



**Bu bir MMO
yayıdır**

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

İKLİMLENDİRİLEN ORTAMLARDA SOĞUK YÜZEYLERİN ISIL KONFOR ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

**İBRAHİM ATMACA
SEZGİ KOÇAK SOYLU
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**

**MEHMET KEMER
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ**

İKLİMLENDİRİLEN ORTAMLARDA SOĞUK YÜZEYLERİN ISIL KONFOR ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Analysis of Cold Surface Effect on Thermal Comfort in Conditioned Environments

İbrahim ATMACA
Sezgi KOÇAK SOYLU
Mehmet KEMER

ÖZET

Isıl konfor, ısı çevreden memnun olunan düşünce hali olarak tanımlanır. İklimlendirilen ortamlarda soğuk yüzeylerin varlığı, bu ortamda bulunan kişiler için ısıl konforsuzluğa neden olabilecek faktörlerden biridir. Isıl konforu etkileyen 4 çevresel ve 2 kişisel parametreden bir tanesi olan ortam ışınım sıcaklığı, soğuk yüzeylerin varlığına bağlı olarak değişime uğrar. Ortam ışınım sıcaklığındaki değişimler ise bu hacimde bulunan kişiler için konforsuzluk hissi ile sonuçlanabilmektedir. Bu durumun etkisinin incelenmesi amacıyla bu çalışmada, iklimlendirilen ortamlarda soğuk yüzeylerin varlığının ısıl konfor üzerine etkisi teorik ve deneysel olarak araştırılmıştır. Teorik analizlerde, vücudu 16 parçaya ayırarak inceleme yapabilen 2-noktalı Gagge modeli kullanan simülasyondan faydalanılmıştır. Deneysel olarak yapılan incelemede ise sabit sıcaklık, nem ve hava hızına sahip iklimlendirilen bir ortamda soğuk bir yüzey oluşturulmuş ve bu soğuk yüzey nedeniyle ortamda bulunan kişilerin farklı vücut parçalarında oluşan sıcaklık asimetrisi termal kamera ile tespit edilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, ortam standartlarında önerilen çevresel parametrelerde olsa bile ortam ışınım sıcaklığının değişimine neden olan soğuk kaynakların konforsuzluk oluşturabileceğini göstermesi açısından önemlidir.

Anahtar kelimeler: Soğuk yüzey, ısıl konfor, ışınım sıcaklığı

ABSTRACT

Thermal comfort is that condition of mind that expresses satisfaction with the thermal environment. The presence of cold surfaces in air-conditioned environments is one of the factors that can cause thermal discomfort for people in the environment. Radiant temperature, one of 4 environmental and 2 personal parameters affecting thermal comfort, changes depending on the presence of cold surfaces. Changes in the radiant temperature can cause discomfort for people in the air-conditioned environment. This study aims to investigate considered effect by doing an experimental and theoretical research on the impact of cold surfaces in conditioned spaces on thermal comfort. In theoretical analysis, a simulation using the 2-point Gagge model, which can examine the body by dividing it into 16 parts, has been utilized. For experimental investigation, a cold surface is created inside conditioned space with constant temperature, humidity and air velocity thus, the temperature asymmetry on different body parts of test subjects are determined by a thermal camera. The results of the study are important in a way that it shows even if the conditioned space has suggested environmental parameters recommended in standards, it may still lead to discomfort due to change in radiant temperature caused by cold surfaces.

Keywords: Cold surface, thermal comfort, radiation temperature

1. GİRİŞ

Isıl konfor “ısıl çevreden memnun olunan düşünce hali” olarak tanımlanmaktadır. Kişiye göre değişimler, yaş, ortama uyum sağlama, cinsiyet ve hava akımı (cereyan) gibi detay noktalar dışında konfora etki eden en temel faktörler kişisel ve çevresel parametreler olarak iki grup altında toplanabilir. Kişisel parametreler;

- Kişinin giyinme durumu,
- Kişinin aktivite düzeyi

çevresel parametreler ise;

- Ortam sıcaklığı,
- Ortam bağıl nemi,
- Ortamdaki hava hızı,
- Ortamdaki çeşitli yüzeylerin sıcaklığına bağlı olarak ortalama ışınım sıcaklığı

olarak sıralanabilir [1].

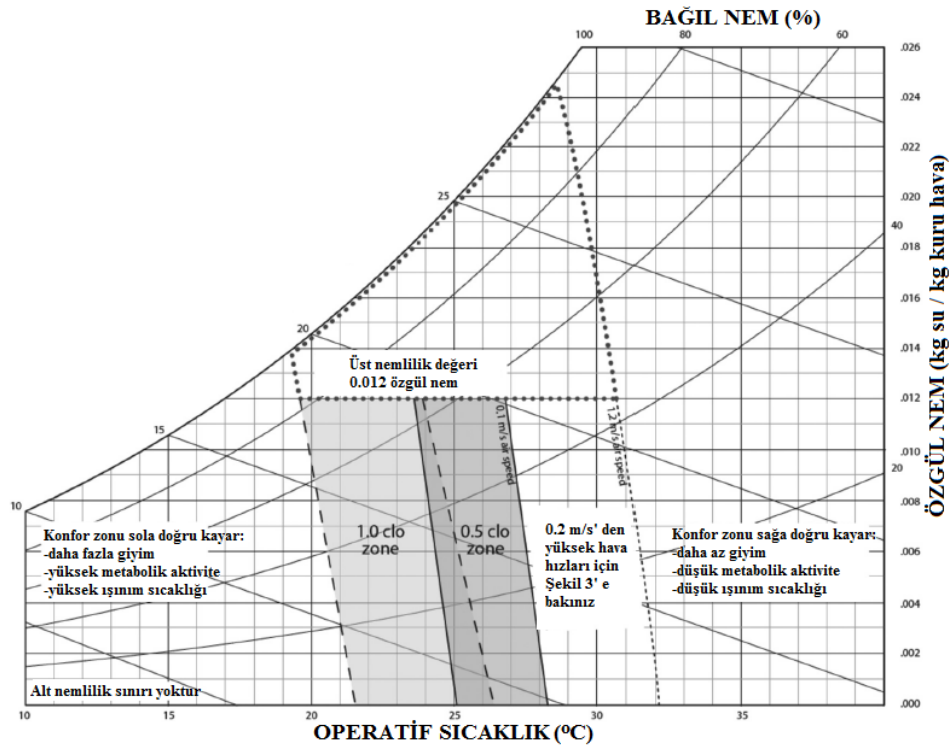
Isıl konfor için kabul edilebilir aralıklar ASHRAE Standart 55-2013 [2] ve ISO 7730: 2005 [3] gibi uluslararası standartlarda verilmektedir. Her 2 standart da ısı konfor değerlendirmesini tahmini ortalama oy (PMV – Predicted Mean Vote) indeksi ile yapmaktadır. PMV, geniş bir insan grubunun ısı ortama verdiği tepkiyi ortalama olarak tahmin edebilen 7 noktalı ölçeğe dayalı bir ısıl duyum indeksidir. Bu noktalar şu şekilde ifade edilir;

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

ASHRAE Standart 55’ in başlığı olan “Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy” dilimize “ Yaşam alanları için ısıl 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 grafik ile verilmektedir. Bu grafik Şekil 1.’ de sunulmuştur. Grafikteki konfor aralıkları hava hızının 0.2 m/s’ yi geçmemesi kaydı ile 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 “Ergonomics of the thermal comfort – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria” ise dilimize “Isıl konfor ergonomisi – PMV ve PPD indekslerinin hesaplanması ve yerel ısı konfor kriterleri kullanılarak ısı konforun analitik belirlenmesi ve yorumlanması” olarak çevrilebilir. ISO 7730’ da 2 amaç hedeflenmiştir. Birincisi ortalama (aşırı uç noktalara kaçmayan) ısıl çevrelere maruz insanlar için, ısı his (PMV) ve ısıl memnuniyetsizliğin (PPD) derecesinin tahmini için bir metot sunmak iken diğeri ise konfor için kabul edilebilir ısıl çevre şartlarını belirlemektir. Bu standartta, çeşitli metabolik aktivite düzeyleri ve giysi yalıtım değerleri için %50 bağıl nem durumunda, farklı hava hızı değerlerinde PMV indeksinin alacağı değerler de tablolar halinde sunulmaktadır. Bahsedilen PMV değeri tabloları standartta şu aralıklar için mevcuttur:

- $0 \text{ clo} \leq I_{cl} \leq 2 \text{ clo}$
- $46.4 \text{ W/m}^2 = 0.8 \text{ met} \leq M \leq 232 \text{ W/m}^2 = 4 \text{ met}$
- $v \leq 1 \text{ m/s}$



Şekil 1. Operatif sıcaklık ve nem için kabul edilebilir aralıklar [2].

Tablo 1.' de ofis gibi çalışma ortamlarında hafif aktiviteler için geçerli ısı konfor aralıkları 0.5 clo yazlık giyim ve 1 clo kışık giyim şartlarında örnek olarak sunulmuştur. Konfor aralığı olarak ± 0.5 PMV değeri alındığında gerekli operatif sıcaklık değerleri tabloda görülmektedir.

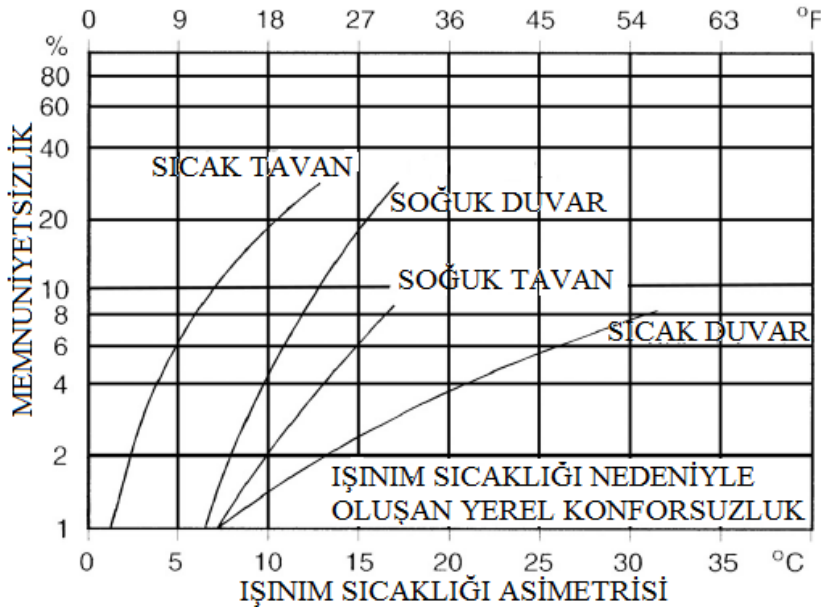
Tablo 1. Ofis çalışma ortamları gibi hafif aktiviteler için ISO 7730: 2005' de verilen konfor aralıkları [3].

Giyim		Operatif sıcaklık °C	Hava hızı m/s										
clo	$m^2 \cdot K/W$		< 0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00			
0,50	0,078	18	-2,01	-2,01	-2,17	-2,38	-2,70						
		20	-1,41	-1,41	-1,58	-1,76	-2,04	-2,25	-2,42				
		22	-0,79	-0,79	-0,97	-1,13	-1,36	-1,54	-1,69	-2,17			
		24	-0,17	-0,20	-0,36	-0,48	-0,68	-0,83	-0,95	-1,35			
		26	0,44	0,39	0,26	0,16	-0,01	-0,11	-0,21	-0,52			
		28	1,05	0,98	0,88	0,81	0,70	0,61	0,54	-0,31			
		30	1,64	1,57	1,51	1,46	1,39	1,33	1,29	1,14			
		32	2,25	2,20	2,17	2,15	2,11	2,09	2,07	1,99			
		1,00	0,155	16	-1,18	-1,18	-1,31	-1,43	-1,59	-1,72	-1,82	-2,12	
				18	-0,75	-0,75	-0,88	-0,98	-1,13	-1,24	-1,33	-1,59	
20	-0,32			-0,33	-0,45	-0,54	-0,67	-0,76	-0,83	-1,07			
22	0,13			0,10	0,00	-0,07	-0,18	-0,26	-0,32	-0,52			
24	0,58			0,54	0,46	0,40	0,31	0,24	0,19	0,02			
26	1,03			0,98	0,91	0,86	0,79	0,74	0,70	0,58			
28	1,47			1,42	1,37	1,34	1,28	1,24	1,21	1,12			
30	1,91			1,86	1,83	1,81	1,78	1,75	1,73	1,67			

Her 2 standartta sunulan konfor aralıklarına etkileyen birçok parametre mevcuttur ve bunların etkisi bu standartlarda detaylarıyla tartışılmıştır. Yine her 2 standartta da geçerli konfor aralıkları, ışınım ve çevre sıcaklığının etkisini birlikte içeren operatif sıcaklık üzerinden verilmekle birlikte sıcak tavan veya cam gibi soğuk yüzeyler nedeniyle oluşan ışınım asimetrisine insanların çok duyarlı olduğu ve bu nedenle konforsuzluk hissedilebildiği de belirtilmektedir. ASHRAE Standart 55-2013' de ışınım sıcaklığı asimetrisinin Tablo 2.' de verilen değerleri aşmaması önerilmektedir. Standartta ışınım asimetrisi dolayısıyla yerel ısı konforsuzluk neticesinde oluşan memnuniyetsizlik yüzdeleri de Şekil 2.' de sunulduğu şekilde verilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi insanlar sıcak tavan veya soğuk duvar nedeniyle oluşan ışınım asimetrisine oldukça duyarlıdır. Tablo 2.' de sunulan izin verilen ışınım asimetrisi limitleri de Şekil 2.' den görülebileceği gibi en fazla %5 memnuniyetsizlik yüzdesine göre tespit edilmiştir. Aynı kıstaslar ISO 7730: 2005' de de sunulmuş olup, bu standartta ayrıca sıcak tavan, soğuk duvar, soğuk tavan ve sıcak duvar için ışınım sıcaklığı asimetrisine bağlı memnuniyetsizlik yüzdelerinin hesabı için gerekli formülasyon da verilmiştir.

Tablo 2. ASHRAE Standart 55-2013' de izin verilen ışınım sıcaklığı asimetrisi [2].

Işınım Sıcaklığı Asimetrisi (°C)			
Tavan Zeminden daha sıcak	Tavan Zeminden daha serin	Duvar Havadan daha sıcak	Duvar Havadan daha serin
<5	<14	<23	<10



Şekil 2. Işınım sıcaklığı asimetrisi nedeniyle oluşan yerel konforsuzluk [2].

Atmaca ve Koçak [4], yaptıkları çalışma ile sıcak yüzeyler nedeniyle oluşan ışınım asimetrisinin sonuçlarını teorik ve deneysel olarak incelemişlerdir. Bu çalışmada ise iklimlendirilen ortamlarda soğuk yüzeylerin varlığının ısı konfor üzerine etkisi yine teorik ve deneysel olarak araştırılmıştır. Teorik analizlerde, vücudu 16 parçaya ayırarak inceleme yapabilen 2-noktalı Gagge modeli kullanan simülasyondan faydalanılmıştır. Deneysel olarak yapılan incelemede ise sabit sıcaklık, nem ve hava hızına sahip iklimlendirilen bir ortamda soğuk bir yüzey oluşturulmuş ve bu soğuk yüzey nedeniyle ortamda bulunan kişilerin farklı vücut parçalarında oluşan sıcaklık asimetrisi termal kamera ile tespit edilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, ortam standartlarında önerilen çevresel parametrelerde olsa bile ortam ışınım sıcaklığının değişimine neden olan soğuk kaynakların konforsuzluk oluşturabileceğini göstermesi açısından önemlidir.

2. TEORİK MODEL ve SİMÜLASYON

Soğuk yüzeylerin vücut sıcaklıkları üzerindeki lokal etkisini görebilmek için 16 parçalı 2 – bölmeli Gagge modeli kullanılmıştır. Yani bilinen 2 - bölmeli Gagge modeli 16 ayrı vücut parçasına uygulanarak teorik model oluşturulmuş ve simüle edilmiştir. Modele ilişkin temel ifadeler Tablo 3.' de sunulmuştur. Teorik modele ait detaylara Atmaca ve Koçak [4], Atmaca [5], Atmaca ve Yiğit [6] ve Atmaca ve ark. [7]' dan ulaşılabilir. İlgili kaynaklarda modelin geçerliliği ve güvenilirliği de gerek literatür ile yapılan karşılaştırmalar gerekse deneysel veriler ile yapılan kıyaslar ile gösterilmiştir. Model ışınım hesaplamalarını yaparken hem vücut parçalarının çevre yüzeyler ile olan hem de vücut parçalarının kendi aralarında yaptıkları ışınım ile ısı transferini dikkate almakta, detaylı bir ışınım ile ısı geçiş analizini gerçekleştirmektedir. Soğuk yüzeylerin etkisi incelendiğinde ortamın ısıtıldığı dikkate alınarak klasik kışlık giyim (1 clo) halindeki insan için yapılan analizler değerlendirilmiştir. İnsanın ısı çevreye verdiği tepkilerin tayinini sağlayan teorik model Compaq Visual Fortran 6 programı kullanılarak simüle edilmiştir. Soğuk yüzeyler nedeniyle meydana gelen ışınım asimetrisi sebebiyle oluşan memnuniyetsizlik yüzdeleri ise soğuk duvar için,

$$PD = \frac{100}{1 + \exp(6.61 - 0.345\Delta t_{pr})} \quad \Delta t_{pr} < 15^{\circ} C \quad (1)$$

soğuk tavan için,

$$PD = \frac{100}{1 + \exp(9.93 - 0.50\Delta t_{pr})} \quad \Delta t_{pr} < 15^{\circ} C \quad (2)$$

ifadesiyle tespit edilebilmektedir [3].

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneyler sıcaklık, nem ve hava hızı değerleri sabitlenebilen yaklaşık 20 m² taban alanına sahip bir odada gerçekleştirilmiştir. Odada iç ortam şartları VRF klima sistemi ile sabitlenebilmektedir. Soğuk yüzey ışınım etkisini gözlemleyebilmek için deneğin sol tarafına soğuk yüzey pano yerleştirilmiştir. Yüzey siyaha boyalıdır ve ince bir sac tabakadan ibarettir. Sac tabakanın hemen arkasında evaporatör yüzeyi bulunmaktadır ve pano buhar sıkıştırılmalı mekanik soğutma çevriminin çalıştırılması ile istenen sıcaklık değerine getirilebilmektedir. Oda yaklaşık 25 °C sıcaklık, %35 bağıl neme sahip iken soğuk yüzeyin ortalama 6.6 °C sıcaklıkta olması durumunda testler gerçekleştirilmiştir. Odada mevcut diğer yüzeylerin ise yaklaşık oda sıcaklığında olmasına özen gösterilmiştir. Denekler belirtilen bu şartlar altındaki test odasında 20 dakika oturur konumda bekletilmiş, vücutlarının ısı dengeye gelmesi sağlanmıştır. 20 dakika sonunda termal kamera ile ölçümler yapılarak vücut sıcaklıkları tespit edilmiş, soğuk yüzey kaynaklı ışınım asimetrisi dolayısıyla oluşan lokal farklılıklar ele alınmıştır. Şekilden de görüleceği üzere soğuk yüzey buhar sıkıştırılmalı mekanik soğutma çevrimi destekli siyah bir yüzey ile elde edilirken ortam sıcaklığı, bağıl nemi, hava hızı ve ortam ışınım sıcaklığı ısı konfor ölçüm seti ile sürekli takip edilerek kaydedilmiştir. Ölçümler deneğin arka yan hizasından sürekli olarak izlenmiştir. Denekler test odasına tişört ile alınmış böylece çıplak olan sağ ve sol kol sıcaklıkları termal kamera ile tespit edilerek ışınım sıcaklığının vücutta oluşturacağı asimetrisinin tespiti kolaylaştırılmıştır.

Tablo 3. 16 parçalı 2 – bölmeli Gagge Modeli temel formülleri [4,5,6,7].

Hesaplanan	Formül	Açıklama
Korda depolanan ısı enerjisi	$S_{cr}(i, \theta) = M - W - [C_{res}(i, \theta) + E_{res}(i, \theta)] - Q_{cr,sk}(i, \theta)$ $= [1 - \alpha(\theta)]m(i).c_{p,b} \cdot [dT_{cr}(i, \theta) / d\theta] / A(i)$	i: vücut parçası θ: zaman adımı
Deride depolanan ısı enerjisi	$S_{sk}(i, \theta) = Q_{cr,sk}(i, \theta) - [C(i, \theta) + R(i, \theta) + E_{sk}(i, \theta)]$ $= \alpha(\theta).m(i).c_{p,b} \cdot [dT_{sk}(i, \theta) / d\theta] / A(i)$	α: deri bölgesinde bulunan vücut kütlesi A: DuBois yüzey alanı
Deri sıcaklığının değişimi	$T_{sk}(i, \theta + 1) = T_{sk}(i, \theta) + \frac{S_{sk}(i, \theta).A(i).\Delta\theta}{\alpha(\theta).m(i).c_{p,b}}$	Δθ= 1 saniye
Kor sıcaklığının değişimi	$T_{cr}(i, \theta + 1) = T_{cr}(i, \theta) + \frac{S_{cr}(i, \theta).A(i).\Delta\theta}{[1 - \alpha(\theta)]m(i).c_{p,b}}$	
Deriden duyulur ısı transferi	$C(i, \theta) + R(i, \theta) = [T_{sk}(i, \theta) - T_o(i)] / R_t(i)$	C: Taşınım ile ısı transferi R: Işınım ile ısı transferi
Operatif (eşdeğer) sıcaklık	$T_o(i) = (h_r.T_r(i) + h_c.T_a) / (h_r + h_c)$	h _c : ısı taşınım katsayısı h _r : ışınım ile ısı geçiş katsayısı
Işınım sıcaklığı	$T_r(i) = \sum_{m=1}^N T(m).F(i, m)$	m: ışınım yapan yüzey numarası F: görüş faktörü
Deriden buharlaşma ile olan ısı geçişi	$E_{sk}(i, \theta) = w(i, \theta) \cdot [p_{sk,s}(i, \theta) - p_a] / R_{e,t}(i)$	w: deri ıslaklığı P _{sk,s} : derideki su buharı basıncı P _a : ortam havası su buharı basıncı
Solunumla olan ısı transferi	$C_{res}(i, \theta) + E_{res}(i, \theta) = [0.0014.M.(34 - T_a) + 0.0173.M.(5.87 - p_a)] / A_D$	
Toplam ısı direnci	$R_t(i) = R_a(i) \cdot \frac{r(i,0)}{r(i, nl)} + \sum_{j=1}^{nl} \left[R_{al}(i, j) \cdot \frac{r(i,0)}{r(i, j-1)} + R_f(i, j) \cdot \frac{r(i,0)}{r(i, j)} \right]$	R _a : hava ısı direnci R _{al} : giysiler arasındaki havanın ısı direnci R _f : kumaş ısı direnci
Toplam buharlaşma direnci	$R_{e,t}(i) = R_{e,a}(i) \cdot \frac{r(i,0)}{r(i, nl)} + \sum_{j=1}^{nl} \left[R_{e,al}(i, j) \cdot \frac{r(i,0)}{r(i, j-1)} + R_{e,f}(i, j) \cdot \frac{r(i,0)}{r(i, j)} \right]$	R _{e,a} : hava buharlaşma direnci R _{e,al} : giysiler arasındaki havanın buharlaşma direnci R _{e,f} : kumaş buharlaşma direnci
Vücut üzerindeki toplam ısı yükü	$L(i) = M - W - [C(i) + R(i) + E_{sk}(i) + C_{res}(i) + E_{res}(i)]$	M: metabolik ısı üretimi W: yapılan iş
Tahmini Ortalama Oy	$PMV(\theta) = [0.303 \exp(-0.036M) + 0.028] L_{total}$	PMV bir ısı duyum indeksidir.

4. TEORİK BULGULAR

Bu bölümde ilk önce, hem deneylerde hem de simülasyon sonuçları alınırken kullanılan giysi takımı için, mevcut simülasyon ile hesaplanan ısı ve buharlaşma dirençleri verilecek, elde edilen direnç değerlerinin geçerliliği literatürdeki deneysel sonuçlar ile karşılaştırılarak gösterilecektir. Daha sonra, oluşturulan 16 parçalı 2 bölmeli Gagge modeli ile geliştirilen simülasyondan elde edilen sonuçlar sunulacaktır.

Bahsedilen erkek takım elbise için, her bir vücut parçasına ait ısı ve buharlaşma dirençleri oluşturulan simülasyon ile hesaplanmıştır. Dirençler hesaplanırken ortam sıcaklığı 24 °C, bağıl nemi %50, ortamdaki hava hızı 0.2 m/s ve sakin oturma durumu için metabolik aktivite düzeyi de 60 W/m² olarak alınmıştır. Tablo 4.' de her bir vücut parçası için dış hava tabakası dirençleri de dâhil olmak üzere toplam ısı ve buharlaşma dirençleri verilmiştir.

Tüm vücut için toplam ısı ve buharlaşma dirençleri ($R_{e,t}$ ve R_t) ile dış hava tabakası dirençlerinin çıkarılması ile elde edilen giysilerin ısı ve buharlaşma dirençleri ($R_{e,cl}$ ve R_{cl}) Tablo 5.' de verilmiştir. Modelden elde edilen teorik sonuçlar McCullough ve ark. [8] tarafından yapılan deneysel sonuçlar ile Tablo 5.' de karşılaştırılmış ve uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Tablo 4. Vücut parçaları için toplam ısı ve buharlaşma dirençleri

Vücut parçası	$R_t(i)$ (m ² °C/W)	$R_{e,t}(i)$ (m ² kPa/W)
Sol-sağ ayak	0.377	0.1124
Sol-sağ diz altı ve bacak	0.209	0.0288
Pelvis	0.379	0.0439
Baş / sağ ve sol el	0.285	0.0196
Sol-sağ dirsek altı ve kol	0.125	0.0330
Göğüs ve sırt	0.455	0.0480

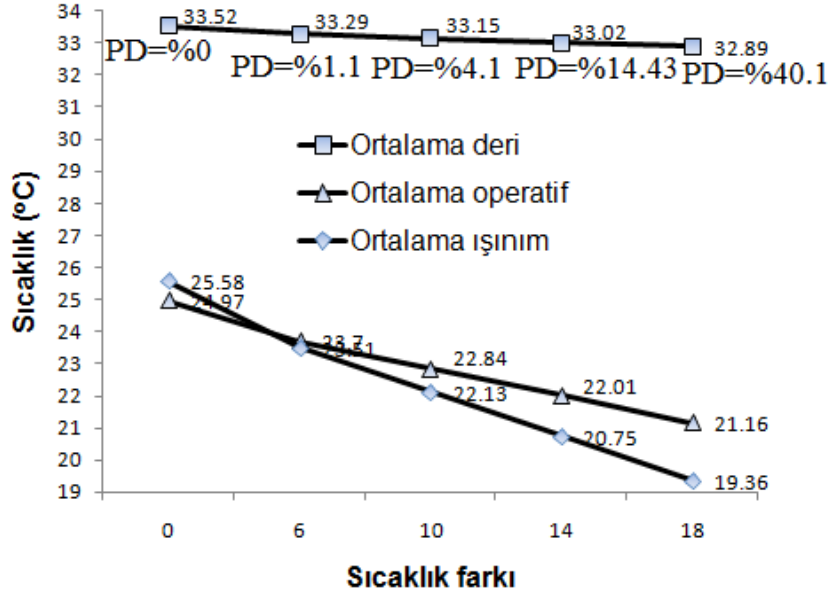
Tablo 5. Erkek takım elbisesi için direnç değerleri ve deneysel sonuçlar ile karşılaştırılması

	R_t m ² °C/W clo	$R_{e,t}$ m ² kPa/W	R_{cl} m ² °C/W clo	$R_{e,cl}$ m ² kPa/W
Teorik	0.255 1.645	0.036	0.146 0.941	0.019
Deneysel*	0.262 1.690	0.044	0.177 1.14	0.033

*Deneysel sonuçlar McCullough ve ark.[8]' dan alınmıştır.

İç ortam hava sıcaklığı, 1 clo giyim durumu için ISO 7730' da PMV=0.02 değerine tekabül eden 24 °C olarak alınmıştır. Soğuk yüzey kaynaklı ışınım sıcaklığının etkisini incelemek için tavan ile ön ve sol duvarın sıcaklıklarının 24 °C olan iç ortam sıcaklığından 6 – 10 – 14 – 18 °C daha düşük olduğu varsayılmıştır. Böylelikle vücut parçalarının etkileyen ışınım ve operatif sıcaklıklar değişmiş, vücut deri sıcaklıklarında asimetrik bir dağılım hâsil olmuştur. Ortalama değerler Şekil 3.' de, farklı vücut parçaları için teorik olarak belirlenen dağılımlar Şekil 4.' de sunulmuştur. Şekil 3.' den açıkça görüldüğü üzere artan sıcaklık farkı ile ortalama ışınım sıcaklığı ve haliyle de ortalama operatif sıcaklık düşmektedir. Buna bağlı olarak da vücut ortalama deri sıcaklığı artan sıcaklık farkı ile azalmaktadır. Ancak bu azalma maksimum 0.63 °C mertebelerindedir. Burada esas önemli olan nokta simetrik vücut parçalarının farklı ışınım sıcaklıklarına maruziyeti sonucu ortaya çıkan asimetrik deri sıcaklıklarıdır ve bu durum Şekil 4.' de farklı vücut parçaları için açıkça görülmektedir. Şekil 4.' de simetrik vücut parçaları olan göğüs – sırt, sol ve sağ diz altı ile sol ve sağ dirsek altı için vücut deri sıcaklıklarının aldığı asimetrik durum görülmektedir. Göğüs, sırt vücut parçasına göre ön duvardan olan soğuk ışınım, sol diz altı ve sol dirsek altı ise sol duvardan olan soğuk ışınımına maruz kalmaktadır. Bu

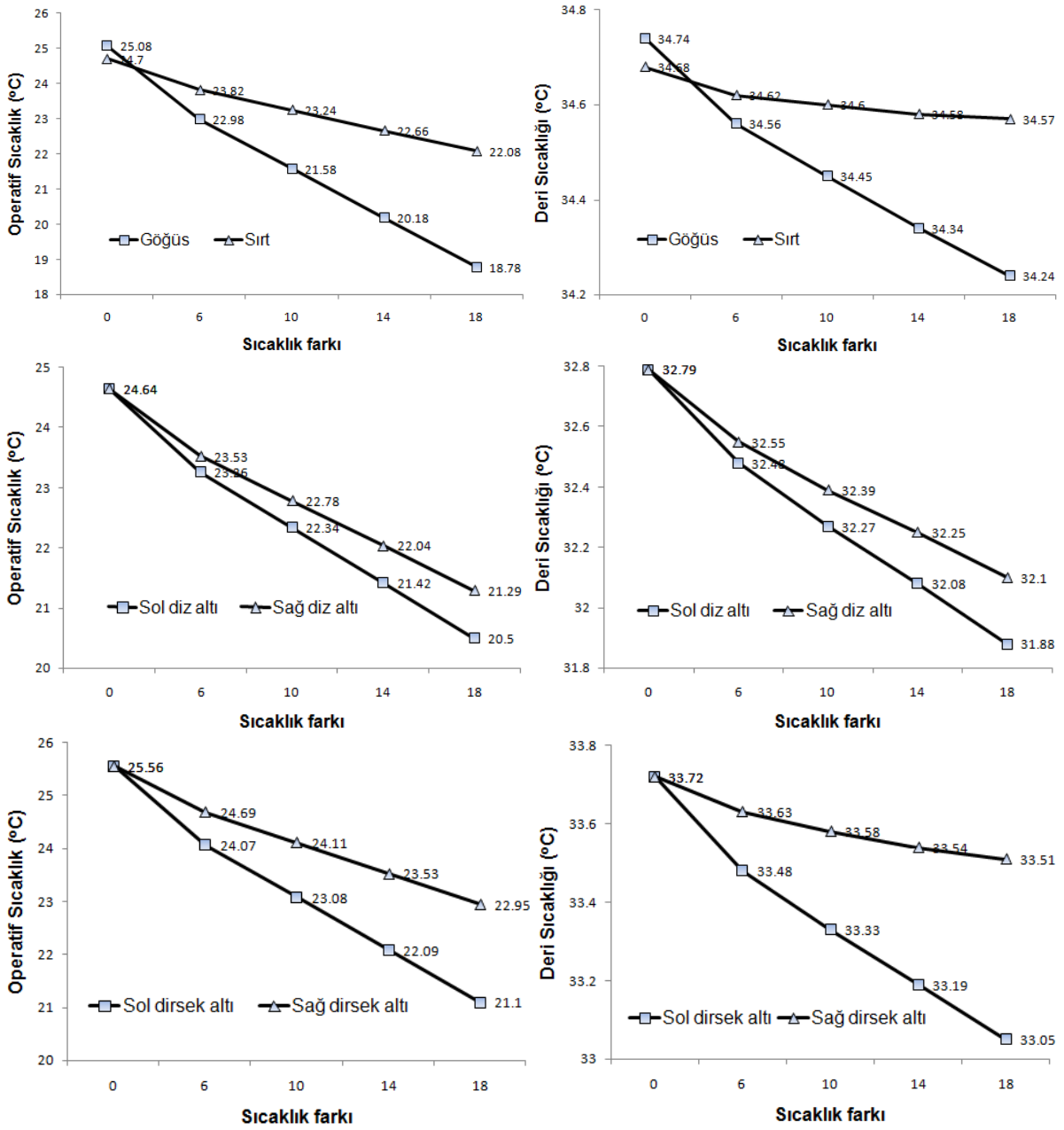
nedenle de bu vücut parçalarına etkiyen operatif sıcaklıklar düşmekte, vücut deri sıcaklıkları da simetrik parçalara göre düşük olmaktadır. Bu durumun soğuk yüzeylere yakın vücut parçalarında yerel konforsuzluğa sebebiyet verebileceği açıktır. Bunun yanı sıra artan sıcaklık farkları ile memnuniyetsizlik yüzdelерinin (PD) de arttığı Şekil 3.' den açıkça görülebilmektedir.



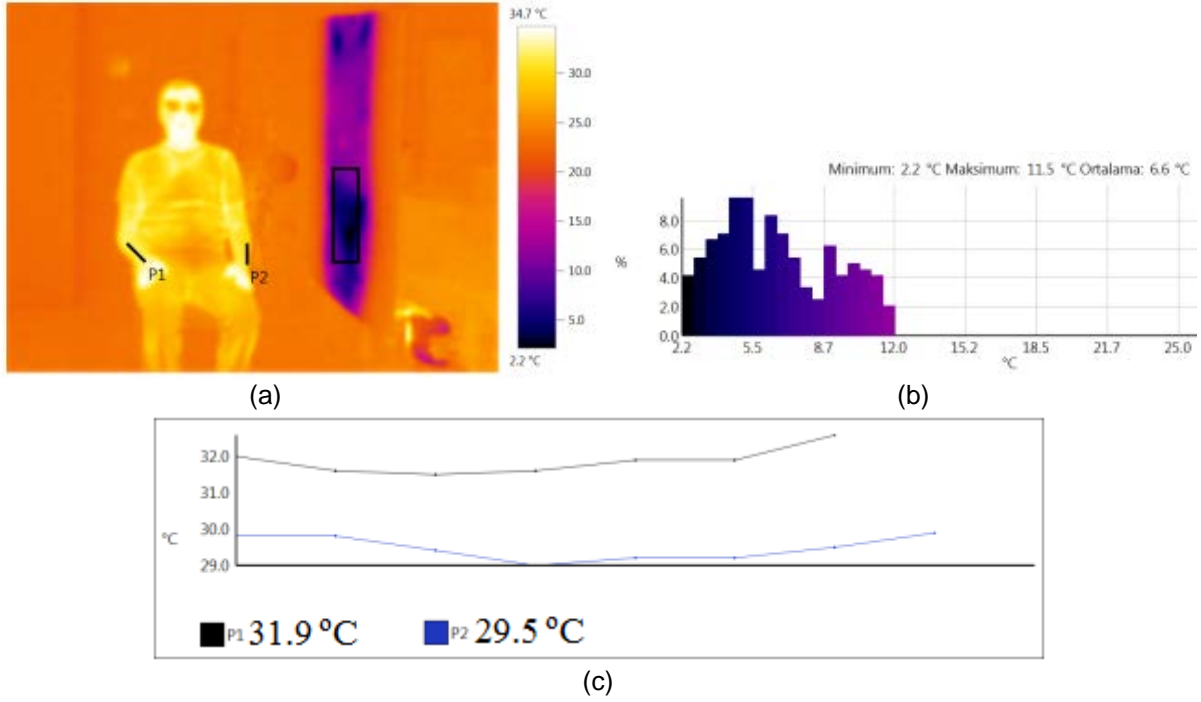
Şekil 3. 24 °C iç ortam sıcaklığı ile soğuk yüzey arasındaki sıcaklık farkının 0 – 6 – 10 – 14 – 18 °C olması durumunda ortalama deri, ortalama operatif ve ortalama ışıınım sıcaklıklarının değişimi

5. DENEYSEL BULGULAR

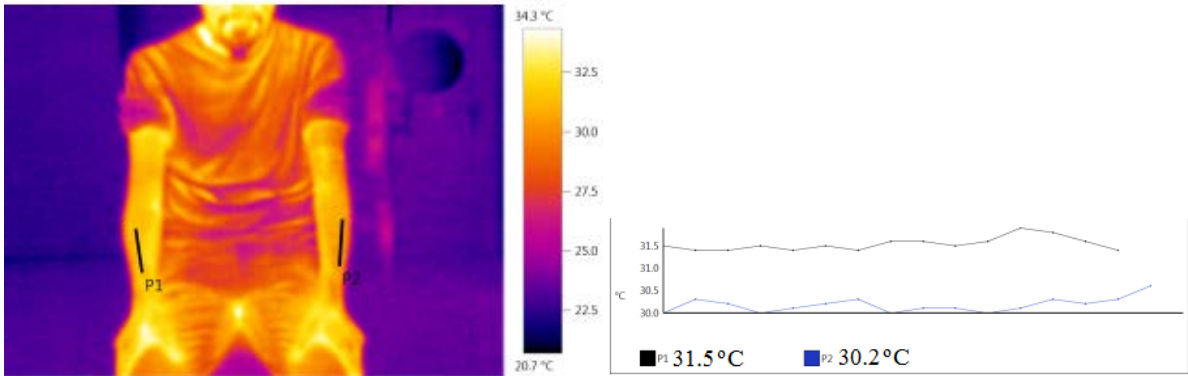
3 farklı denekten elde edilen bulgular Şekil 5, 6 ve 7.' de sunulmuştur. Denek 1 için termal kamaradan tespit edilen sıcaklık dağılımı genel görünümü Şekil 5-a' dan görülebilmektedir. Soğuk yüzey sıcaklığının lokal olarak 2.2 °C ile 11.5 °C arasında değiştiği ve ortalama 6.6 °C olduğu Şekil 5-b' den görülebilmektedir. Bu şartlar altında deneğin simetrik vücut parçaları olan sağ ve sol kol sıcaklıkları Şekil 5-c' de verilmiştir. Şekilden de görülebileceği üzere vücut üzerinde lokal sıcaklık farklılıkları oluşmaktadır. Sağ kol ile soğuk yüzeye yakın sol kol arasındaki ortalama sıcaklık farkları denek 1 için 2.4 °C, denek 2 için 1.3 °C ve denek 3 için 0.6 °C olduğu elde edilen termal kamera görüntülerinden tespit edilebilmektedir.



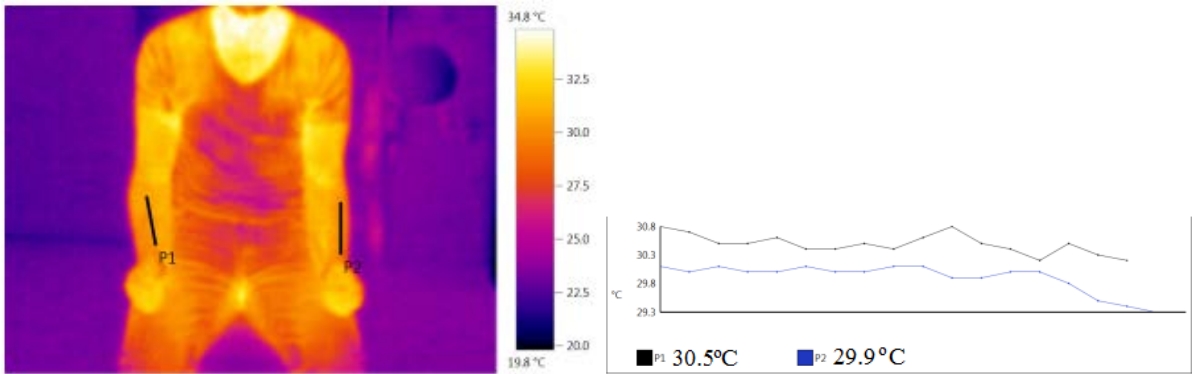
Şekil 4. 24 °C iç ortam sıcaklığı ile soğuk yüzey arasındaki sıcaklık farkının 0 – 6 – 10 – 14 – 18 °C olması durumunda farklı vücut parçalarına etki eden ışıma ve operatif sıcaklıklar ile deri sıcaklıklarının değişimleri.



Şekil 5. Denek 1 için termal kamera ile yapılan tespitler ($T=24.9\text{ }^{\circ}\text{C}$, $BN=\%32.1$, $V=0.15\text{ m/s}$)
a) genel görünüm, b) yüzey sıcaklığının dağılımı ve c) sağ ve sol kol sıcaklıkları.



Şekil 6. Denek 2 için termal kamera ile yapılan tespitler ($T=24.9\text{ }^{\circ}\text{C}$, $BN=\%35.7$, $V=0.17\text{ m/s}$)



Şekil 7. Denek 3 için termal kamera ile yapılan tespitler ($T=24.8\text{ }^{\circ}\text{C}$, $BN=\%36.9$, $V=0.15\text{ m/s}$)

SONUÇ

Çalışmada, ısıtılan ortamlarda oluşabilen soğuk yüzeylerin vücut sıcaklıkları üzerine etkisi teorik ve deneysel olarak incelenmiştir. 2-noktalı Gagge modeli ile oluşturulan simülasyon ile soğuk yüzey kaynaklı ışınımın simetrik vücut parçalarında oluşturduğu farklı sıcaklıklar belirlenmiş, lokal sıcaklık farklılıkları tespit edilmiştir. Benzer sonuçlar termal kamaradan elde edilen bulgular aracılığıyla deneysel olarak da sunulmuştur. Bulgular, soğuk yüzey kaynaklı ışınım sıcaklığının vücut üzerinde lokal sıcaklık farklılıkları oluşturduğunu ve bunun da konforsuzluğa yol açabileceğini göstermesi bakımından önemlidir.

SEMBOLLER

A_D	:DuBois yüzey alanı (m^2)
C	:Taşınım ile olan ısı transferi (W/m^2)
$C_{p,b}$:Vücudün özgül ısısı ($kJ/kg.K$)
C_{res}	:Solunum ile olan taşınım ile ısı transferi (W/m^2)
E_{res}	:Solunumla olan buharlaşma ile ısı geçişi (W/m^2)
E_{sk}	:Deriden toplam buharlaşma ısı kaybı (W/m^2)
F	:Görüş faktörü (boyutsuz)
h_c	:Taşınım ile ısı geçiş katsayısı (W/m^2K)
h_r	:Işınım ile ısı geçiş katsayısı (W/m^2K)
i	:Vücut parçası numarası (boyutsuz)
j	:Giysi katmanı numarası (boyutsuz)
L	:Vücut üzerindeki toplam ısı yük (W/m^2)
M	:Toplam metabolik ısı üretimi (W/m^2)
m	:Vücut kütlesi (kg)
nl	:Toplam giysi tabakaları sayısı (boyutsuz)
P_a	:Ortam havasının su buharı basıncı (kPa)
PMV	: Isıl duyum indisi (boyutsuz)
$P_{sk,s}$:Derideki su buharı basıncı (kPa)
$Q_{cr,sk}$:Kordan deriye olan toplam ısı transferi (W/m^2)
R	:Işınım ile olan ısı transferi (W/m^2)
r	:Yarıçap (m)
R_a	:Dış hava tabakası ısı direnci (m^2C/W)
R_{al}	:Giysi tabakalarının arasındaki havanın ısı direnci (m^2C/W)
R_{cl}	:Giysi takımının ısı direnci (m^2C/W)
$R_{e,a}$:Dış hava tabakası buharlaşma direnci (m^2kPa/W)
$R_{e,al}$:Giysi tabakalarının arasındaki havanın buharlaşma direnci (m^2kPa/W)
$R_{e,cl}$:Giysi takımının buharlaşma direnci (m^2kPa/W)
$R_{e,f}$:Kumaşın buharlaşma direnci (m^2kPa/W)
$R_{e,t}$:Toplam buharlaşma direnci (m^2kPa/W)
R_f	:Kumaşın ısı direnci (m^2C/W)
R_t	:Toplam ısı direnci (m^2C/W)
S_{cr}	:Korda depolanan ısı enerjisi (W/m^2)
S_{sk}	:Deride depolanan ısı enerjisi (W/m^2)
T_a	:Ortam sıcaklığı ($^{\circ}C$)
T_{cr}	:Kor tabakası sıcaklığı ($^{\circ}C$)
T_o	:Operatif sıcaklık ($^{\circ}C$)
T_r	:Işınım sıcaklığı ($^{\circ}C$)
T_{sk}	:Deri tabakasının sıcaklığı ($^{\circ}C$)
w	:Deri ıslaklığı (boyutsuz)
W	:Yapılan iş (W/m^2)
α	:Deri bölgesinde bulunan vücut kütlesi (boyutsuz)
θ	:Zaman (s)

KAYNAKLAR

- [1] ASHRAE handbook – Fundamentals, chapter 8., Atlanta: American Society of Heating, Refrigeration and Air-conditioning Engineers. 29p., 1993.
- [2] ASHRAE, 2013. Standard 55 – “Thermal environmental conditions for human occupancy” American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers.
- [3] ISO, 2005. ISO 7730, “Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria”
- [4] ATMACA, İ., KOÇAK, S., “İklimlendirilen hacimlerde ortam ışınım sıcaklığının ısı konfor üzerine etkisinin teorik ve deneysel olarak incelenmesi”, 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 17 – 20 Nisan 2013, İzmir, 2057 – 2075.
- [5] ATMACA, İ., “Isıl konfor parametrelerinin insan üzerine etkisinin incelenmesi”, Doktora tezi, Bursa, 2006.
- [6] ATMACA, İ., YİĞİT, A., “Predicting the effect of relative humidity on skin temperature and skin wettedness”, Journal of Thermal Biology, 31: 442 – 452, 2006.
- [7] ATMACA, İ., KAYNAKLI, Ö., YİĞİT, A., “Effects of radiant temperature on thermal comfort”, Building and Environment, 42: 3210 – 3220, 2007.
- [8] McCULLOUGH, E.A., JONES, B.W., TAMURA, T., A Database for Determining the Evaporative Resistance of Clothing. ASHRAE Transactions, 95(2): 316 – 328, 1989.

ÖZGEÇMİŞ

İbrahim ATMACA

1979 yılı Antalya doğumludur. 1999 yılında Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünden Lisans, 2002 yılında Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalından yüksek lisans ve 2006 yılında aynı Enstitüden Doktora derecelerini aldı. 2007 yılında Akdeniz Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim dalına Yardımcı Doçent olarak atandı, 2014 yılında Doçent oldu. Güneş enerjisi destekli absorpsiyonlu soğutma sistemleri, güneş enerjisi destekli ısı pompası sistemleri, iklimlendirilen ortamlarda ısı konfor ve iç hava kalitesi, nanoakışkanların çeşitli ısı uygulama alanları, binalarda ısı yalıtımı ve enerji verimliliği, termoelektrik soğutuculu damıtma sistemleri, evaporatif soğutma ile iklimlendirme sistem verimlerinin iyileştirilmesi konularında çalışmalarını sürdürmektedir. Halen Akdeniz Üniversitesinde Termodinamik Anabilim Dalı Başkanı olarak görevini sürdürmektedir. MMO Antalya Şube Başkan vekilliği görevini yürüten İbrahim Atmaca, evli ve bir çocuk babasıdır.

Sezgi KOÇAK SOYLU

1985 yılında Ankara’da doğmuştur. 2009 yılında Akdeniz Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü’nden aldığı lisans derecesinin ardından öğrenimine yine aynı üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsü’nde devam ederek 2012 yılında Master derecesini almaya hak kazanmıştır. Şu anda Akdeniz Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalı’nda araştırma görevlisi olarak görev yapmakta ve doktora öğrenimine devam etmektedir. Araştırma alanlarının arasında nanoakışkanlar ve uygulamaları, ısı pompaları ve güneş enerjisi bulunmaktadır.

Mehmet KEMER

1968 Antalya doğumludur. İlk, orta, lise eğitimini Antalya ‘da tamamlamıştır. Lisans derecesini Akdeniz Üniversitesi, Isparta Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümünden 1990 yılında, Yüksek lisans derecesini, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümünden 1999 yılında almıştır. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Bölümünde doktora eğitimine devam etmektedir. 1994 yılından beri Akdeniz Üniversitesi Teknik Bilimler MYO İklimlendirme-Soğutma Programında Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır.