



**Bu bir MMO  
yayıdır**

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

## **İNSAN VÜCUDUNUN ISIL TAKLİDİ İLE ODA TİPİ BİR OPERATİF SICAKLIK ÖLÇERİN TASARIMI, PROTOTİP İMALATI VE KALİBRASYONU**

**FATİH EVREN**  
HEZARFEN ENERJİ

**BİROL KILKIŞ**  
BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ





# İNSAN VÜCUDUNUN ISIL TAKLİDİ İLE ODA TİPİ BİR OPERATİF SICAKLIK ÖLÇERİN TASARIMI, PROTOTİP İMALATI VE KALİBRASYONU

Fatih EVREN  
Biol KILKIŞ

## ÖZET

Operatif sıcaklık, insan ısı konforunu belirleyen temel çevre sıcaklığı olup; giysi türü, kuru-termometre hava sıcaklığı, çevre yüzey sıcaklıkları, gibi pek çok parametreyi bünyesinde barındırmaktadır. Bu çalışmada oda tipi bir operatif sıcaklık ölçer tasarımı, prototip imalatı ve kalibrasyon deneyleri yapılmıştır. İnsan vücudunun ısı özelliklerini benzeştiren bir mini-manken tasarlanıp imal edilmiş ve oluşturulan algoritma ile operatif sıcaklık ölçümü ile ilişkilendirilerek cihaz prototipi ortaya çıkarılmıştır. Cihazın kalibrasyonu için ANSI/ASHRAE 138 standardı göz önünde bulundurularak operatif sıcaklığın kontrol edilebildiği bir deney odası tasarlanıp kurulmuştur. Oda içerisinde her bir duvarın yüzey sıcaklığı ve hava sıcaklığı bağımsız olarak ayarlanarak operatif sıcaklık kontrollü olarak değiştirilmiş ve prototip kalibrasyonu yapılmıştır. Elde edilen veriler teoriyi doğrular niteliktedir.

**Anahtar Kelimeler:** Operatif sıcaklık, Isıl konfor sıcaklığı, Operatif sıcaklık ölçer, Isıl konfor

## ABSTRACT

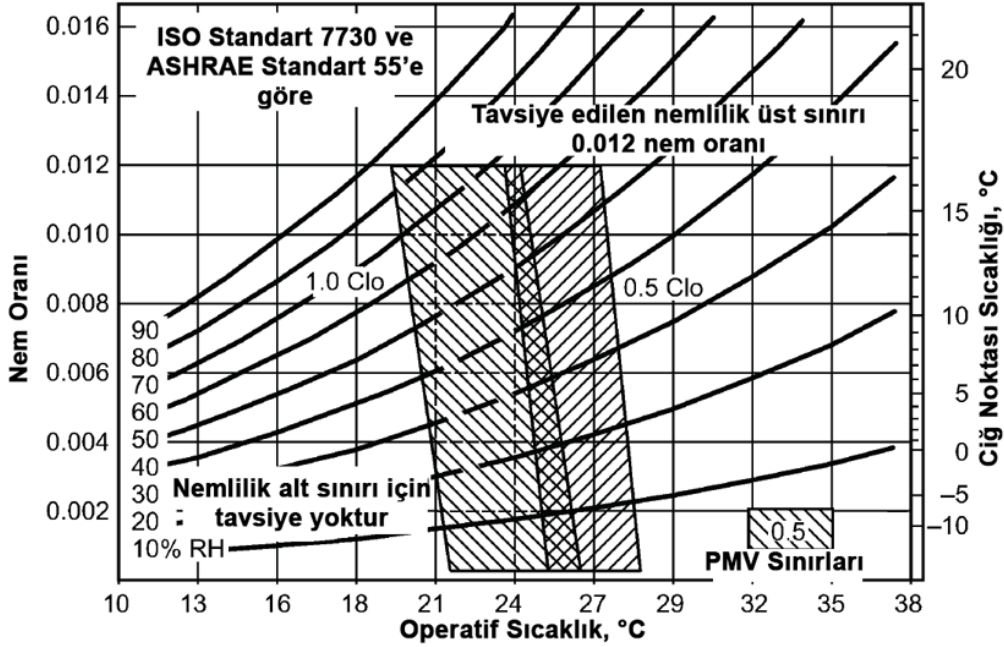
As fundamental determinant of human thermal comfort, operative temperature that consists of many parameters as clothing type, dry-bulb air temperature, environmental surface temperature. In this study, a room type operative temperature sensor is designed, prototype is manufactured and calibration experiments is done. A mini-mannequin is designed which mimics thermal properties of human body and an algorithm is developed which is set connection between mini-mannequin and operative temperature measurement. A test chamber is designed and set up taking into account ANSI/ASHRAE Standard 138 to calibrate prototype. In order to alter operative temperature under control, interior wall surface temperature for each wall of the test chamber and dry-bulb air temperature are adjusted independently. Thus, calibration of prototype is accomplished. Data results are significantly parallel with applied theory.

**Key Words:** Operative temperature, Thermal comfort temperature, Operative temperature sensor, Thermal comfort

## GİRİŞ

Operatif sıcaklık insan bedeninin ısı konforunu belirleyen temel sıcaklık olup, kuru termometre hava sıcaklığı, çevre yüzeylerinin ortalama ışıma sıcaklığı, hava hızı, insanın giysi ve aktivite düzeyini bünyesinde barındırmaktadır. "ISO 7730 - Isıl Çevre Ergonomisi" ve "ASHRAE 55 - İnsanların Kullandığı Mekânlar İçin Isıl Çevre Şartları" standartlarında ısı konfor, operatif sıcaklık üzerinden

tariflenmektedir. Şekil 1'de ASHRAE ısı konfor diyagramı sunulmuştur, diyagramda konfor sıcaklığı bölgesi operatif sıcaklık ile ifade edilmiştir.

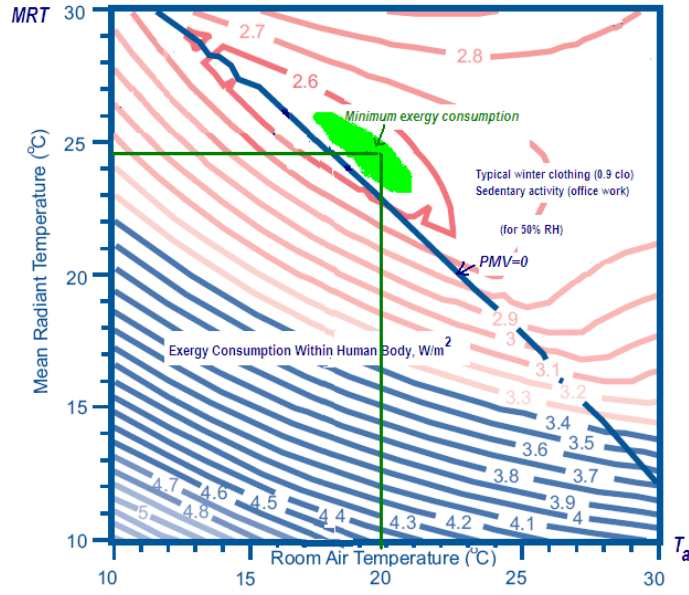


Şekil 1. Yaz ve kış için ısı konfor bölgeleri [1].

Günümüzde operatif sıcaklığı ölçebilecek ucuz, basit ve günlük kullanıma uygun bir cihaz bulunmamakta, ısı konfor sıcaklığı hava sıcaklığına indirgenerek oda termostatları ile ölçülmektedir. Bu durum hem ısı konforu olumsuz etkilemekte hem de HVAC sistemlerinin optimum noktada çalışmasının önüne geçmektedir.

Diğer önemli bir nokta da mevcut standartların ısı konforu sadece insanın çevresi ile olan ısı dengesini niceliksel olarak ele almalarıdır. Oysa insan vücudunun çevresi ile ısı dengesinin yanında ekserji kayıpları da dikkate alınmalıdır. Şekil 2'de insan vücudunun ekserji kaybı diyagramı görülmektedir. Diyagrama göre iç hava sıcaklığı ve ortalama ışınım sıcaklığının optimum bir bileşkesinde insan vücudunun ekserji kaybı minimum olmaktadır. Diyagramda yer alan bileşenler aynı zamanda operatif sıcaklık parametreleridir [2]. Dolayısı ile bir mekânda ısı konfor ölçümünün operatif sıcaklık üzerinden yapılabilmesi enerji dengesi bakımından konforu iyileştireceği gibi insan vücudunun ekserji kaybı da dikkate alınabilmiş olacaktır.

Tüm bu veriler dikkate alındığında bina otomasyon sistemlerinde kullanılacak, ucuz, basit ve yeterli ölçümü alabilecek bir operatif sıcaklık ölçerinin gerekliliği ortaya çıkmaktadır.



Şekil 2. İnsan vücudu ekserji kaybı diyagramı [2].

## TEORİ

### Operatif sıcaklık ölçüm ve hesaplama yöntemleri

Şekil 3'te insan vücudunun çevresi ile etkileşiminin silindirik modeli sunulmuştur. Vücutta üretilen toplam metabolik enerji  $M$  ile gösterilmiştir. Vücudun enerji üretiminin bir bölümü, çevreye karşı kas işi olarak harcanabilir. Çevreye karşı yapılan kas işi,  $W$  ile gösterilmiştir.  $M-W$  ile gösterilen net ısı üretim, ya depolanarak vücut sıcaklığının artmasına neden olur veya deri yüzeyinden ya da solunum ile çevreye yayılır. Deriden duyulur ısı geçişi,  $C+R$  ile gösterilmiş olup; ışınlım,  $R$ , ve taşınım,  $C$ , ile vücuttan toplam duyulur ısı kaybı olarak ifade edilmektedir [1].

İnsan vücudunun çevresi ile ısı denge sağlamak için gerçekleştirdiği ışınlımsal ve taşınımsal ısı transferi ile operatif arasındaki bağıntı Denklem 1'de sunulmuştur [1];

$$C + R = E_B = \frac{t_{sk} - t_o}{R_{cl} + \frac{1}{f_{cl}h}} \quad (\text{W/m}^2) \quad (1)$$

$C+R$ ,  $E_B$ : İnsan vücudundan taşınım ve ışınlımla hissedilir ısı kaybı,  $[\text{W/m}^2]$

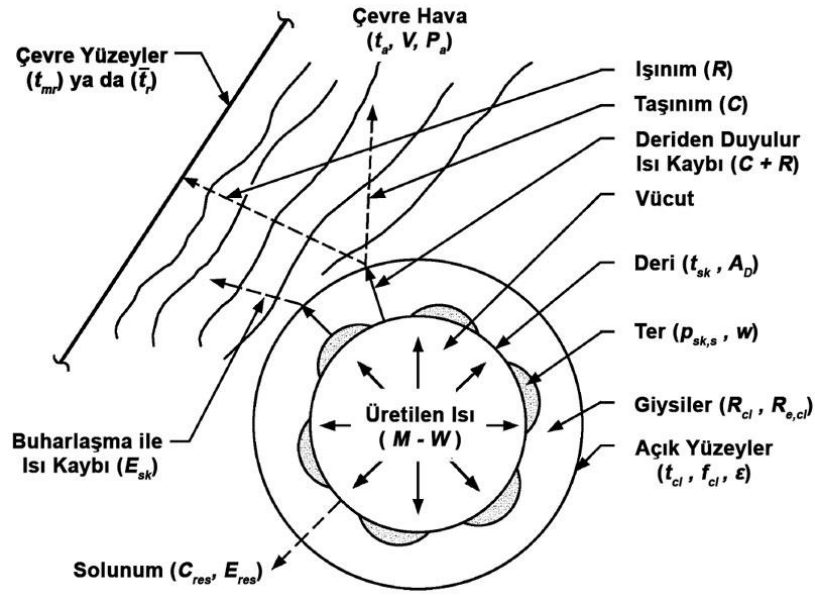
$t_{sk}$ : İnsan derisi yüzey sıcaklığı,  $[^\circ\text{C}]$

$t_o$ : Operatif sıcaklık,  $[^\circ\text{C}]$

$R_{cl}$ : Giysilerin ısı direnci,  $[\text{m}^2\text{K/W}]$

$f_{cl}$ : Giysi alan çarpanı, -

$h$ : Toplam ısı geçiş katsayısı,  $[\text{W/m}^2.\text{K}]$



Şekil 3. İnsan Vücudu ile Çevrenin Isıl Etkileşiminin Silindirik Modeli [1].

Denklemden yer alan toplam ısı geçiş katsayısı,  $h$ , ışınımsal ısı geçiş katsayısı,  $h_r$ , ve taşınımsal ısı geçiş katsayısı,  $h_c$ 'nin toplamıdır [1].

$$h = h_r + h_c \quad (W/m^2.K) \quad (2)$$

$$h_r = 4,7\varepsilon \quad (W/m^2.K) \quad (3)$$

$h_r$ : Işınımsal ısı geçiş katsayısı,  $[W/m^2.K]$

$h_c$ : Taşınımsal ısı geçiş katsayısı,  $[W/m^2.K]$

Işınımsal ısı transferi katsayısı,  $h_r$ , normal iç ortam koşulları için sabit kabul edilebilir. Taşınımsal ısı transferi katsayısı ise çeşitli faktörlere bağlıdır [2].

Operatif sıcaklığın ortamdaki yüzey sıcaklıkları ile ilişkisi Denklem 4'te sunulmuştur [1]. ANSI/ASHRAE Standart 138'e göre kalibrasyon odası özelinde bu eşitlik Denklem 5'te sunulan basitleştirilmiş hali ile kullanılabilir [3].

$$t_o = \frac{h_r t_{mr} + h_c t_a}{h_r + h_c} \quad (^\circ C) \quad (4)$$

$$t_o = \frac{t_{mr} + t_a}{2} \quad (^\circ C) \quad (5)$$

$t_{mr}$ : Ortalama ışınım sıcaklığı,  $[^\circ C]$

$t_a$ : İç hava kuru termometre sıcaklığı,  $[^\circ C]$

Ortalama ışınım sıcaklığını,  $t_{mr}$ , ölçmek için; siyah küre sıcaklık probu, kuru termometre hava sıcaklık probu ve anemometre kullanılabilir. Bu verilerin elde edilebildiği durum için ortalama ışınım sıcaklığı bağıntısı Denklem 6'da sunulmuştur [4].

$$t_{mr} = \left[ (t_g + 273)^4 + \frac{1,10 \times 10^8 V_a^{0,6}}{\varepsilon D^{0,4}} (t_g - t_a) \right]^{1/4} - 273 \quad (^\circ C) \quad (6)$$



$t_g$ : Siyah küre sıcaklığı, [°C]  
 $V_a$ : Hava hızı, [m/s]

$\varepsilon$ : Emisivite (Siyah küre için 0.95), -

$D$ : Siyah küre sıcaklık probu çapı, [m]

Ortalama ışınım sıcaklığı ANSI / ASHRAE Standart 138'de Denklem 7'de görüldüğü şekilde verilmiştir [3]. Bu standart, bir mekânın ısıtılması ya da soğutulması için kullanılan panellerin testi ve kalibrasyonu için gerekli yöntemi içermektedir. Denklem 7'de görülen  $A_{po}$  ve  $t_{po}$  terimleri ANSI / ASHRAE Standart 138'e göre kalibrasyonu yapılan test panelinin etkin yüzey alanını ve yüzey sıcaklığını ifade etmektedir. Bu çalışmada test paneli bulunmayıp mini-manken test edilmektedir. Dolayısı ile  $A_{po}$  ve  $t_{po}$ , mini-manken yüzey alanı ve yüzey sıcaklığını ifade etmektedir ve  $t_{mr}$  değerine etkileri ihmal edilebilecek düzeydedir. Bu durum için yeniden düzenleme yapıldığımda Denklem 8 elde edilmektedir.

$$t_{mr} = \frac{A_1 t_1 + A_2 t_2 + A_3 t_3 + A_4 t_4 + A_{d\bar{o}} t_{d\bar{o}} + A_{ta} t_{ta} + \sum_{i=1}^m (A_{po} t_{po})}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_{d\bar{o}} + A_{ta} + \sum_{i=1}^m (A_{po})} \quad (^\circ\text{C}) \quad (7)$$

$$t_{mr} = \frac{A_1 t_1 + A_2 t_2 + A_3 t_3 + A_4 t_4 + A_{d\bar{o}} t_{d\bar{o}} + A_{ta} t_{ta}}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_{d\bar{o}} + A_{ta}} \quad (^\circ\text{C}) \quad (8)$$

$A_{1,2,3,4}$ : 1, 2, 3, 4 numaralı kalibrasyon odası duvarlarının iç yüzey alanları, [m<sup>2</sup>]

$A_{ta}$ : Kalibrasyon odası tavanının iç yüzey alanı, [m<sup>2</sup>]

$A_{po}$ : Test paneli etkin yüzey alanı (ANSI/ASHRAE 138'e göre), [m<sup>2</sup>]

$t_{po}$ : Test paneli etkin yüzey sıcaklığı (ANSI/ASHRAE 138'e göre), [°C]

$A_{d\bar{o}}$ : Kalibrasyon odası döşemesi iç yüzey alanı, [m<sup>2</sup>]

$T_{1,2,3,4}$ : Kalibrasyon odası duvar sıcaklıkları, [°C]

$t_{ta}$ : Kalibrasyon odası tavan yüzey sıcaklığı, [°C]

$t_{d\bar{o}}$ : Kalibrasyon odası döşeme yüzey sıcaklığı, [°C]

## TEORİ

Biröl KILKIŞ'ın "A Dynamic Operative Temperature Sensor for Low-Exergy High Performance Buildings" adlı çalışmasında Denklem 1'deki ilişki üzerinden çalışabilecek bir operatif sıcaklık ölçer algoritması sunulmuştur. Çalışmada insan ile çevresi arasındaki ısı transferini ve ısı dengelyi benzeştirerek çalışabilecek bir mini-manken tasarımı önerilmiştir [2].

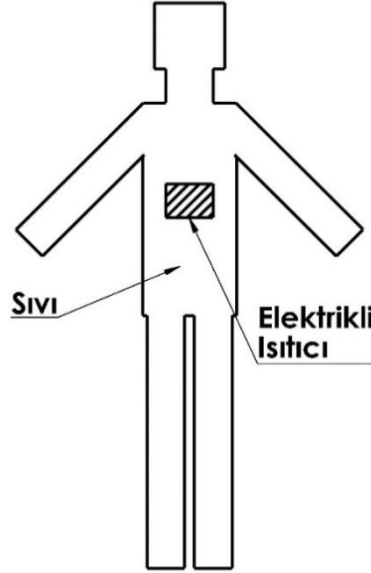
Mini-manken içerisine bir elektrikli ısıtıcı yerleştirilerek, insanın çevresi ile ısı etkileşimi sırasında harcadığı metabolik gücün benzeştirilebileceği belirtilmiştir. Ayrıca mini-manken içerisine insan vücut sıvısını temsil edebilecek bir sıvı doldurularak insan ile benzeşiminin artırılabilceği ifade edilmiştir. Sunulan konseptte solunum, terleme gibi etkilerin ihmal edilebileceği gibi, bu etkilerin modele dâhil edilerek modelin iyileştirilebileceği vurgulanmıştır [2].

Denklem 1'de yer alan  $R_{cb}$ ,  $f_{ch}$  ve  $h$  terimlerinin test koşulları altında deney sabitleri olarak alınmasının mümkün olduğu ifade edilmiştir. Bu durumda  $E_B$  ile  $t_o$  arasındaki ilişkinin lineer olması gerektiği, dolayısı ile kalibrasyon deneyleri neticesinde ortaya çıkacak olan kalibrasyon denklemlerinin de lineer olması gerektiği ortaya konulmuştur [2].

Çalışmada, testlerin ANSI / ASHRAE 138 standardının öngördüğü ortam içerisinde yapılabileceği, testler sırasında manken yüzey sıcaklığının referans değerinde sabit tutulması gerektiği ve ölçüm noktalarının kararlı halde alınması gerektiği ifade edilmiştir [2].

## MİNİ-MANKEN TASARIM VE İMALATI

Bu çalışmada insan vücudunun ısı özelliklerini benzeştirilebilen bir mini-manken tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Deneyler bu mini-manken kullanılarak yapılmıştır. Şekil 4'te mini-manken şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4. Mini-Manken

Mini-manken normal insan boyu ve ağırlığı üzerinden oransal benzeşim ile tasarlanıp imal edilmiştir. Normal insan boyu 1.73 m ve normal insan kütlesi 70 kg olarak kabul edilmiştir. Bu değerlere göre normal insan vücudunun yüzey alanını hesaplamak için DuBois yüzey alanı formülü kullanılmıştır [1].

$$A_{DB} = 0.202m^{0.425}l^{0.725} \quad (m^2) \quad (9)$$

$A_{DB}$ : DuBois yüzey alanı, [ $m^2$ ]

$m$ : kütle, [ $kg$ ]

$l$ : boy, [ $m$ ]

Değerler yerine konulduğunda normal insan çıplak yüzey alanı,  $A_{DB}$ , 1.83  $m^2$  olarak bulunmaktadır. İmal edilen mini-mankenin boyu,  $l_m$ , 12 cm olup, geometrik benzeşim uygulandığında, mini mankenin yüzey alanının 88  $cm^2$  olması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Mini-manken belirtilen boyut ve alan göz önünde bulundurularak bakırdan imal edilmiştir.

Kafkas ırkı insan teninin emisivitesi 0,95'tir [5]. Mini-manken yüzeyi belirtilen emisivite değerine yakın değere sahip olan siyah boya ile boyanmıştır.

## DENEYLER

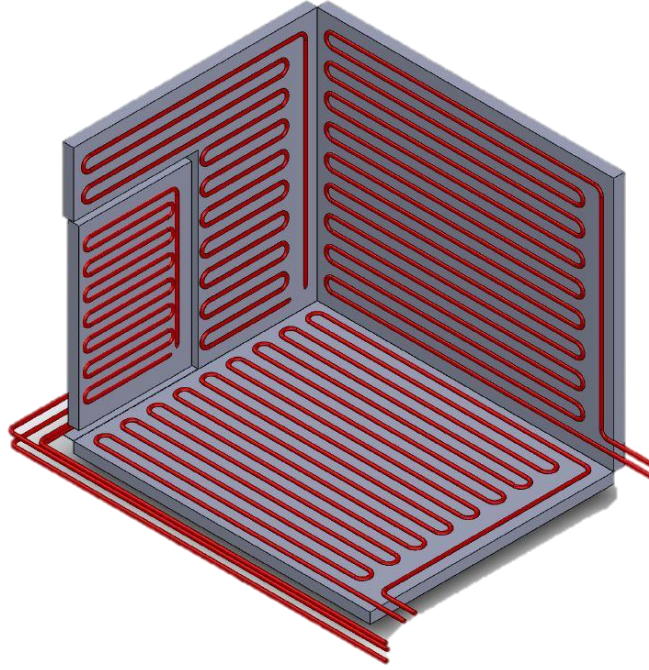
### Deney Düzeneği

Deneyler tüm iç yüzeyleri ışınımsal paneller ile donatılmış özel bir test odasında gerçekleştirilmiştir. Test odası ANSI/ASHRAE 138 standardı göz önünde bulundurularak kurulmuştur. Oda boyutları 2,5 m x 3 m x 2, 8 m'dir.



Işınımsal ısıtma/soğutma yapabilmek için, tüm duvarlara, zemine ve tavana borular döşenmiştir. Standartta hissedilir ısıtma/soğutma yapan tavan panellerinin test edilmesi öngörülmüş ve bu nedenle tavanın ısıtılıp soğutulması istenmemiştir. Bu çalışmada tavana da ısıtma/soğutma boruları döşenerek tüm yüzeylerin sıcaklık kontrolü sağlanmıştır. Şekil 5'te test odası duvarlarına döşenen borular şematik olarak gösterilmiştir.

ANSI/ASHRAE 138'de test odasının yüzeylerinin 0,9 ya da daha yüksek emisiviteye sahip olması gerektiği belirtilmiştir. Bu çalışmada test odası iç yüzeyleri özel bir boya ile boyanarak 0.9 emisivite değeri elde edilmiştir.

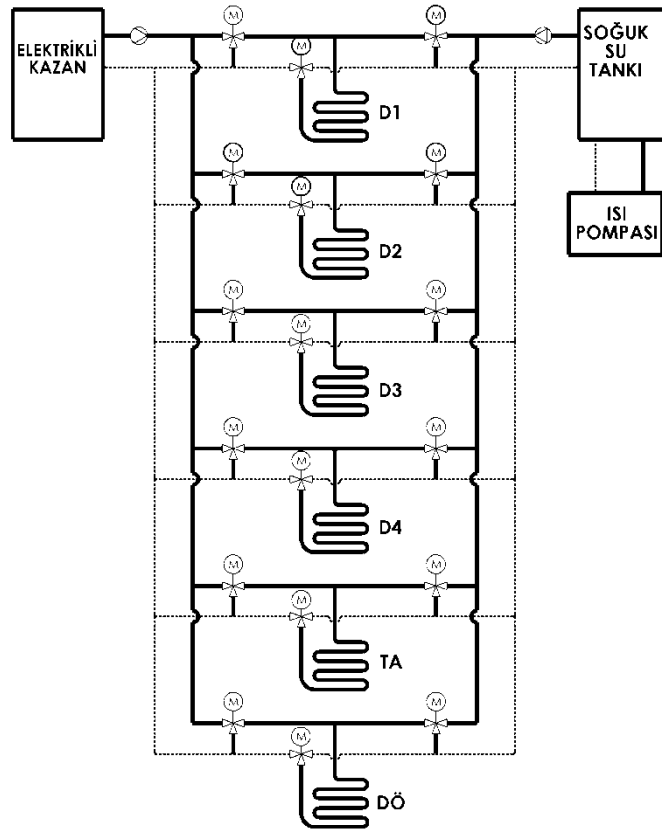


**Şekil 5.** Duvarlara döşenen boruların yerleşimi

Test odası içerisinde yüzey sıcaklıklarının birbirlerinden bağımsız olarak kontrol edilebilmesi için 6 zon oluşturulmuş ve her zon 3 adet otomatik kontrol vanası ile kontrol edilebilecek şekilde tasarlanmıştır. Kontrol vanaları aç/kapa kontrollü olup açıp kapama süresi 10 saniyedir.

8 kW kapasiteli bir ısı pompası kullanılarak soğuk su ihtiyacı karşılanmıştır. Sıcak su ise 3 kW kapasiteli elektrikli kazan kullanılarak elde edilmiştir. Şekil 6'da sistemin mekanik tesisat şeması verilmiştir.

Oda içerisinde 80 noktaya yerleştirilen K tipi ısı-çift ile duvar yüzey sıcaklıkları ölçülebilmektedir.



Şekil 6. Mekanik Tesisat Şeması

Hava sıcaklığı ve hava hızı ölçülebilmesi için oda hacminin orta noktasına sıcak tel anemometresi yerleştirilmiştir. Aynı konuma bir siyah küre sıcaklık probu yerleştirilmiştir.

### Deneylerin Yapılışı

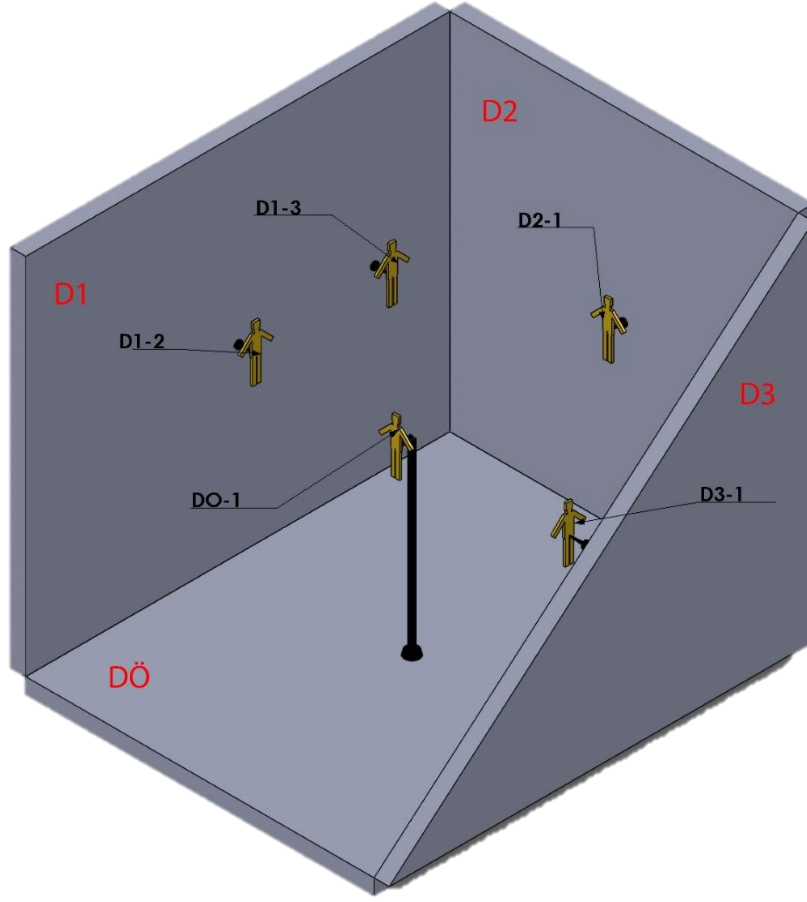
Çalışmada operatif sıcaklık Denklem 6 ve Denklem 8' den elde edilen ortalama ışıınım sıcaklıkları kullanılarak ayrı ayrı hesaplanmış ve kıyaslanarak deney düzeneği doğrulanmıştır. Kalibrasyon odası içerisinde operatif sıcaklık kontrollü olarak değiştirilerek mini-manken yüzey sıcaklığını sabit tutmak için gerekli güç miktarı belirlenmiş ve o andaki operatif sıcaklık değeri, Denklem 5 kullanılarak, hesaplanmıştır.

Operatif sıcaklık ve güç değerleri için en küçük kareler metodu ile doğru denklemleri elde edilmiştir. Bu denklemler üzerinden mini-manken yüzey sıcaklığını sabit tutmak için ısıtıcıya verilen güç miktarı kullanılarak operatif sıcaklık değeri hesaplanabilmektedir.

Deneylerin yapılışı sırasında tüm ölçümler sistem ısıl denge durumuna geldikten sonra alınmıştır. İki ölçüm noktası arasında sistemin ve cihazın ısıl dengeye gelmesi için en az 45 dakika ara verilmiştir.

Şekil 7'de test odası duvar isimlendirmeleri ve ölçüm noktaları görülmektedir. Tüm mini-mankenler düşeyde orta noktada (test odası yüksekliğine göre orta nokta olup, 1,20 m'dir) konumlanmışlardır. Duvara sabitlenmiş olan mini-mankenlerin (D1-2, D1-3, D2-1, D3-1) duvar ile arasındaki mesafe tüm deneylerde sabit olup 15 cm'dir. DO-1 ile isimlendirilen mini-manken oda hacminin orta noktasında bulunmaktadır.

Deneyler tüm duvar sıcaklıklarının eşit ve farklı olduğu durumlarda ayrı olarak gerçekleştirilmiştir. Bu sayede farklı duvar sıcaklıkları altında kalibrasyon eğrilerindeki farklılıklar görülmüştür.

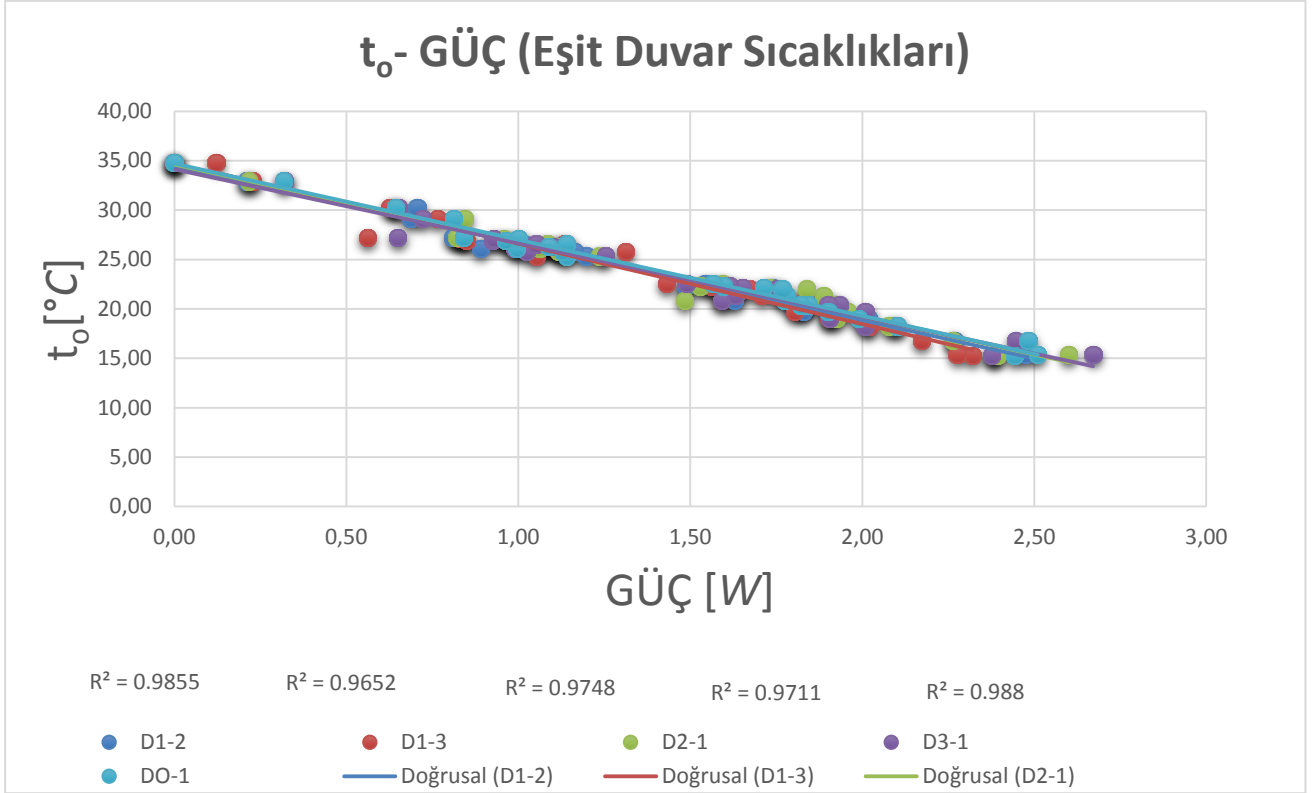


Şekil 7. Kalibrasyon Odası İçerisinde Mini-Manken Konumları

## Deney Sonuçları

### Eşit Duvar Sıcaklıkları

Grafik 1'de ölçüm verilerine uydurulan doğrular verilmiştir. Grafikte beş farklı konumda alınan verilere uydurulan doğrular yer almaktadır. Bu başlık altında ele alınan deneylerde tüm duvar sıcaklıkları birbirlerine eşittir. Herhangi bir duvarın ortalama yüzey sıcaklığının, duvar yüzey sıcaklıkları ortalamasından sapması  $\pm 1,5$  °C aralığındadır.



**Grafik 1.** Test Sonuçları (Eşit Duvar Sıcaklıkları)

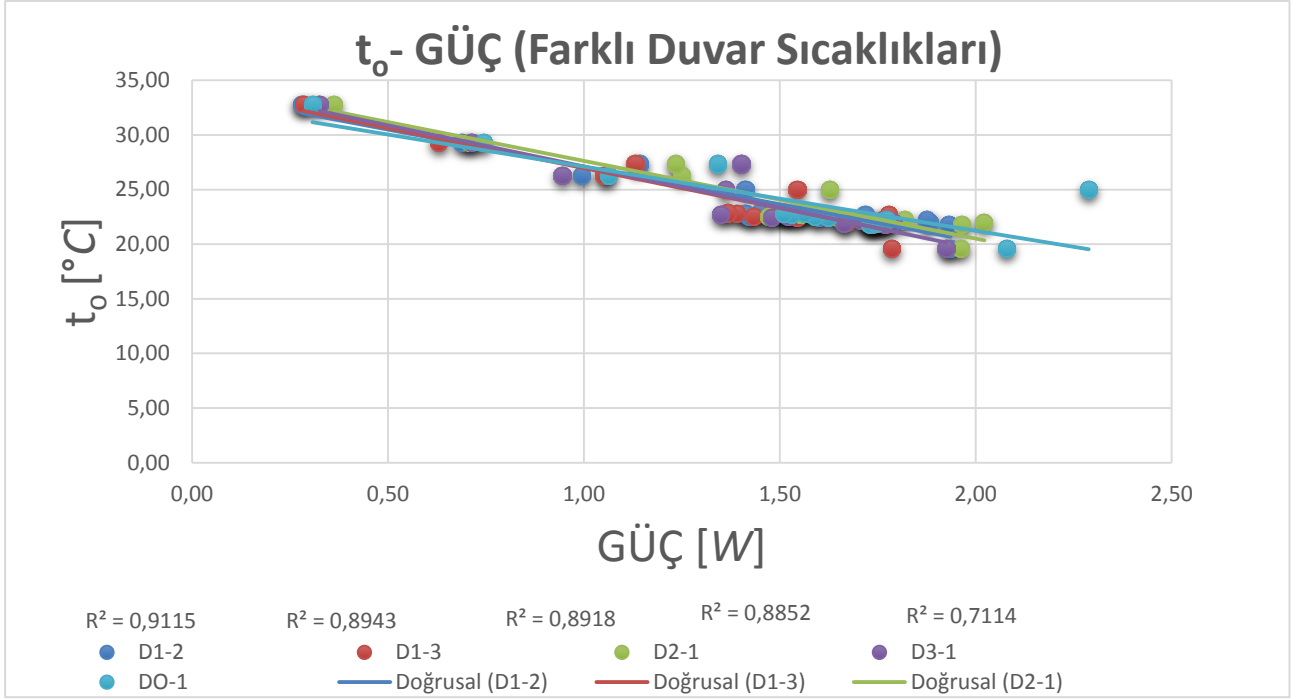
Grafik 1'de yer alan doğruların denklemleri kullanılarak hesaplanan operatif sıcaklık değerleri Tablo 1'de sunulmuştur. Tabloda görüldüğü üzere konumlara bağlı olarak denklemlerden elde edilen operatif sıcaklık değerlerinin ortalamadan sapması  $\pm 0,5$  °C aralığındadır.

**Tablo 2.** t<sub>o</sub> - P değerleri tablosu

P	Konuma Göre Hesaplanan OT [°C]					Ortalama*
	D1-2	D1-3	D2-1	D3-1	DO-1	
0,20	32,93	32,99	33,19	32,76	33,13	33,00
0,40	31,33	31,38	31,59	31,24	31,58	31,42
0,60	29,74	29,76	29,99	29,72	30,02	29,85
0,80	28,15	28,15	28,39	28,20	28,47	28,27
1,00	26,56	26,53	26,79	26,68	26,92	26,70
1,20	24,96	24,92	25,20	25,16	25,36	25,12
1,40	23,37	23,31	23,60	23,64	23,81	23,55
1,60	21,78	21,69	22,00	22,12	22,26	21,97
1,80	20,19	20,08	20,40	20,60	20,70	20,39
2,00	18,59	18,46	18,80	19,08	19,15	18,82
2,20	17,00	16,85	17,20	17,56	17,60	17,24
2,40	15,41	15,24	15,61	16,04	16,04	15,67
2,60	13,82	13,62	14,01	14,52	14,49	14,09

\*Ortalama; Tablo 2'de ilgili satırdaki değerlerin ortalamasını ifade etmektedir.

## Farklı Duvar Sıcaklıkları



**Grafik 2.** Kalibrasyon Grafiği (Farklı Duvar Sıcaklıkları)

Grafik 2'de farklı duvar sıcaklıkları altında ölçüm noktaları ve uydurulan doğrular görülmektedir. Bu grafikte yer alan R<sup>2</sup> değerlerinin Grafik 1'de yer alan değerlere nazaran 1'den daha uzak olduğu görülmektedir. Bu grafikte yer alan ölçüm noktalarında herhangi bir duvar sıcaklığının alan ağırlıklı ortalama yüzey sıcaklığından sapması 8 °C'ye kadar ulaşabilmekte olup duvar sıcaklıkları arasındaki ilişki rastgele seçilmiştir.

## SONUÇ

Deneyler sonucunda ortaya çıkan lineer kalibrasyon grafikleri ile teori doğrulanmıştır. Prototip yaklaşık 30 dakika sonra ısı denge sağlayarak istenilen ölçümü alabilmektedir. Prototipin iyileştirilmesi ile insanın giysi, aktivite düzeyi ve terleme faktörü de ölçüme dâhil edilebilecek bunun yanında ölçüm süresi kısaltılabilecektir.

Eşit duvar sıcaklıkları altında yapılan deneylerde, uydurulan doğruların R<sup>2</sup> değerleri 1'e oldukça yakındır. Prototip cihazların duvar sıcaklıklarının birbirinden çok farklı olan ortamlarda muhtemel davranışını belirleyebilmek için yapılan farklı duvar sıcaklıkları altındaki deneylerde ise R<sup>2</sup> değerleri beklenen şekilde 1'den uzaklaşmış olup denklemlerinin kabul edilebilir olduğu düşünülmektedir.

Yapılan çalışma sonucunda bina otomasyonlarına entegre edilerek oda termostatlarının yerini alabilecek, insan vücudunun ısı özelliklerini benzeştirerek gerçekçi ölçüm alabilen, fiyat bakımından mevcut termostatlarla rekabet edebilecek bir operatif sıcaklık ölçer cihazın prototipi ortaya çıkarılarak konsept doğrulanması yapılmıştır.



## SİMGELER

$A_{1,2,3,4}$	1, 2, 3, 4 numaralı kalibrasyon odası duvarlarının iç yüzey alanları, [m <sup>2</sup> ]
$A_{DB}$	DuBois yüzey alanı, [m <sup>2</sup> ]
$A_{dö}$	Kalibrasyon odası döşemesi iç yüzey alanı, [m <sup>2</sup> ]
$A_{po}$	Test paneli etkin yüzey alanı (ANSI/ASHRAE 138'e göre), [m <sup>2</sup> ]
$A_{ta}$	Kalibrasyon odası tavanı iç yüzey alanı, [m <sup>2</sup> ]
$C+R$	İnsan vücudundan taşınım ve ışınım hissedilir ısı kaybı, [W/m <sup>2</sup> ]
$D$	Siyah küre sıcaklık probu çapı, [m]
$E_B$	İnsan vücudundan taşınım ve ışınım hissedilir ısı kaybı, [W/m <sup>2</sup> ]
$f_{cl}$	Giysi alan çarpanı, -
$H$	Toplam ısı geçiş katsayısı, [W/m <sup>2</sup> .K]
$h_c$	Taşınımsal ısı geçiş katsayısı, [W/m <sup>2</sup> .K]
$h_r$	Işınımsal ısı geçiş katsayısı, [W/m <sup>2</sup> .K]
$l$	Boy, [m]
$l_p$	Ortalama insan boyu, [cm]
$m$	Kütle, [kg]
$P$	Mini-manken' in çevre ile ısı dengeye gelmek için sarf ettiği güç miktarı, [W]
$R_{cl}$	Giysilerin ısı direnci, [m <sup>2</sup> K/W]
$T_{1,2,3,4}$	Kalibrasyon odası duvar sıcaklıkları, [°C]
$t_a$	İç hava kuru termometre sıcaklığı, [°C]
$t_{dö}$	Kalibrasyon odası döşeme yüzey sıcaklığı, [°C]
$t_g$	Siyah küre probu ile ölçülen sıcaklık, [°C]
$t_{mr}$	Ortalama ışınım sıcaklığı, [°C]
$t_o$	Operatif sıcaklık, [°C]
$t_{po}$	Test paneli etkin yüzey sıcaklığı (ANSI/ASHRAE 138'e göre), [°C]
$t_{sk}$	İnsan derisi yüzey sıcaklığı, [°C]
$t_{ta}$	Kalibrasyon odası tavan yüzey sıcaklığı, [°C]
$V_a$	Hava hızı, [m/s]
$\varepsilon$	Emisivite (Siyah küre için 0.95), -

## BİLGİLENDİRME

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırmalar Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenen 2120177 numaralı proje kapsamında gerçekleştirilmiştir.

## KAYNAKLAR

- [1] ASHRAE Temel El Kitabı., “Fizyolojik İlkeler ve Isıl Konfor”, Çeviren: T. DERBENTLİ, Tesisat Mühendisleri Derneği, 1997.
- [2] KILKIŞ, B., “A Dynamic Operative Temperature Sensor for Low-Exergy High Performance Buildings”, ASHRAE Transactions, Vol.116, Part2, pp:108-115, 2009.
- [3] ANSI / ASHRAE Standart 138, “Method of Testing for Rating Ceiling Panels for Sensible Heating and Cooling”, Atlanta, 2013.
- [4] ASHRAE Fundamentals., “MEASUREMENT AND INSTRUMENTS”, American Society of Heating Refrigeration and Air Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, 2009.
- [5] INCROPERA, F. P., “Fundamentals of Heat and Mass Transfer” (6.th ed.), John Wiley & Sons, Inc., 2006.



## ÖZGEÇMİŞ

### Fatih EVREN

2012 yılında Başkent Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünden mezun olmuş ve Hezarfen Enerji Ar-Ge şirketini kurmuştur. Hâlen Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans öğrenimine devam etmektedir. Isıl konfor ve melez klima sistemleri başlıca çalışma alanlarıdır.

### Birol KILKIŞ

Dr. Kılış, 1949 yılında Ankara da doğdu. 1970 yılında ODTÜ Makine Mühendisliği Bölümünden yüksek şeref derecesi ile mezun oldu. Aynı bölümden M. Sc ve Doktor derecelerini alarak von Karman Enstitüsünden Akışkanlar Mekaniği dalında şeref derecesi ile mezun oldu. 1981 yılında TÜBİTAK Teşvik Ödülünü Kazandı. ASHRAE Yüksek Performans Binaları Komitesi üyesi ve ASHRAE TC 7.4 Sürdürülebilir Binalar İçin Ekserji Analizi Teknik Komitesi İkinci Başkanıdır. Diğer beş komitenin de üyesidir. Halen Başkent Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde Profesör kadrosunda hizmet vermektedir. Ayrıca Enerji Mühendisliği Yüksek Lisans Programı Ana Bilim Dalı Başkanı, Avrupa Birliği Güneş Enerjisi Paneli Yönetim Kurulu Üyesidir.

