

# METABOLİK AKTİVİTENİN IŞINIM ETKİSİ ALTINDA ISIL KONFOR ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

*Investigation Of The Effect Of Metabolic Activity On Thermal Comfort Under Radiation Effect*

**Nurullah ARSLANOĞLU**  
**Abdulvahap YİĞİT**

## ÖZET

Bu çalışmada, aydınlatma lambalarından gelen ışınım etkisi altında metabolik aktivite düzeyinin ısı konfor üzerine etkisi incelenmiştir. Isıl konfor üzerinde metabolik aktivite düzeyinin etkisini belirleyebilmek için iki bölmeli anlık enerji dengesi modeli (Gagge modeli) kullanılmış olup, model üzerinde bazı değişiklikler yapılmıştır. Isıl konfor veya konforsuzluk durumu deri sıcaklığı ve ıslaklığı üzerinden değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, deri sıcaklığının ve ıslaklığının metabolik aktivitenin artmasıyla arttığı görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Metabolik aktivite, ışınım, ısı konfor

## ABSTRACT

In this study, the effect of metabolic activity level on thermal comfort under the effect of radiation from the lighting lamps was investigated. In order to determine the effect of metabolic activity on thermal comfort, Gagge's two node model was used and some changes were made on the model. Thermal comfort or discomfort was evaluated with skin temperature and wetness. Consequently, It was observed that the skin temperature and wetness increased with the increase in the level of metabolic activity.

**Keywords:** Metabolic activity, radiation, thermal comfort

## 1. GİRİŞ

Metabolik aktivite düzeyini iç ortamlarda incelemek ısı konfor açısından önemlidir. Yang ve ark. [1] farklı ısı çevre şartlarında insan metabolik hızının dalgalanma aralıklarını incelemişlerdir. Ji ve ark. [2] metabolik aktivite değişimini farklı antreman düzeylerinde incelemişler ve bu değişimin ısı konfor ve duyum üzerine etkisini tanımlamışlardır. Angelova ve ark. [3] ısı konfor üzerine metabolik aktivitenin ve giysi direncinin etkisini hesaplamalı akışkanlar mekaniği ile incelemişlerdir. Uğursal ve ark. [4] ısı konfor üzerine sıcaklığın, metabolik aktivitenin, dinamik hava hareketinin etkisini incelemişlerdir. Luo ve ark.[5] iç ortam ısı şartlarının metabolik aktivite üzerine etkisini incelemişlerdir. Luo ve ark [6] metabolik aktivite ve ısı konfor üzerine derleme çalışma yapmışlardır. Hong ve ark. [7] ofis çalışanlarının saatlik metabolik aktivite değişimlerini dikkate alarak, çalışanların ısı konfor algısını incelemişlerdir. Zhai ve ark.[8] 60 tane lise öğrencisinin ofis aktiviteleri yaparken metabolik aktivite değerlerini ölçmüşlerdir.

Literatürde, aydınlatma sistemlerinden gelen ışınımın etkisi altında metabolik aktivite düzeyinin ısı konfor üzerine etkisini inceleyen hiçbir çalışma mevcut değildir. Bu çalışmada, farklı metabolik aktivite düzeylerinde deri ıslaklığı ve sıcaklığı simülasyon modeli kullanarak hesaplanmıştır. Isıl konfor veya

konforsuzluk durumu deri sıcaklığı ve ıslaklığı üzerinden tartışılmıştır. Simülasyon modeli olarak üzerinde bazı değişiklikler yapılmış 2 bölmeli anlık enerji dengesi modeli (Gagge) [9-11] kullanılmıştır.

## 2. MATEMATİKSEL MODEL

Matematiksel modelde faydalanılan denklemler, Matlab programına aktararak simülasyon programı geliştirilmiştir. Simülasyon modeli, yaz şartlarında insan vücudu ve çevresi arasında ısı ve kütle transferini hesaplayabilme ve belirlenen süre sonunda deri ıslaklığı, kor ve deri sıcaklığını elde edebilme imkanı sağlamaktadır. Daha önce literatürde mevcut çalışmalarda Gagge modeli tüm vücuda uyarlanmıştır, bu simülasyon modelinde ise vücut 16 parçaya ayrılmıştır. Her bir parça kor ve deri, giysi tabakasından oluşmaktadır. Kor ve deri tabakası için kullanılan ısı depolama denklemleri aşağıdaki gibidir [11].

$$S_{kor}(i, \theta) = M - W - [C_{solunum}(i, \theta) + E_{solunum}(i, \theta)] - Q_{kor,deri}(i, \theta) \quad (1)$$

$$S_{deri}(i, \theta) = Q_{kor,deri}(i, \theta) - [C(i, \theta) + R(i, \theta) + E_{deri}(i, \theta)] \quad (2)$$

Burada M metabolik ısı enerji üretimi veya metabolik aktivite düzeylerini gösterir. Bu çalışmada farklı metabolik aktivite düzeylerinin ısı konfor üzerine etkisi incelendiğinden, farklı metabolik aktivite düzeyleri Tablo 1' de sunulmuştur. W yapılan mekanik işi, C taşınım ile ısı geçişini, E buharlaşma ile olan ısı geçişini, Q kor tabakasından deri tabakasına olan iletim ve kan akışı ile olan taşınım ile ısı geçişinin toplamı, R ışınım ile ısı geçişini ifade etmektedir. Bu çalışma kapsamında Gagge modelinde yapılan diğer bir değişiklik, simülasyon modeline ışınım ısı akısının ilave edilmesidir. Bu çalışmada ışınım ısı akısının sadece deri tabakasını etkilediği varsayılmıştır. Işınım ısı akısı simülasyona aşağıdaki gibi ilave edilmiştir.

$$S_{deri}(i, \theta) = Q_{kor,deri}(i, \theta) + Q_{ışınım,deri}(i) - [C(i, \theta) + R(i, \theta) + E_{deri}(i, \theta)] \quad (3)$$

Işınım ısı akısı değerleri deneysel olarak elde edilmiş ve simülasyon modelinde deri tabakası için kullanılan ısı depolama denkleminde dahil edilmiştir.

**Tablo1.** Çeşitli Metabolik aktivite düzeyleri [11]

Aktiviteler	Metabolik aktivite düzeyi (W/m <sup>2</sup> )
Rahat bir şekilde ayakta durmak	70
Temizlik yapmak	115
Sosyal aktivite (dans etmek vb.)	140
Antreman yapmak (Jimnastik vb.)	175

Deneysel çalışmalar, ısı tekniği laboratuvarımızda bulunan ısı konfor odasında gerçekleştirilmiştir. Isıl konfor odasında 1 adet split klima ve hava kurutucu, nemlendirici mevcuttur. Isıl konfor odasının tavanına, halojen lambalar monte edilmiştir. Deneklerin üzerine açık durumda bulunan halojen lambalardan gelen ışınım ısı akı değerleri piranometre ile ölçülmüş ve Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 2.** Vücut parçalarına halojen lambalardan gelen ışınım ısı akısı değerleri [12]

Vücut Parçası	Işınım ısı akısı değerleri ( $W/m^2$ )
Sol ayak	25
Sağ ayak	25
Sol diz altı	16
Sağ Diz altı	16
Sol bacak	16
Sağ bacak	16
Pelvis	18
Baş	80
Sol el	12
Sağ el	12
Sol dirsek altı	14
Sağ dirsek altı	14
Sol kol	40
Sağ kol	40
Göğüs	50
Sırt	50

Kor ve deri tabakasında depolanan ısı, bu tabakalarda anlık sıcaklık değişimlerine sebep olur ve aşağıdaki gibi gösterilir [11].

$$S_{kor}(i, \theta) = [1 - \alpha(\theta)]. m(i). c_{p,b}. \left[ \frac{dT_{kor}(i, \theta)}{d\theta} \right] / A_{(i)} \quad (4)$$

$$S_{deri}(i, \theta) = \alpha(\theta). m(i). c_{p,b}. \left[ \frac{dT_{deri}(i, \theta)}{d\theta} \right] / A_{(i)} \quad (5)$$

Burada  $\alpha$  deri bölgesinde bulunan vücut kütesini,  $m$  vücut parçalarının kütesini,  $c_{p,b}$  vücudun özgül ısını ifade etmektedir,  $i$  herbir vücut parçasını,  $\theta$  ise zaman adımını göstermektedir. Deri ıslaklığı ( $w$ ) aşağıdaki gibi hesaplanmıştır[11].

$$w(i, \theta) = 0,06 + 0,94. \frac{E_{rsw}(\theta)}{E_{max}(i, \theta)}$$

$E_{rsw}$  terin buharlaşması ile olan ısı kaybı,  $E_{max}$  ise insan vücudundan buharlaşma ile olan maksimum ısı kaybıdır. Simülasyonda kullanılan matematiksel modelin detaylarına literatürden [12] ulaşabilirsiniz. Tablo 3' de simülasyonda kullanılan vücut parçaları numaralandırılmıştır.

**Tablo 3.** Simülasyonda kullanılan vücut parçaları ve numaraları

$i$	Vücut Parçası
1	Sol ayak
2	Sağ ayak
3	Sol diz altı
4	Sağ diz altı
5	Sol bacak
6	Sağ bacak
7	Pelvis
8	Baş
9	Sol el
10	Sağ el
11	Sol dirsek altı
12	Sağ dirsek altı
13	Sol kol
14	Sağ kol
15	Göğüs
16	Sırt

Simülasyonda kullanılan kumaş karakteristikleri ile ısı ve buharlaşma dirençleri Tablo 4' de verilmiştir

**Tablo 4.** Kumaş karakteristikleri ile ısı ve buharlaşma dirençleri [13]

<b>Kumaş kodu</b>	<b>Kumaşın tanımı</b>	<b>Kalınlık (mm)</b>	<b>Isıl direnç <math>R_f</math> (<math>m^2 \cdot C/W</math>)</b>	<b>Buharlaşma direnci <math>R_{e,f}</math> (<math>m^2 \cdot kPa/W</math>)</b>
1	Jersey RL örme kumaş, %100 pamuk	1,270	0,036	0,0040
2	Poplin kumaş, %60 pamuklu, %40 polyester	0,787	0,026	0,0041

Simülasyonda kullanılan yazlık erkek giyiminde kullanılan elbiseler Tablo 5' de verilmiştir.

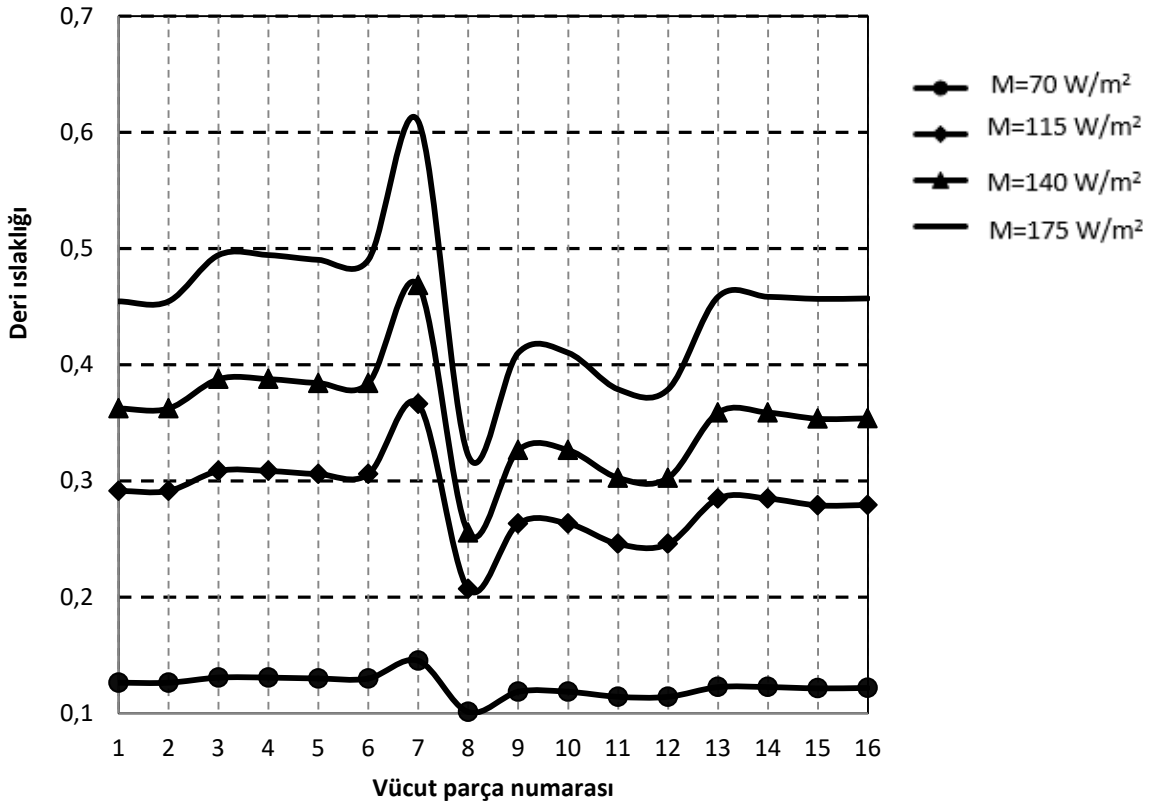
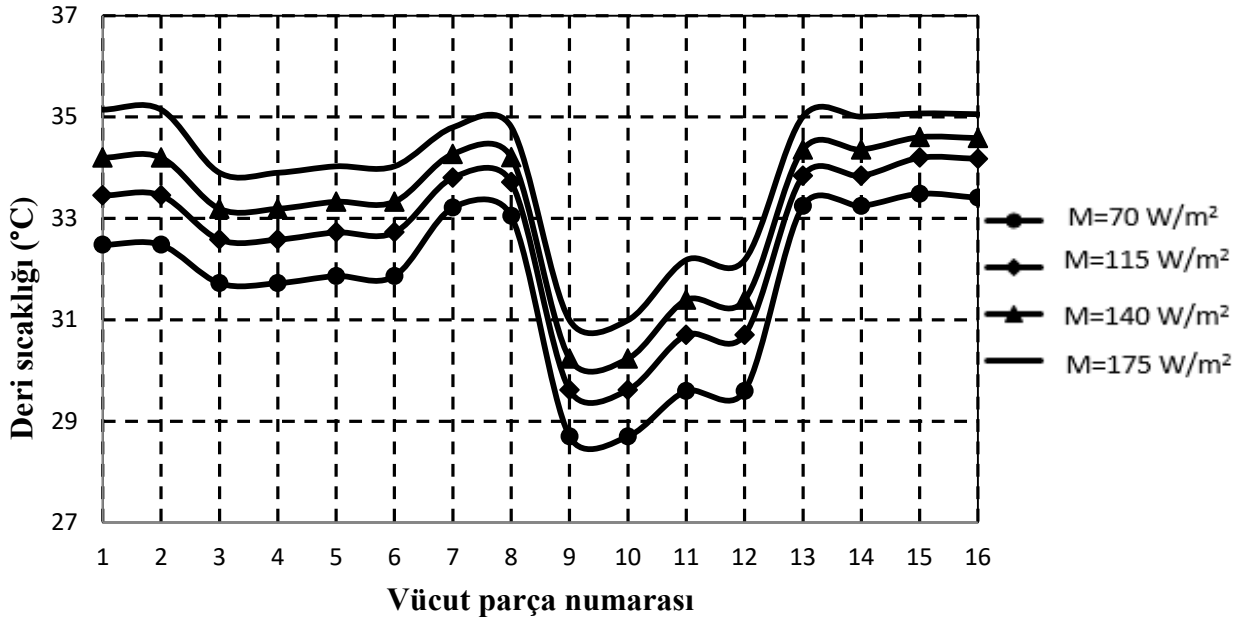
**Tablo 5.** Yazlık erkek giyiminde kullanılan elbiseler

<b>Elbise</b>	<b>Kumaş kodu*</b>	<b>Giyimli vücut parçaları</b>
Kilot	1	Pelvis
Tişört	1	Sağ ve sol kol, göğüs, sırt
Uzun pantolon	2	Sağ ve sol diz altı, sağ ve sol bacak, pelvis
Çorap	1	Sağ ve sol ayak

\* kumaş koduna bağlı olarak kumaş tanımları Tablo 4' den bulunabilir.

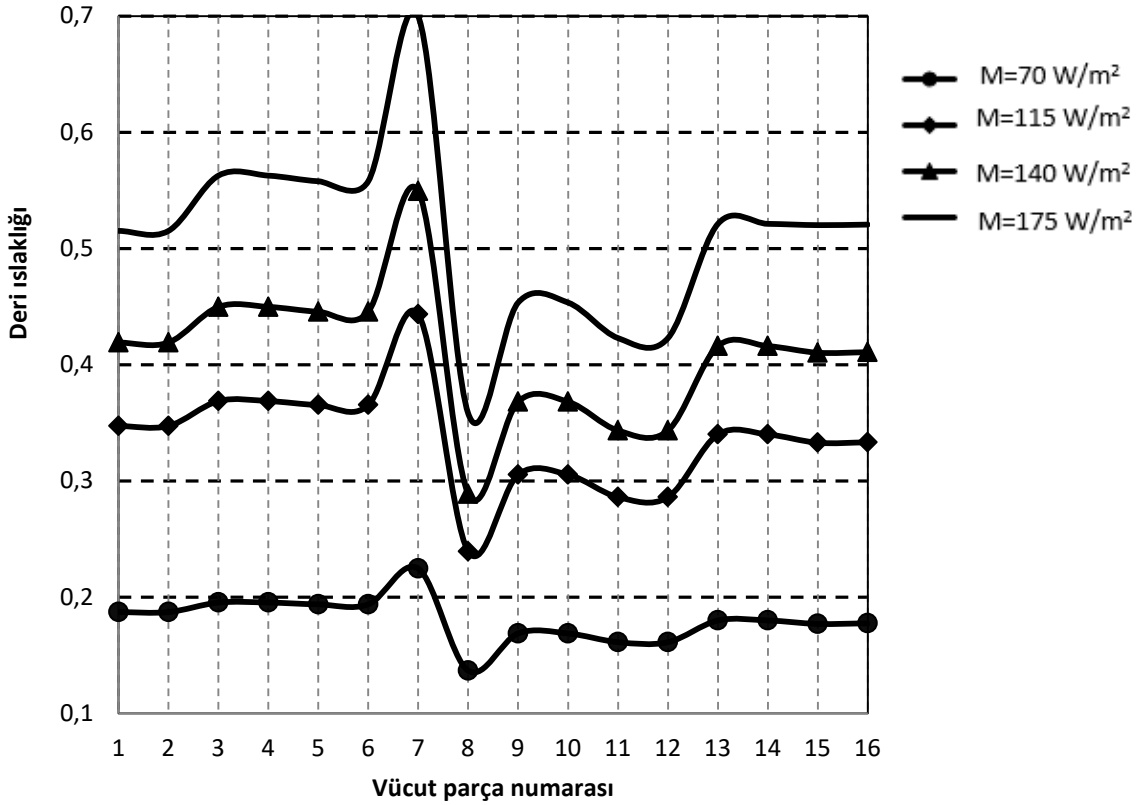
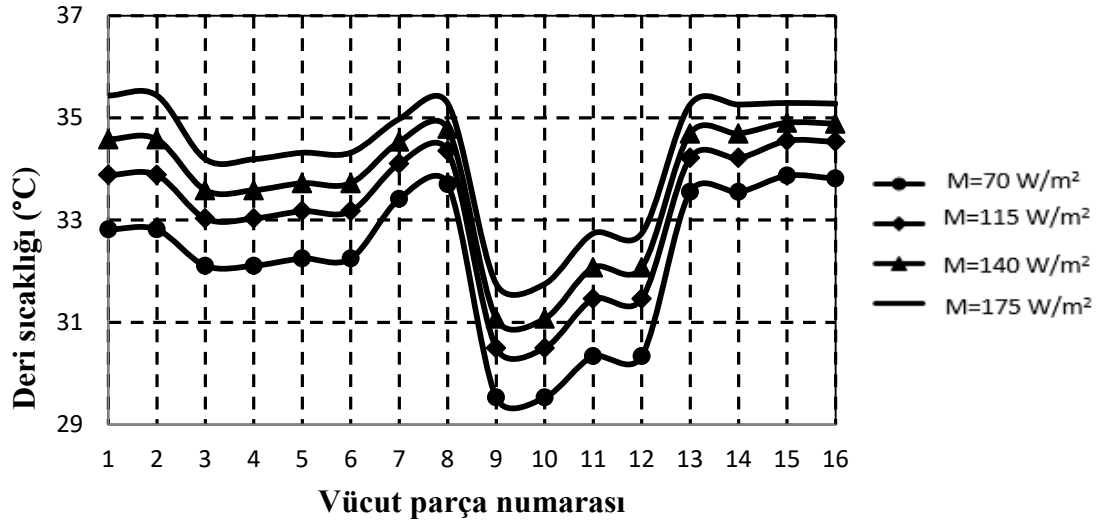
### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmanın amacı, metabolik aktivitenin, iklimlendirilmiş ortamda ışınlam ısı transferi altındaki insanların ısı konforları üzerine etkilerini sunmaktır. Çalışmada metabolik aktivite değerleri simülasyonda iç ortam hava hızı 0.2 m/s alınmıştır. İç ortam sıcaklıkları 22 °C, 24 °C, 26°C, bağıl nem ise 50% değerinde çalışılmıştır. Şekil 1'de 22 °C iç ortam sıcaklığında metabolik aktivitenin deri sıcaklığı ve ıslaklığı üzerine etkisi görülmektedir. En yüksek değer, ayak deri sıcaklığı ve pelvis ıslaklığı değeri 35.15°C ve 0.61' e ulaşmıştır.



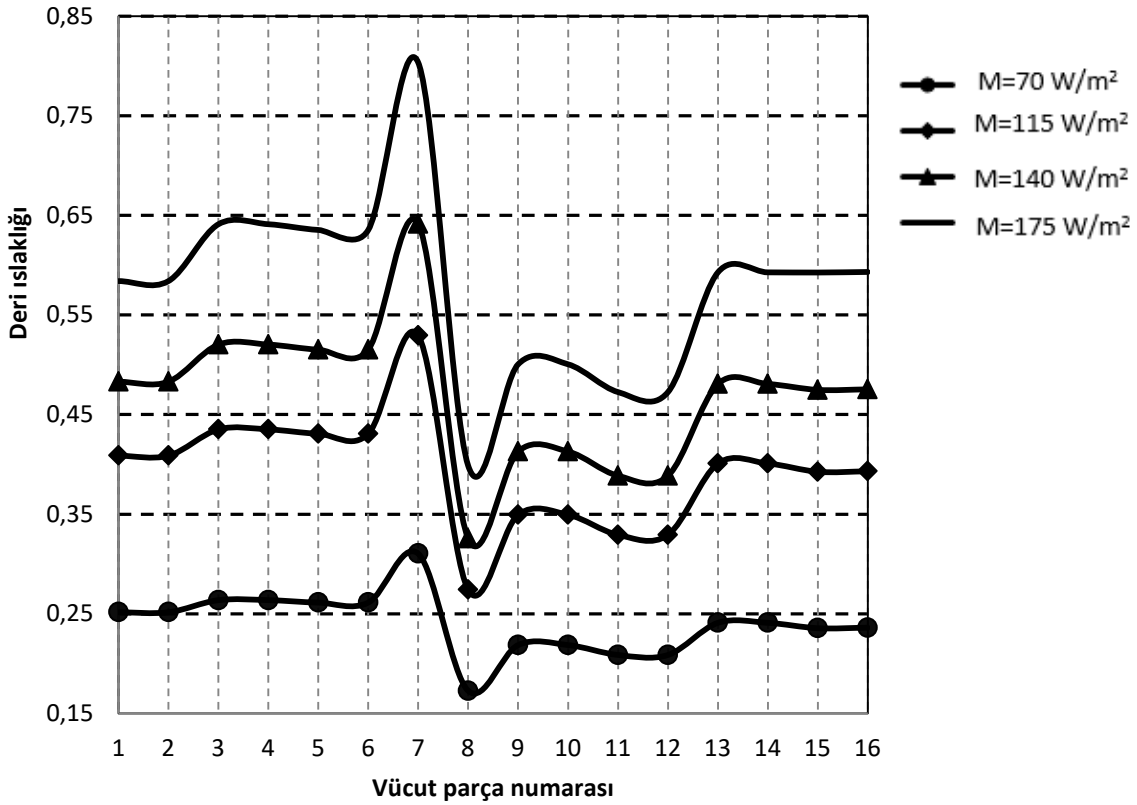
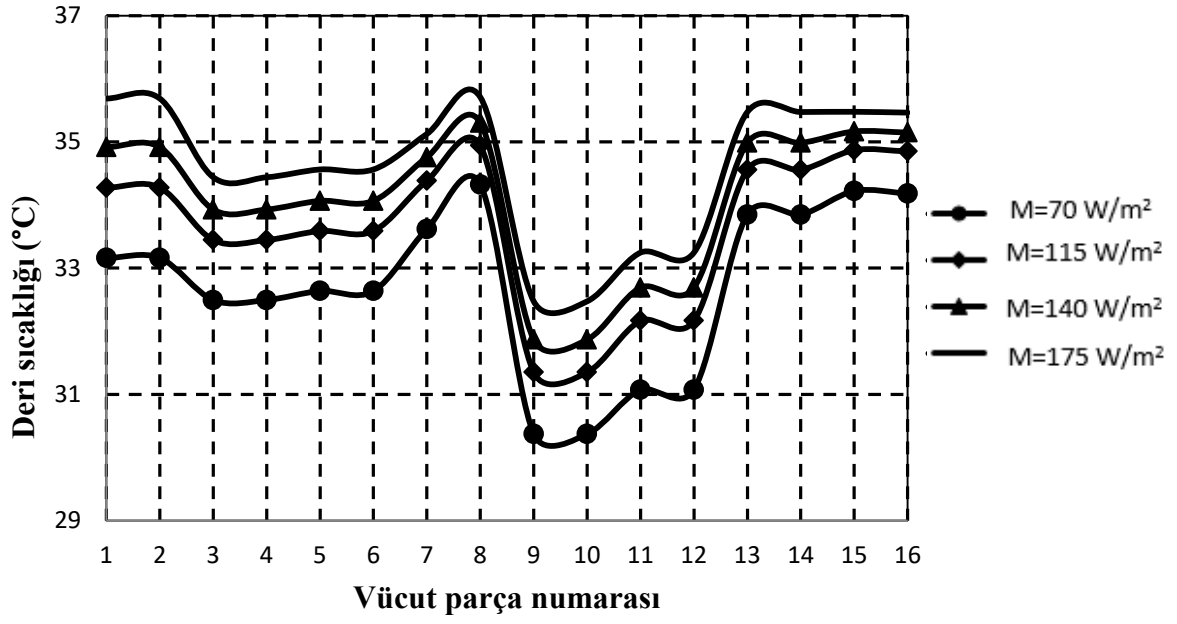
Şekil 1. 22 °C operatif sıcaklık için ışınım etkisi altında metabolik aktivitenin deri sıcaklığı ve ıslaklığı üzerine etkisi

Şekil 2'de 24 °C iç ortam sıcaklığında metabolik aktivitenin deri sıcaklığı ve ıslaklığı üzerine etkisi görülmektedir. En yüksek deri sıcaklığı ve ıslaklığı değeri M=175 W/m<sup>2</sup>' de görülmüştür. Ayak sıcaklığı 35.44 °C ve pelvis deri ıslaklığı değeri 0.70' e ulaşmıştır.



**Şekil 2.** 24 °C operatif sıcaklık için ışınım etkisi altında metabolik aktivitenin deri sıcaklığı ve ıslaklığı üzerine etkisi

Şekil 3'de 26°C iç ortam sıcaklığında metabolik aktivitenin deri sıcaklığı ve ıslaklığı üzerine etkisi görülmektedir. En yüksek deri sıcaklık ve ıslaklık değerleri gene M=175 W/m<sup>2</sup> düzeyinde olmuştur. Ayak sıcaklığı 35.7 °C ye, pelvis deri ıslaklığı değeri ise 0,81 değerine ulaşmıştır.



Şekil 3. 26 °C operatif sıcaklık için ışınım etkisi altında metabolik aktivitenin deri sıcaklığı ve ıslaklığı üzerine etkisi

Giysi direncinin deri ıslaklığını artırıcı bir etkisi vardır. Pelvisin giysi direnci diğer vücut parçalarına göre daha yüksek olduğu için deri ıslaklık değerleri daha yüksektir. Başın deri ıslaklık değerinin düşük olmasının sebebi giysi direncine sahip olmamasıdır.

## SONUÇ

Bu çalışmada, ışınım etkisi altında metabolik aktivitenin deri sıcaklığına ve ıslaklığına etkisini araştırmak için 2 bölmeli 16 parçaya ayrılmış anlık enerji dengesi modeli (Gagge Modeli) geliştirilmiştir. Işınım etkisi altında, insan vücudunda lokal sıcaklık ve deri ıslaklık farklılıkları meydana getirdiğinden ısıl konforsuzluk oluşur. Operatif sıcaklık arttıkça, vücuttan olan ısı transferi azaldığı için deri sıcaklıkları ve ıslaklıklarının artmakta olduğu görülmektedir. Metabolik aktivite oranı arttıkça, depolanan enerji arttığından dolayı deri sıcaklıklarının ve ıslaklığının arttığı görülmektedir. Özellikle yüksek operatif sıcaklıklarda, yüksek metabolik aktivite düzeyi sağlayan aktivitelerden ısıl konforsuzluk oluşmaması için kaçınılmalıdır.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından desteklenen 213M661 nolu TÜBİTAK projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir.

## KAYNAKLAR

- [1] YANG, C., YIN, T., FU, M., "Study on the allowable fluctuation ranges of human metabolic rate and thermal environment parameters under the condition of thermal comfort" *Building and Environment*, 103: 155-164, 2016
- [2] JI, W., LUO, M., CAO, B., ZHU, Y., GENG, Y., LIN, B., "A new method to study human metabolic rate changes and thermal comfort in physical exercise by CO2 measurement in an airtight chamber". *Energy and Buildings*, 177: 402-412, 2018.
- [3] ANGELOVA, R. A., PICHUROV, G., SIMOVA, I., STANKOV, P., RODRIGO, I., "CFD Based Study of Thermal Sensation of Occupants Using Thermophysiological Model. Part II: Effect of metabolic rate and clothing insulation on human-environmental interaction", *International Journal of Clothing Science and Technology*, 27: 60-74. 2015.
- [4] UĞURSAL, A., CULP, C.H., "The effect of temperature, metabolic rate and dynamic localized airflow on thermal comfort", *Applied energy*, 111:64-73. 2013.
- [5] LUO, M., ZHOU, X., ZHU, Y., SUNDELL, J., " Revisiting an overlooked parameter in thermal comfort studies, the metabolic rate", *Energy and Buildings*, 118, pp.152-159, 2016.
- [6] LUO, M., WANG, Z., KE, K., CAO, B., ZHAI, Y., ZHOU X., "Human metabolic rate and thermal comfort in buildings. The problem and challenge." *Building and Environment*. 131:44-52, 2018.
- [7] HONG, S., JONG L., JIN M., KWANG L., "Thermal Comfort, Energy and Cost Impacts of PMV Control Considering Individual Metabolic Rate Variations in Residential Building." *Energies* 11:7, 2018.
- [8] ZHAI, Y., LI, M., GAO, S., YANG, L., ZHANG, H., ARENS, E., GAO, Y. " Indirect calorimetry on the metabolic rate of sitting, standing and walking office activities", *Building and Environment*, 145, 77-84, 2018.
- [9] GAGGE, A.P., STOLWIJK, J.A.J., NISHI, Y., "An effective temperature scale based on a simple model of human physiological regulatory response. *ASHRAE Transactions* 77: 247 – 257, 1971.
- [10] GAGGE, A.P., FOBELETS, A.P., BERGLUND, L.G., "A standard predictive index of human response to the thermal environment", *ASHRAE Transactions* 92: 709 – 31.1986.
- [11] ASHRAE, *ASHRAE Handbook-fundamental*, Chapter 9: Thermal Comfort, ASHRAE, Atlanta, 2009.
- [12] ARSLANOGLU, N., YIGIT, A., "Experimental and theoretical investigation of the effect of radiation heat flux on human thermal comfort", *Energy Build.* 113: 23–29, 2016.
- [13] MCCULLOUGH, E.A., JONES, B.W., TAMURA, T., "A Database for Determining the Evaporative Resistance of Clothing", *ASHRAE Transactions*, 95: 316 – 328.1989.





## ÖZGEÇMİŞ

### **Nurullah ARSLANOĞLU**

1983 yılı Belçika doğumludur. 2002 yılında, Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde başladığı yüksek öğrenimini, 2006 yılında bitirdi. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalından 2009 yılında yüksek lisans derecesi aldı. Aynı enstitüde 2015 yılında doktorasını tamamladı. Halen görevine Doç. Dr. ve Bölüm Başkan Yardımcısı olarak devam etmektedir. Çalışma konuları ısı transferi, termodinamik, güneş enerjisi, deneysel tasarım yöntemleridir. Evli ve bir çocuk babasıdır.

### **Abdulvahap YİĞİT**

1961 yılı Pertek doğumludur. 1982 yılında İ.T.Ü. Genel Makine bölümünden lisans, 1984 yılında İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsünden yüksek lisans diplomasını aldı. Aynı enstitüde 1990 yılında doktorasını tamamladı. 1993 yılında Doçent, 2000 yılında Profesör oldu. Halen Uludağ Üniversitesinde öğretim üyesi ve Teknik Bilimler MYO müdürüdür. Evli ve üç çocuk babasıdır.