

BİNALARDA ISIL KONFOR HESAPLAMA YÖNTEMLERİ VE KULLANICI DEĞERLENDİRMESİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Thermal Comfort Models And Comparison With User Feedbacks

Nurdil ESKİN
Tuğçe AKER

ÖZET

Binalarda ısı konforu hem bina enerji harcamalarına, hem de kullanıcıların sağlıklarına, üretkenliklerine doğrudan tesir eden önemli bir kavramdır. Konfora etki eden kişisel ve çevresel değişkenler temel alınarak, bir ortamın ısı konfor seviyesini hesaplamak için farklı matematiksel modeller çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilmiş ve ulusal ve uluslararası kaynaklarda yayımlanmıştır. Bu çalışmada kısaca bu modellerden bahsedilerek özellikle ASHRAE standartlarında temel alınan uyarlamalı (adaptive) model ile ISO standardında esas alınan ve kullanılan Fanger modellerinin temel aldıkları değişkenler ve hesaplama metodları ele alınmış ve örnek bir uygulamada performanslar karşılaştırılmıştır. Bunun yanında bu iki en yaygın matematiksel modelin sonuçları kullanıcıların kişisel konfor değerlendirmeleri ile de karşılaştırılarak sonuçlar irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Isıl konfor modelleri, Dinamik konfor anketi, Sıcaklık ölçümü

ABSTRACT

Thermal comfort in buildings is an important concept that directly affects the energy consumption of the building as well as the health and productivity of users. Based on personal and environmental variables affecting comfort, different mathematical models have been developed by various researchers to calculate the thermal comfort level of an environment. In this study, these models are briefly mentioned and the performance and calculation methods of two different models; the adaptive model and the static model are examined. Besides, the results of these two most common mathematical models were compared with the personal comfort feedback of the users and the results were examined.

Key Words: Thermal comfort models; Dynamic comfort questionnaire, Temperature measurement

1. GİRİŞ

Günümüzde insanlar, Çevre Koruma Ajansı (EPA)'nın verilerine göre zamanlarının %90'unu kapalı ortamlarda geçirmektedir [1]. Bina kullanıcılarına sağlıklı ve konforlu bir iç ortam sunmak amacıyla geliştirilen İklimlendirme sistemlerinin yetersiz kapasitelerde seçilmesi ve uygun olmayan tipteki iklimlendirme sistemlerinin binalara uygulanması, bunun yanında yetersiz şekilde kontrol edilmeleri kullanıcıların konfor, sağlık ve üretkenlikleri üzerinde ciddi sorunlara neden olmaktadır [2], [3]. Bu sorunların ortadan kaldırılması, ideal ortam koşullarının araştırılması ve kullanıcıların konfor algılarının modellenmesi konusunda birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda birçok matematiksel model geliştirilmiştir.

Çalışmada kapsamında geliştirilen en temel iki standardın temelini oluşturan matematiksel modeller; uyarlamalı (adaptive) model ile Fanger tarafından geliştirilen statik PMV modelinin temel aldıkları değişkenler ve hesaplama metotları ele alınmış ve örnek bir uygulamada performanslar karşılaştırılmıştır. Bunun yanında bu iki model bir açık ofiste yer alan kullanıcılar ile test edilmiş ve hesaplanan değerler ile kullanıcıların kişisel konfor değerlendirmeleri de karşılaştırılarak sonuçlar irdelenmiştir.

2. ISIL KONFOR

Isıl konfor ile ilgili genel olarak kabul gören ve kullanılan üç adet standart olduğu görülmektedir. Bunlar; ASHRAE 55, ISO 7730 ve CEN Standardı EN 15251dir. [4], [5]. Bu standartlar iç ortam koşullarının ısı konfor açısından uygunluğunun değerlendirilmesi için birtakım kriterler sunmaktadır. Bu kriterlerin temeli ise 1970’de Fanger tarafından geliştirilen statik model ile 1998 yılında de Dear ve Brager tarafından oluşturulan adaptif konfor modelini temel almaktadır. Statik model insan vücudunun dış ortam ile olan ısı dengesini temel alarak kullanıcıların ısı konfor algısını formüle etmekte iken, Adaptif yöntemde kullanıcıların ısı konfor algılarının iç ortam ve dış ortam sıcaklığı arasındaki ilişkiye de bağlı olduğunu ortaya koyan bir matematiksel yaklaşım ile model oluşturulmuştur. Statik model tüm standartlarda iklimlendirme sistemine sahip binalarda ısı konforun incelenmesi için temel alınırken, adaptif yöntem ASHRAE 55 ve EN 15251 standardında doğal havalandırmaya sahip binalarda ısı konforun tespiti için önerilen bir metottur [4], [6].

2.1. Statik Model – PMV Modeli

Statik model, iklim odasında gerçekleştirilen deneylerini temel alan ve sürekli halde kullanıcı ile çevre arasındaki ısı denge denklemini baz alan analitik yöntemdir. Bu metot Fanger tarafından yapılan deney çalışmaları ile geliştirilmiştir ve kullanıcıların ısı dengesini ve ısı konfor durumunu ifade eden matematiksel modeller oluşturulmuştur. Böylece bir ortamın konforlu olarak algılanıp algılanmadığı belirlenebilmektedir.

Fanger tarafından geliştirilen matematiksel model ile ortamın Tahmini Ortalama Oy (PMV) değeri belirlenebilmekte ve bu değer ile 7 noktalı ısı duyum ölçeği karşılaştırılarak kullanıcıların ortam ile ilgili nasıl hissettiklerini belirlenebilmektedir. Hesaplanan PMV değerinden yola çıkarak ortam koşulları nedeniyle kendini rahatsız hisseden insan sayısını tahmin etmek için Öngörülen Memnuniyetsizlik Yüzdesi (PPD) değeri de hesaplanabilmektedir [7]. PMV değerinin hesaplanması için oluşturulan matematiksel model formül 1de verilmiştir.

$$PMV = [0,303 \cdot \exp(-0,036 \cdot M) + 0,028] \cdot \left\{ \begin{array}{l} (M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot [5733 - 6,99 \cdot (M - W) - p_a] - 0,42 \cdot [(M - W) - 58,15] \\ -1,7 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5867 - p_a) - 0,0014 \cdot M \cdot (34 - t_a) \\ -3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] - f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a) \end{array} \right\} \quad (1)$$

Modelde ısı konfor tayini altı ana parametre ile belirlenmektedir. Bunlar; hava sıcaklığı (t_a), ortalama ışınım sıcaklığı (t_r), bağıl hava hızı, havanın nemi, aktivite düzeyi (M), kıyafet ısı direncidir. Bunun yanında formülde yer alan yardımcı ifadeler ise şöyle tanımlanabilir; Efektif mekanik iş (W), Su buharı kısmi basıncı (p_a), kıyafet yüzey alan faktörü (f_{cl}) ve kıyafet yüzey sıcaklığı (t_{cl}). PMV formülü ile hesaplamalar gerçekleştirildiğinde elde edilen sayısal değer yedi puanlık ısı duyarlılık ölçeği ile değerlendirilerek anlamlandırılmaktadır. Ölçek ve her bir değer karşılığı Tablo 1de verilmiştir [7].

Tablo 1. Fanger 7 noktalı ısı duyarlılık ölçeği

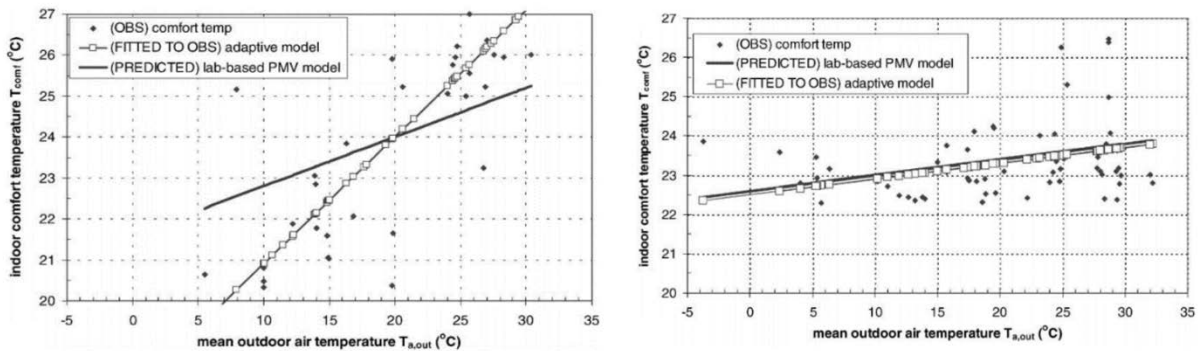
PMV	Karşılık
3	Sıcak
2	Ilık
1	Hafif Ilık
0	Nötr
-1	Hafif Serin
-2	Serin
-3	Soğuk

2.2. Adaptif Model

Adaptif model, kullanıcıların buldukları ortamın konfor durumuna göre kıyafet ve aktivite düzeylerini değiştirmelerini ve uyum sağlamalarını temel alırken statik model iklim odasında sabit koşullardaki kullanıcıların tepkilerinin gözlemlenmesini temel almaktadır. Bu durum statik modelin kullanıcıların adaptif rolünü hesaba katmamasına ve modelin iklimlendirilmiş alanlar gibi daha statik bir ortamda uygulanması ile sınırlandırılmasına neden olmaktadır.

Pratikte insanların deneylerde yer alan katılımcılar gibi pasif alıcılar olmadığı gözlemlenmektedir. Kullanıcılar buldukları ortama adapte olmakta ve herhangi bir konforsuz durum oluşması durumunda ısı konfor durumlarını korumak için çeşitli davranışlarda veya eylemlerde bulunmaktadır. Kullanıcıların bu şartlara göre kendilerini uyarlamaları) adaptif modelin temelini oluşturan üç adaptasyon kategorisini altında gözlemlenebilmektedir: Bunlar fizyolojik, davranışsal ve psikolojik uyarlamalardır. Sonuç olarak adaptif model kullanıcıların buldukları ortama adaptasyonlarını ele alan bir temele sahiptir [4], [6].

Kullanıcıların gerçek durumlarını incelemek ve yeni bir ısı konfor modeli oluşturmak amacıyla 1995te ASHRAE RP-884 projesi uygulamaya geçirilmiştir. Bu proje kapsamında dünya çapında 4 farklı kıtada yer alan 160 binadan 21.000 veri toplanmıştır. Farklı iklim bölgelerinde binaların ısı konfor koşullarının incelenmesinin yanında bu projede farklı iklimlendirme sistemlerine sahip binalardaki kullanıcıların ısı konfor algıları da incelenmiştir. Bu kapsamda seçilen binalar merkezi iklimlendirme sistemine ve doğal havalandırma (mekanik soğutma sistemi olmayan binalar) sistemine sahip binalar olarak ikiye ayrılmıştır. İki farklı bina tipi için konfor sıcaklığı ile ortalama dış ortam sıcaklığı arasındaki ilişki Şekil 1de verilmiştir. [8], [9].

**Şekil 1.** Doğal Havalandırmaya sahip ve İklimlendirme sistemine sahip binalarda konfor sıcaklıklarının değişimi [8], [9]

Bu çalışmanın en önemli bulgusu aylık ortalama dış hava sıcaklığı (T_m) ile iç ortam konfor sıcaklığı (T_n) arasındaki korelasyonun regresyon modeli kullanılarak matematiksel bir ifade haline getirilmesidir. İklimlendirme sistemine sahip binalar için de Bear ve Brager tarafından oluşturulan konfor sıcaklığı ifadesi denklem (2) de verilmiştir [10].

$$T_n=22,6+0,04T_m \quad (R^2=0,5) \quad (2)$$

Humphreys ve Nicol (2000) daha sonra ASHRAE RP-884 veri tabanını temel alarak oluşturdukları konfor sıcaklık ifadesi veya eşitliği ise (3) de verilmiştir [11].

$$T_n=20,1+0,0077T_m^2 \quad (R^2=0,44) \quad (3)$$

Yapılan çalışmalarda konfor sıcaklığı her zaman dış ortam sıcaklığına bağlı olarak incelenmemektedir. Humphreys tarafından yapılan çalışmada iç ortam operatif sıcaklığı (T_{op}) ile konfor sıcaklığı arasındaki ilişki hem doğal havalandırmaya sahip hem de iklimlendirme sistemlerine sahip binalarda incelenmiştir [4]. Konfor sıcaklığı ile operatif sıcaklık arasındaki ilişkiyi veren bağıntı (4) numaralı formüde verilmiştir.

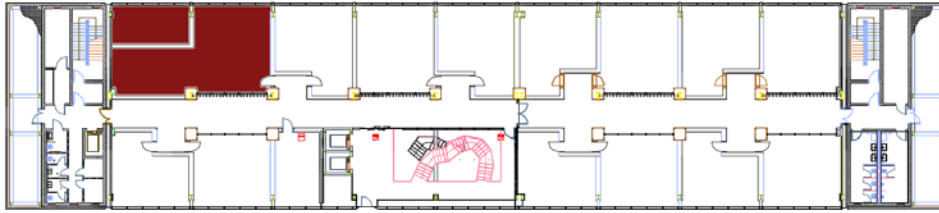
$$T_n=4,65+0,785T_{op} \quad (R^2=0,95) \quad (4)$$

Bu çalışma hem iklimlendirme sistemine sahip hem de doğal havalandırmaya sahip binalarda operatif sıcaklık ile konfor sıcaklığı arasında yüksek bir korelasyon olduğunu göstermektedir.

3. METHODOLOJİ

Çalışma kapsamında kullanıcıların ısı konfor algıları bir açık ofis için statik ve adaptif model kullanılarak incelenirken, bunun yanında her bir kullanıcının kişisel konfor algıları ile ilgili veriler de gerçek zamanlı oylamalar ile toplanmıştır. Bu amaçla kullanıcıların davranışlarındaki herhangi bir değişikliği gözlemlemek için yeterli bir süre olan 21-29 Nisan arasındaki 4 günlük sürede çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Çalışma için seçilen ofis İstanbul'da bir üniversite kampüsünde yer alan Teknokent binasında yer almaktadır. Ofis binanın kuzey cephesinde ve ikinci kattadır. Şekil 2'de binanın bulunduğu konum ve kat planı görülmektedir. Toplamda 108 m² kapalı alana sahip olan ofisin 36 m²'si toplantı odası olarak kullanılırken geriye kalan 72 m² ise açık ofis şeklinde kullanılmaktadır.



Şekil 2. Çalışma için seçilen ofisin planı ve bina içindeki yerleşimi

İç ortam koşullarının gün içindeki değişimini dinamik olarak gözlemlemek amacıyla ofise sıcaklık ve nem sensörü yerleştirilmiştir. İç ortam sıcaklığı ile bağlı neme ait veriler 10 dakikalık aralıklarla datalogger üzerine kaydedilmiştir.

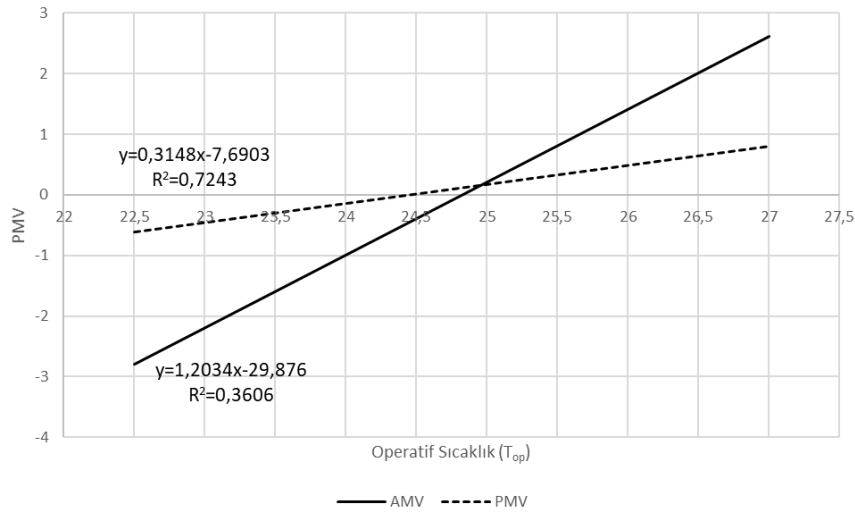
Ofiste çalışan 8 kullanıcıya ölçümlerin gerçekleştirildiği dönem içerisinde ısı konfor durumları ile ilgili anlık geri bildirimlerini paylaşabilecekleri bir internet sitesi hazırlanmıştır. Kullanıcılar kendilerine ait kullanıcı adı ve şifre ile giriş yaptıkları sayfa üzerinden anlık konfor durumlarını Fanger'ın 7 noktalı ısı duyarlılık ölçeği üzerinden oylamışlardır. Ofiste yer alan ve çalışmaya katılan kullanıcılara ait bilgiler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Çalışmaya katılan kullanıcıların bilgileri

Kullanıcı	Cinsiyet (E/K)	Yaş	Boy (m)	Kilo (kg)
Kullanıcı 1	E	27	1,7	68
Kullanıcı 2	E	26	1,68	77
Kullanıcı 3	E	29	1,8	94
Kullanıcı 4	E	25	1,82	86
Kullanıcı 5	K	26	1,6	45
Kullanıcı 6	E	26	1,78	60
Kullanıcı 7	E	28	1,89	90
Kullanıcı 8	E	27	1,92	80

4. ANALİZ SONUÇLARI

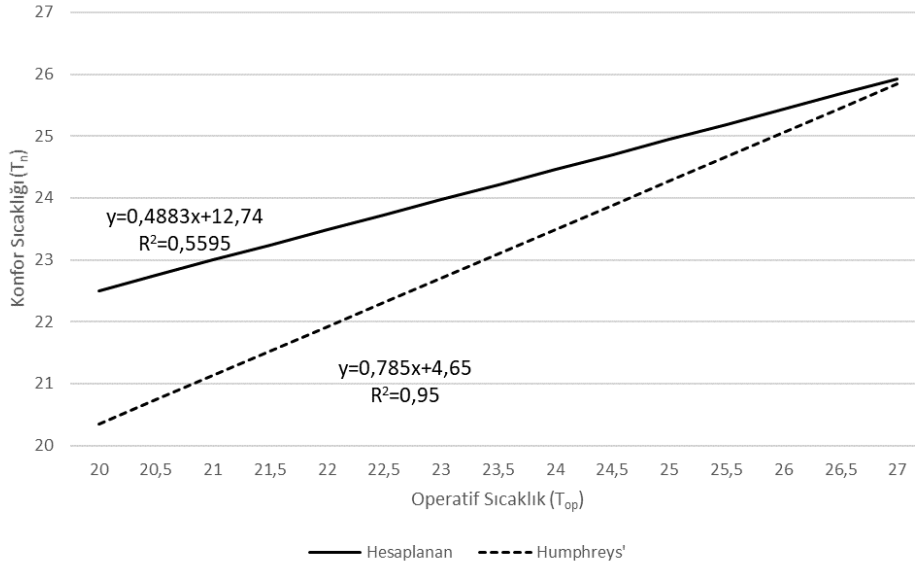
21-29 Nisan tarihleri arasında gerçekleşen oylama esnasında 8 kullanıcıdan geri bildirimler toplanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde oylama süresince kullanıcılarının %57'sinin konforsuz hissettiği tespit edilmiştir. Kullanıcıların gerçek zamanlı oyları (AMV) ile yapılan saha ölçümlerine göre hesaplanan PMV değerleri Şekil 3'te karşılaştırılmıştır. Kullanıcılardan elde edilen ısı konforu ile ilgili verilerin elde edildiği anket sonuçlarına, psikolojik parametrelerin de etkilediği düşünüldüğünde operatif sıcaklık ile arasında hesaplanan korelasyonun ($R^2=0,36$) iyi olduğu söylenebilir.

**Şekil 3.** Operatif sıcaklık ile hesaplanan PMV ve kullanıcı oylarının (AMV) karşılaştırılması

Çalışmada incelenen ofis için adaptif modelin çıkarılması amacı ile lineer regresyon modeli kullanılarak operatif sıcaklık ile PMV arasındaki ilişki modellenmiştir. Yapılan ölçümlerden elde edilen değerlere ve kullanıcıların gerçek zamanlı olarak ısı konfor durumları ile ilgili vermiş oldukları geri bildirimleri kullanarak oluşturulan ısı konfor modeli ile incelenen açık ofis için konforlu iç ortam sıcaklığının $24,8^{\circ}\text{C}$ olduğu hesaplanırken, PMV değerinin 0 olduğu konfor sıcaklığının ise $24,4^{\circ}\text{C}$ olarak tespit edilmiştir.

Konfor sıcaklığı, operatif sıcaklığın ısı konfor oyunun 0 olduğu duruma en yakın olan sıcaklık değerine karşılık gelmektedir [8]. Operatif sıcaklık hava hızının $0,4\text{m/s}$ 'den az olduğu ortamlarda yaklaşık olarak ortalama ışınım sıcaklığı ile iç ortam hava sıcaklığının ortalamasına eşit olacağından ısı konfor tespitinde efektif bir ifade haline gelmektedir [12].

Humphreys tarafından ortaya konulan formül ile hesaplanan konfor sıcaklığı ile kullanıcılardan gelen oylara ve saha ölçümlerine göre belirlenen konfor sıcaklıklarının karşılaştırılması 4'te gösterilmektedir.



Şekil 4. Konfor sıcaklığı modellerinin karşılaştırılması

Ortaya konulan model ile operatif sıcaklıktaki 1°C'lik bir değişim konfor sıcaklığında 0,5°C artışa yol açtığı tespit edilmiştir.

SONUÇ

Çalışmanın amacı iki temel ısı konfor modeli olan adaptif metot ile statik metot arasında performans karşılaştırması yapmak ve çıkan sonuçları kullanıcıların sübjektif ısı konfor oyları ile karşılaştırmaktır. Bu kapsam yapılan çalışma sonuçları incelendiğinde adaptif metot ve statik metot kullanılarak çıkarılan konfor sıcaklıklarının 0,5°C derece fark ile benzer sıcaklıklarda olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışmada oluşturulan adaptif model tek bir ofis üzerinde yapılan bir incelemeyi kapsamaktadır. Statik modelin kullanıcıların ortama olan adaptasyonlarına dikkate alınmaması hesaplanan PMV ile oylanan değerler arasındaki farklar incelendiğinde görülebilmektedir. Kullanıcıların da durumları göz önüne alınarak oluşturulan adaptif model kullanıcıların ısı konfor algılarını daha iyi yansıtılmaktadır. Farklı iklim bölgelerinde yaşayan kullanıcıların konfor tanımlarında yaşanan değişim literatürde farklı ülkeler ve iklim bölgeleri için yapılan adaptif çalışmalarda görülmektedir. Bu nedenle Türkiyede adaptif modelin oluşturulması adına farklı binalardan alınacak ölçümler ile daha kapsamlı bir modelin oluşturulması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] E. Nikolopoulou, Christina; Azar, "An Occupancy-Driven Framework To Optimize Energy Consumption And Human Comfort In A Group Of Buildings," *Build. Simul. Conf.*, pp. 1523–1530, 2015.
- [2] R. Kosonen and F. Tan, "Assessment of productivity loss in air-conditioned buildings using PMV index," *Energy Build.*, vol. 36, no. 10 SPEC. ISS., pp. 987–993, 2004.
- [3] O. Seppanen, W. J. Fisk, and D. Faulkner, "Control of Temperature for Health and Productivity in Offices," 2005.



- [4] F. Nicol, M. Humphreys, and S. Roaf, *Adaptive thermal comfort: principles and practice*. Routledge, 2012.
- [5] K. Parsons, *Human Thermal Environments: The Effects of Hot, Moderate, and Cold Environments on Human Health, Comfort, and Performance, Third Edition*. CRC Press, 2014.
- [6] R. M. S. F. Almeida, V. P. de Freitas, and J. M. P. Q. Delgado, *School Buildings Rehabilitation: Indoor Environmental Quality and Enclosure Optimization*. Springer International Publishing, 2015.
- [7] ISO, "ISO 7730:2005: 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," 2005.
- [8] R. DeDear, G. Brager, and D. Cooper, "Developing an adaptive model of thermal comfort and preference," p. XIV, 296 S TS-WorldCat T4-Final report [on], 1997.
- [9] R. J. De Dear and G.S. Brager, "Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revision to ASHRAE standards 55," *J. Energy Build.*, vol. 34, pp. 549–561, 2002.
- [10] R. J. De Dear, G. Brager, and D. Cooper, "Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference," 1997.
- [11] M. HUMPHREYS and J. F. Nicol, "Outdoor temperature and indoor thermal comfort: raising the precision of the relationship for the 1998 ASHRAE database of field studies," *ASHRAE Trans.*, vol. 106, pp. 485–92, 2000.
- [12] K. Wai, H. Mui, W. Tin, and D. Chan, "Adaptive comfort temperature model of air-conditioned building in Hong Kong," vol. 38, pp. 837–852, 2003.

ÖZGEÇMİŞ

Tuğçe AKER

1989 yılı İstanbul doğumludur. 2010 yılında Namık Kemal Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2016 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsünde Enerji Bilim ve Teknolojisi Programında yüksek lisans eğitimini tamamlamış olup Doktora eğitimine İTÜ Makine Mühendisliği Anabilim Dalında devam etmektedir. Binalarda enerji verimliliği konusunda Avrupa Birliği projelerinde görev almış olup 2015 yılından beri Reengen firmada bina enerji analisti olarak görev almaktadır.

Nurdil ESKİN

Boğaziçi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünden önce lisans, daha sonra Yüksek Lisans diplomalarını alarak 1981 yılında Yüksek Makina Mühendisi olarak mezun olmuştur. 1982-1990 yılları arasında önce Parsons-Brinkerhoff TSB Şirketinde İstanbul Metro ve Tüp Geçit Projesi'nde makina mühendisi olarak çalışmış, daha sonra farklı firmalarda özellikle metro ve raylı taşıma sistemlerinde havalandırma, iklimlendirme, drenaj ve yangın güvenliği konularında mühendis ve proje müdürü olarak görev almıştır.

1990 yılında İ.T.Ü. Makina Mühendisliği programında "Akışkan Yataklı Kömür Yakıcısı Modeli ve İkinci Kanun Analizi" başlıklı tezi ile Doktora derecesini almıştır. 1997 yılında Doçent, 2004 yılında Profesör unvanını almıştır. İ.T.Ü. Makina Fakültesinde bölüm başkan yardımcılığı, Yüksek lisans ve Doktora programları Koordinatörlükleri gibi çeşitli idari kademelerde görev almış, 2008-2011 yılları arasında Akademik işlerden sorumlu Dekan Yardımcılığı görevini yürütmüştür.

TÜYAK Vakfı kurucu üyesi olan ve çeşitli dönemlerde vakfın yönetim kurulu üyeliği görevlerinde de bulunan Prof.Dr. Eskin'in İki-Fazlı Akışlar, HVAC, Yangın Güvenliği, Isı Tekniği Uygulamaları, Akışkan Yataklı Kazanlar, Binalarda Enerji Verimliliği, Yoğuşma Modelleri ve Analizleri konularında yazılmış ve yayınlanmış kitap, kitap bölümleri, bilimsel rapor, ulusal ve uluslararası makale ve bildirimler olmak üzere toplam 140 adet yayını, "A Cooling Device and a Phase Separator Utilized Therein" isimli buluş ile Yaratıcı (Inventor) ve Kullanıcı (Applicant) olarak dünya patenti vardır. Prof.Dr. Nurdil ESKİN halen İ.T.Ü. Makina Fakültesinde Profesör olarak görev yapmaktadır.