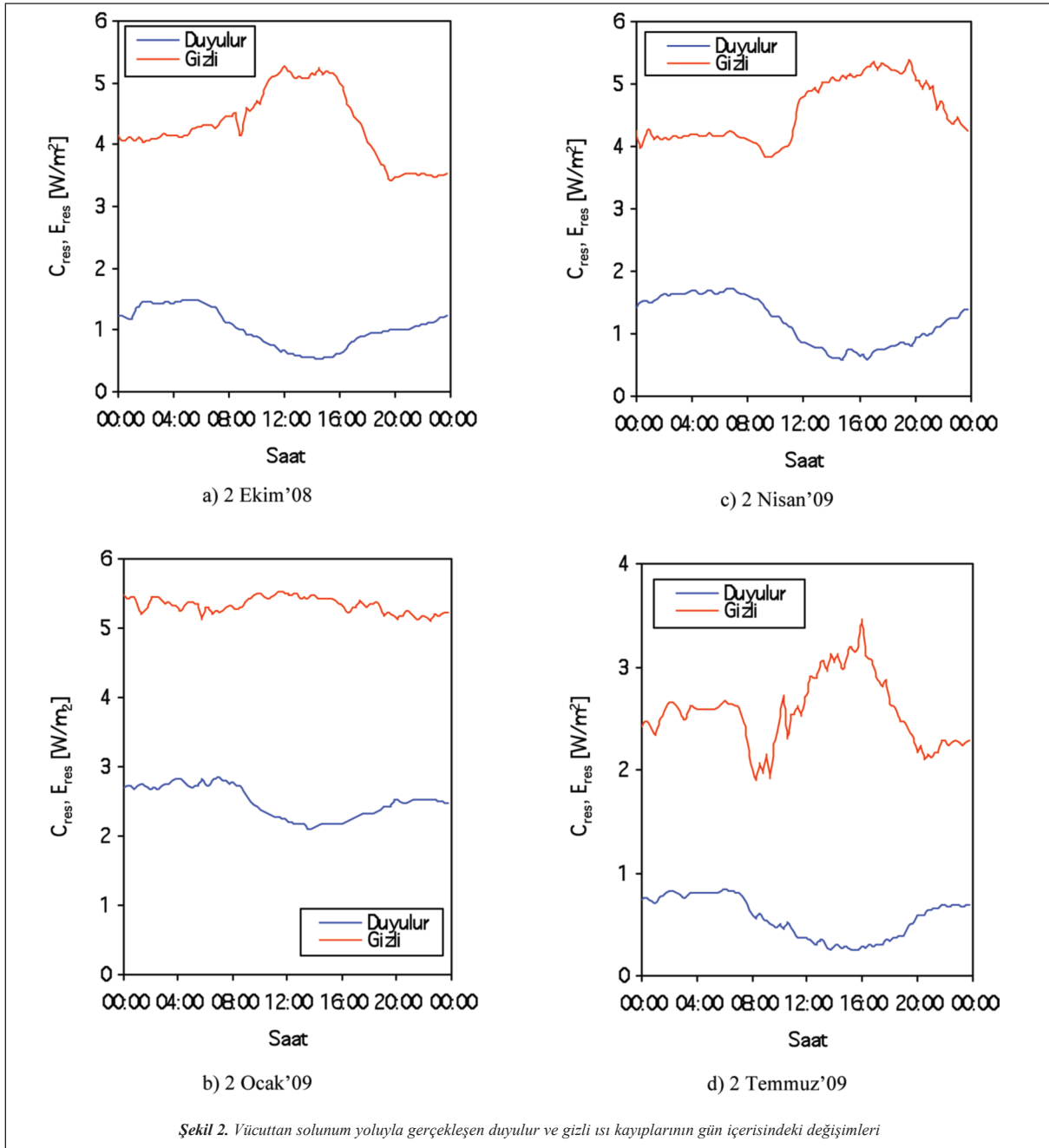
daki duyulur ısı kayıpları ise birbirine benzer bir eğilim göstermiştir.

Solunum yoluyla gerçekleşen gizli ısı kayıpları Şekil 2’den de görüldüğü gibi, duyulur ısı kayıplarının tersine, genel olarak günün öğleden sonraki saatlerinde bir artış göstermiştir. Bunun en önemli nedeni, solunan çevre havasının özgül nemindeki değişimdir. Çevre havasının özgül neminde bir azalma olması, solunum yoluyla gizli ısı kaybının artmasına neden olmaktadır. Aylara göre değerlendirme yaptığımızda, solunum yoluyla en büyük gizli ısı kayıpları, duyulur ısı kayıplarında olduğu gibi, Ocak ayında hesaplanmıştır. Çünkü Ocak ayında dışarı atılan havanın özgül nemi ile solunan havanın özgül nemi arasındaki fark, diğer karşılaştırılan aylara göre daha fazladır. Ayrıca, Ocak ayında hesaplanan gizli ısı kaybı gün içerisinde 5 W/m² ile 5,5 W/m² arasında çok büyük bir değişkenlik göstermemiştir. Çünkü dışarı atılan havanın özgül nemi ile solunan havanın özgül nemi arasındaki fark, gün boyunca çok büyük bir değişkenlik göstermeyerek 0,02512 (kg H₂O/kg kuru hava) ile 0,02727 (kg H₂O/kg kuru hava) arasında kalmıştır.

Duyulur ve gizli ısı kayıplarının toplanması ile elde edilen vücuttan toplam solunum yoluyla gerçekleşen ısı kaybının farklı mevsimler için gün içerisindeki değişimleri Şekil 3’te gösterilmiştir. Bu esnada, solunum yoluyla dışarı atılan havanın sıcaklıklarındaki ve özgül nemindeki değişimler ise sırasıyla Şekil 4 ve 5’te gösterilmiştir. Grafiklerden de görüldüğü gibi, solunum yoluyla en çok ısı kaybı, kış mevsimi olan Ocak ayında olurken, en az, yaz mevsimindeki Temmuz ayında gerçekleşmiştir. Ocak ayında, solu-

Çizelge 1. Ölçülen parametrelerin minimum ve maksimum değerleri

Çevresel faktör	02 Ekim 2008		02 Ocak 2009		02 Nisan 2009		02 Temmuz 2009	
	Min.	Mak.	Min.	Mak.	Min.	Mak.	Min.	Mak.
Çevre ortam sıcaklığı [°C]	16,3	28,4	-1,4	8,2	13,3	27,8	24,9	32,4
Bağıl nem [%]	19	100	18	87	18	100	53	100
Özgül nem [kg H ₂ O/kg kuru hava]	0,00423	0,01545	0,00095	0,00345	0,00344	0,01253	0,01588	0,02522
Atmosfer basıncı [kPa]	101,186	101,506	101,986	102,306	100,679	100,985	100,105	100,585

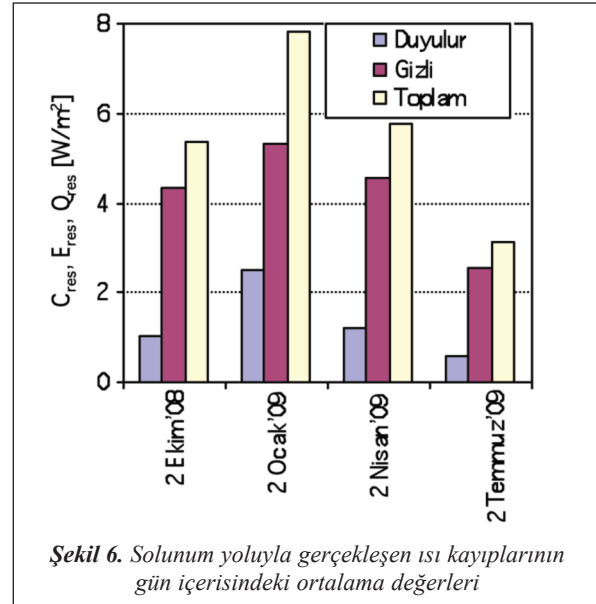
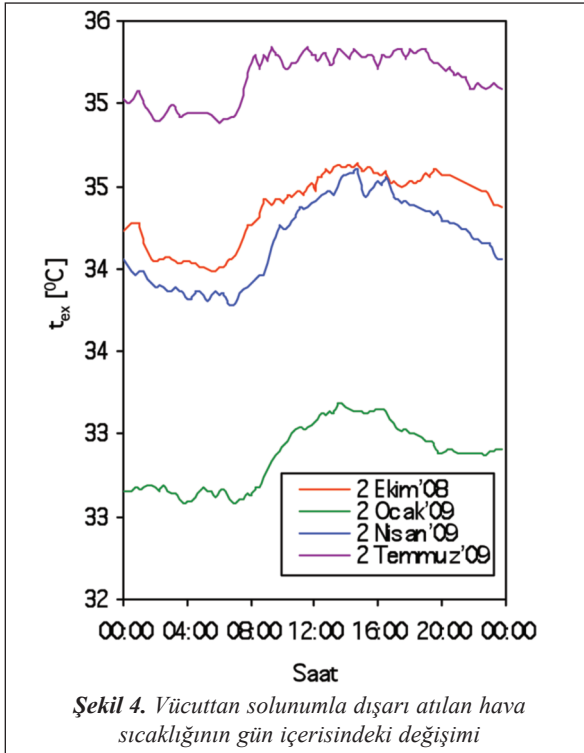
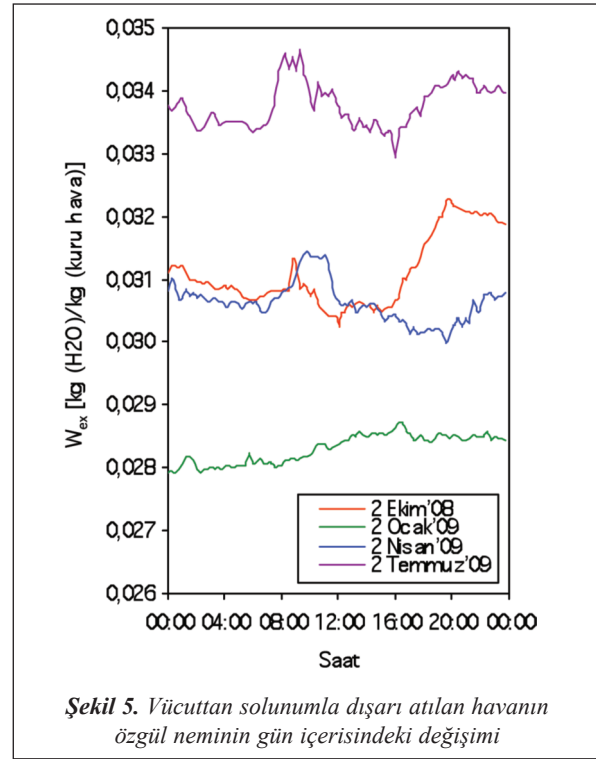
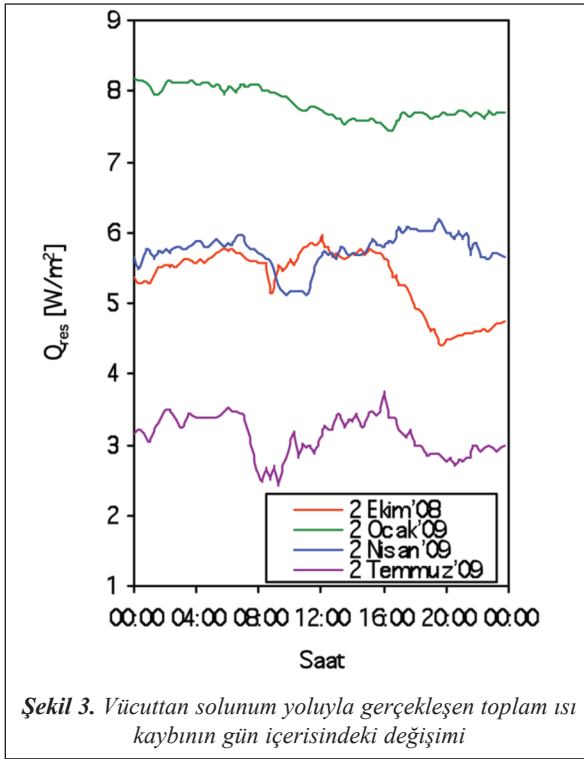


num yoluyla ısı kaybı değerleri, gün içerisinde $7,44 W/m^2$ ile $8,18 W/m^2$ arasında değişim gösterirken, Temmuz ayında ise $2,42 W/m^2$ ile $3,74 W/m^2$ arasında değişmiştir. Solunum yoluyla dışarı atılan havanın sıcaklıklarını incelediğimizde, en yüksek değerler Temmuz ayında hesaplanmıştır. Özellikle öğleden sonraki 12:00 ve 16:00 saatleri arasında bu sıcaklıklarının arttığı görülmüştür. Solunum yoluyla dışarı atılan havanın özgül nemindeki en yüksek değerler

Temmuz ayında, en düşük değerler ise Ocak ayında hesaplanmıştır.

Solunum yoluyla gerçekleşen ısı kayıplarının gün içerisindeki ortalama değerleri Şekil 6'da gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, insan vücudundan solunum yoluyla en fazla ısı transferi Ocak ayında gerçekleşmektedir. Bu aydaki duyulur, gizli ve toplam ısı kayıpları sırasıyla $2,49 W/m^2$, $5,33 W/m^2$ ve

Makale



7,82 W/m² olarak hesaplanmıştır. Ekim ve Nisan aylarında hesaplanan ısı kayıpları birbirine yakın değerlerde olup toplamda sırasıyla 5,34 W/m² ve 5,75 W/m² olarak hesaplanmıştır. En az ısı kayıpları-

4. Sonuçlar

- Solunum sırasında, vücuttan solunan havaya taşınım ve buharlaşma nedeniyle duyulur ve gizli ısı geçişi olmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre, gizli

ısı kayıpları, duyulur ısı kayıplarından daha büyük değerdedir.

- Ortam sıcaklığında bir artışın olması, solunum yoluyla duyulur ısı kaybının azalmasına neden olmaktadır. Tüm duyulur ısı kayıpları, günün sabah saatlerinde en yüksek değerlerde olurken, en düşük değerlerini öğleden sonra 12:00 ile 16:00 saatleri arasında almıştır.
- Çevre havasının özgül neminde bir azalma olması, solunum yoluyla gizli ısı kaybının artmasına neden olmaktadır. Solunum yoluyla gerçekleşen gizli ısı kayıpları, duyulur ısı kayıplarının tersine genel olarak günün öğleden sonraki saatlerinde bir artış göstermiştir.
- İnsan vücudu, diğer aylara göre Ocak ayında solunum yoluyla çevreye daha çok ısı transfer etmektedir. Bu aydaki ortalama duyulur, gizli ve toplam ısı kayıpları sırasıyla 2,49 W/m², 5,33 W/m² ve 7,82 W/m² olarak hesaplanmıştır.
- Elde edilen sonuçlara göre; vücuttan solunum yoluyla gerçekleşen duyulur ve gizli ısı kayıpları, mevsimsel ve çevresel değişikliklerden önemli bir şekilde etkilenmiştir.

Semboller

A_D	DuBois yüzey alanı (m ²)
$c_{p,a}$	Havanın özgül ısısı (kJ/kg.K)
C_{res}	Solunumla ilgili taşınım (duyulur ısı) kaybı (W/m ²)
$C+R$	Deriden duyulur ısı kaybı (W/m ²)
E_{res}	Solunumla ilgili buharlaşma (gizli ısı) kaybı (W/m ²)
E_{sk}	Deriden toplam buharlaşma kaybı (W/m ²)
h_{fg}	Suyun gizli buharlaşma ısısı (kJ/kg)
K_{res}	Oranlama sabiti (kg.m ² /MJ)
l	Boy (m)
m	Kütle (kg)
M	Metabolik ısı enerji üretimi (W/m ²)
m_{res}	Solunan hava debisi (kg/s)
p_a	Çevre havanın su buharı basıncı (kPa)
p_t	Atmosfer basıncı (kPa)
Q_{sk}	Deriden olan toplam ısı kaybı (W/m ²)
Q_{res}	Solunum ile olan toplam ısı kaybı (W/m ²)
t_a	Ortam sıcaklığı (°C)
t_{ex}	Dışarı atılan havanın sıcaklığı (°C)
W	Yapılan mekanik iş (W/m ²)

W_a Solunan çevre havasının özgül nemi (kg H₂O/kg kuru hava)

W_{ex} Dışarı atılan havanın özgül nemi (kg H₂O/kg kuru hava)

Kaynaklar

- [1] Ö. Kaynaklı, R. Yamankaradeniz, "Anlık Enerji Dengesi Modeli İle Isıl Konfor Şartlarının Simülasyonu", F.Ü. Fen ve Müh. Bil. Der. 15 (4), 601-612, (2003).
- [2] E. Şimşek, M. Bilgili, Y. Polat, "İklimlendirme Esasları", Ç.Ü. Adana MYO Yayınları, Yayın No: 62, Adana, (2004).
- [3] ASHRAE Temel El Kitabı, (Çeviri: T. Derbentli, O.F. Genceli), Bölüm 8, "Fizyolojik İlkeler ve Isıl Konfor", Tesisat Mühendisliği Derneği, Teknik Yayınlar: 2, İstanbul, (1997).
- [4] M. Tunç, U. Çamdalı, S. Çıkrıkçı "Tıpta Biyoyısı Uygulaması", Mühendis ve Makina, 534, Temmuz (2004).
- [5] K. Öngel, H. Mergen, "Isıl Konfor Parametrelerinin İnsan Vücudundaki etkilerine Yönelik Literatür Taraması", S.D.Ü. Tıp Fak. Derg. 16(1), 21-25, (2009).
- [6] Ö. Kaynaklı, İ. Atmaca, M. Kılıç, "Giyisi Isıl Direnç Faktörünün İnsan Konforu Açısından Değerlendirilmesi", Mühendis ve Makine, 46 (543), 20-28, (2005).
- [7] M. Toksoy, "Isıl Konfor", I. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, (1993). <http://www.mmo.org.tr/resimler/ekler/3dd49b4fdb9bede_ek.pdf?dergi=151>
- [8] N. Çelik, Y. Bayazıt, "İnsan Vücudunun Modellenmesinde Kişisel Değişikliklerin Termo-Regülasyon Üzerindeki Etkileri", Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 28, 17-22, (2008).
- [9] P.O. Fanger, "Thermal Comfort analysis and applications in environmental engineering", McGraw-Hill, New York, (1970).
- [10] P.O Fanger, "Thermal Comfort", Robert E. Krieger Publishing Company, Malabar, FL, (1982).
- [11] Ö. Kaynaklı, R. Yamankaradeniz, "Isıl Konfor Parametrelerinin Optimizasyonu", Mühendis ve Makine, 515, Aralık, (2002).