



**Bu bir MMO
yayıdır**

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

BİR OKUL BİNASINDA TASARIM VE İŞLETME STRATEJİLERİNİN ISIL KONFORA ETKİSİ

**ERGİN KÜKRER
NURDİL ESKİN
İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**

BİR OKUL BİNASINDA TASARIM VE İŞLETME STRATEJİLERİNİN ISIL KONFORA ETKİSİ

Effect of Operational and Design Strategies on Thermal Comfort in a School Building

Ergin KÜKRER
Nurdil ESKİN

ÖZET

İklimlendirme sistemleri ve bu sistemlerde enerjiyi etkin kullanabilmek son yıllarda en çok tartışılan konuların başında gelse de, kullanılan iklimlendirme sistemlerinin asıl amacı olan ortamda bulunan insanlara kabul edilebilir seviyede, konforlu bir ortam sunmak da mühendislik alanındaki önemini korumaktadır. Bu çalışmanın amacı, ısı konfor parametrelerini de göz önünde bulundurarak, bir binanın ısı konfor durumunu dinamik simülasyon modeli ile inceleyip, hesaplamak; ve sonrasında geliştirilen tasarım ve işletme stratejileriyle var olan konforu optimize etmeye çalışmaktır. Sunulan bu çalışmada, İstanbul Teknik Üniversitesi'nde yer alan çok amaçlı bir binanın dinamik simülasyon ile yıllık ısı konfor analizi yapılmış, mevcut ısı konfor binanın değişik bölümleri için analiz edilerek sonuçlarıyla ortaya konulmuştur. Ölçümlerle desteklenen bu mevcut durum baz alınarak, çeşitli tasarım ve işletme stratejileri geliştirilmiş ve bu stratejilerin ısı konfora olan etkileri irdelenmiştir. Çalışma, özellikle okul binaları gibi iç ortam kalitesinin önemli olduğu ve günün belli saatlerinde kullanılan binaların konfor şartlarını ve iç ısı ortam optimizasyonunun önemini örnek bir bina üzerinden ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Isı konfor, Isı simülasyon, Tasarım ve işletme stratejileri, İç ortam kalitesi, Okul.

ABSTRACT

Although energy efficiency in air-conditioning systems is one of the most discussed topics recently, it should be noted that providing a satisfactory and comfortable environment for inhabitants is another significant issue to be considered. The aim of this study is to investigate and evaluate present thermal comfort scale of a building with a dynamic simulation tool by considering thermal comfort parameters; and to improve thermal comfort conditions by setting new operational and design strategies. In the research, dynamic simulation of a multi-functional building located at Istanbul Technical University is carried out and analyzed for different zones of the existing comfort conditions. Based on the existing conditions which are supported by measurements, a set of design and operational strategies have been developed and the effects of these strategies on thermal comfort have been examined. The study reveals the significance of indoor environmental quality in such school buildings, which is used at a certain time period of a day and indoor quality is notably important, through a case study building.

Key Words: Thermal comfort, Thermal simulation, Design and operational strategies, Indoor environmental quality, School building.

1. GİRİŞ

Gün geçtikçe artan enerji tüketimi, yeni teknolojilerin gelişimi ve enerji verimliliği ile ilgili pek çok çalışmayı da beraberinde getirmiştir. Dolayısıyla iklimlendirme sistemleri ve bu sistemlerde enerjiyi verimli kullanabilmek mühendislik alanında önemli bir yer tutmuştur. Ancak unutulmamalıdır ki, iklimlendirme sistemlerinin temel hedefi, ısıtma, soğutma ve hava şartlandırma vasıtası ile kullanıcıların kabul edilebilir ve konforlu bir ortama sahip olmasını sağlamaktır [1]. Yaşamının büyük bir kısmını iç ortamlarda geçiren insanoğlu, bulunduğu ortam ile sürekli bir iletişim hali içerisinde. Dolayısı ile üretkenlik, sağlık, yaşam kalitesi ile iç ortam kalitesi arasında önemli bir bağ vardır [2 – 4]. Araştırmalara göre ısı konforun sağlandığı ortamlarda kişilerin algı ve iş yapma performansı en üst seviyeye ulaşmaktadır [4].

Isıl konfor, kişinin bulunduğu ortamda hissettiğini ısı tatmin ve rahatlık olarak tanımlanmaktadır [5, 6]. İnsan vücudu çevresiyle, ısı üretimi, ısı iletimi ve kütle transferi olmak üzere üç farklı mekanizma vasıtası ile etkileşim halindedir. Bu etkileşimi modelleyebilmek uzun yıllardır araştırmacıların odak noktası olmuştur. Deri sıcaklığının 34°C'nin altına düştüğü ya da 37°C'nin üzerine çıktığı durumlarda, deri altındaki reseptörler tarafından beyine impuls gönderilerek vücuttaki ısı dengenin korunması sağlanır. Herhangi bir impulsun oluşmadığı durumlarda ise ısı dengenin oluştuğu ve dolayısıyla “ısı tarafsızlık” ile beraber konforun sağlandığı ortaya konulmuştur [7]. Isıl dengeye dayalı bu konfor modeli derinlemesine ilk defa P.O Fanger tarafından incelenmiş olup, daha sonra da kendi ismiyle “Fanger Isıl Konfor Modeli” olarak anılmıştır. Fanger modeli bu çalışmada da yer verileceği üzere ısı denge üzerine kurulmuştur.

Bu çalışmada bir okul binasının ısı konfor durumu yapılan ölçüm sonuçları ve dinamik simülasyon kullanılarak Fanger matematiksel modeli ile çözümlenmiştir. Binanın mevcut konfor durumu ortaya konularak çeşitli tasarım ve işletme stratejileri geliştirilmiş ve bu stratejilerin ısı konfora olan etkileri irdelenmiştir. Çalışma, özellikle okul binaları gibi iç ortam kalitesinin önemli olduğu ve günün belli saatlerinde kullanılan binaların konfor şartlarını ve iç ısı ortam optimizasyonunun önemini örnek bir bina üzerinden ortaya koymaktadır.

2. FANGER ISIL KONFOR MODELİ

Literatürde ısı konfor analizleri Fanger ve Two-node modelleri olmak üzere iki başlık altında toplanmıştır. Bunlardan “Two-node” modellemesi süresiz rejimi temel alırken, Fanger ısı konfor modeli ise sürekli rejimde enerji modellemesini temel olarak alır. Isıl konfor denildiğinde ABD ve Avrupa’da oldukça yaygın bir şekilde kullanılan ASHRAE 55 ve ISO 7300 standartları da Fanger’in insan bedeninin ısı dengesine dayanan bu konfor modelini referans alır. Fanger’in oluşturmuş olduğu ısı konfor metodolojisi kullanılarak, bir hacimdeki bireylerin ısı konfor seviyesini tespit edebilmek mümkündür. Isıl konforun tayini için ortamın fiziksel durumuyla beraber, kişilere bağlı faktörlerin de değerlendirildiği ısı duyarlılık ölçeği, PMV (Predicted Mean Vote) ve tahmini konforsuzluk yüzdesi PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) indeksleri geliştirilmiştir.

PMV ve PPD’ye dayanan bu model günümüzde en yaygın kullanılan ısı konfor değerlendirme metodudur. PMV ve PPD indeksi, dolayısıyla ısı duyumu, çeşitli parametrelere dayanmaktadır. Bunlar;

- Ortalama iç sıcaklık
- Ortalama iç bağıl nem
- Ortalama bağıl hava hızı
- Ortalama yüzey sıcaklığı
- Aktivite seviyesi ve tipi
- Giysilerin ısı değeri

olarak verilmiştir [8]. Modelde yukarıdaki değişkenler göz önünde bulundurularak insan bedeninin çevresi ile enerji dengesi ile ilgili aşağıdaki bağıntı geliştirilmiştir.

$$S = H - E_d \pm R_{es} \pm C \pm K \pm R \quad (W/m^2) \quad (1)$$

Burada S, insan bedeninin ısı yükü; H, metabolik ısı üretimini, E_d , deriden ter yoluyla kaybedilen enerji miktarını; R_{es} , solunum yoluyla ısı değişimini, C, taşınım yoluyla olan ısı değişimini; K, iletim yoluyla olan ısı değişimini ve R, ışıınım yoluyla olan ısı değişimini ifade etmektedir.

Bu terimlerin hesaplanmasındaki ana denklemler aşağıdaki Tablo 1’de özetlenmiştir.

Tablo 1. Fanger modelindeki ana denklem ve parametreler [8].

Açıklama	Denklem	
H – Metabolik iç ısı üretimi	$H = M - W$	(2)
E_d – Terleme yoluyla ısı kaybı	$E_d = \lambda \cdot m \cdot A_{Du} \cdot (P_s - P_a)$	(3)
R_{es} – Solunum yoluyla ısı değişimi	$R_{es} = V \cdot [(W_{ex} - W_a) \cdot \lambda + C_p \cdot (t_{ex} - t_a)]$	(4)
C – Taşınım yoluyla ısı değişimi	$C = h_c \cdot A_{Du} \cdot f_{cl} \cdot (t_{cl} - t_a)$	(5)
K – İletim yoluyla ısı değişimi	$K = I_{cl} \cdot A_{Du} \cdot (t_s - t_{cl})$	(6)
R – Işıınım yoluyla ısı değişimi	$R = A_{eff} \cdot \epsilon \cdot \sigma \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{mrt} + 273)^4]$	(7)

Denklem (2)’de verilen, insan bedenindeki iç ısı üretimi (H); metabolik hız (M) ve dış mekanik güç (W) terimlerinin farkıyla bulunur. Metabolik hız ve mekanik güç, kişiden kişiye ve yapılan aktivite türüne göre değişmektedir. Bu değerler deneysel çalışmalar sonucunda bulunmuş ve hem Fanger tarafından hem de ASHRAE 55, EN ISO 8996 standartları kapsamında tablolar halinde sunulmuştur [6, 8].

Terleme yoluyla ısı kaybı, insanın deri yüzeyindeki suyun ya da terin buharlaşması sonucunda gerçekleşir, dolayısıyla kütle transferi söz konusudur. Buradaki enerji bağıntısında (3), terleme yoluyla ısı kaybı (E_d), suyun buharlaşma ısısı (λ), derinin geçirgenlik değeri (m), ortalama yüzey alanı (A_{Du}) ve deri sıcaklığındaki (P_s) ve ortam sıcaklığındaki (P_a) buhar basıncının farkının çarpılması yoluyla hesaplanır. Burada P_s mevcut deri sıcaklığının (T_s) bir fonksiyonudur ve buna bağlı olarak hesaplanır. Ortalama yüzey alanı ise, DuBois tarafından geliştirilen ve kişilerin boy ve kilo özelliklerine bağlı olarak hesaplanabilen bir parametredir [9].

Solunum, bağıntı (3)’de belirtildiği üzere yoluyla ısı değişimi iki yolla olur; gizli ve duyulur ısı kaybı. Duyulur ısı kaybı, solunumla alınan hava miktarı (V), sabit basınçta kuru havanın özgül ısısı (C_p) ve dışarı verilen havanın sıcaklığı (t_{ex}) ve solunan havanın sıcaklığı (t_a) farkı ile hesaplanır. Gizli ısı kaybında ise kütle transferi mevcuttur ve, hava miktarı, suyun buharlaşma ısısı (λ), dışarı verilen havanın nem oranı (W_{ex}) ve solunan havanın nem oranı (W_a) farkı ile hesaplanır.

Denklem (5)’te verilen taşınım yoluyla ısı değişimi (C), ısı taşınım katsayısı (h_c), ortalama yüzey alanı (A_{Du}), giyinilerek kapatılan alan oranı (f_{cl}), giysi yüzey sıcaklığı (t_{cl}) ve ortam sıcaklığının bir fonksiyonudur. Bu denklemdeki taşınım katsayısı, ortamdaki ortalama hava hızına bağlı olarak ifade edilebilir. Bir diğer ısı değişimi yolu olan iletimde, kıyafetin ısı direncine bağlı bir parametre olan I_{cl} söz konusudur. Denklem (6)’daki bu değer giyinen kıyafetin çeşidi, türü ve kalınlığına göre farklı değerler almaktadır. Bu değerler deneysel metotlarla hesaplanmış olup çeşitli kaynaklarda tablolar halinde verilmektedir [5,6].

Son olarak ışıınımla ısı transferi denklem (7)’de gösterilmiştir. Burada vücudun ortalama efektif ışıınım alanı (A_{eff}), giyinik beden ışıınım yayıcılığı (ϵ), Stefan-Boltzmann sabiti (σ), giysi yüzey sıcaklığı (t_{cl}) ve ortalama yüzey sıcaklığı (t_{mrt}) yer alır.

Tüm yukarıda verilen bileşenler kullanılarak bir insanın net ısı yükü (L) denklem (8) ile tayin edilebilir;

$$L = H - f_{cl} \cdot h_c \cdot (T_{cl} - T_a) - f_{cl} \cdot h_r \cdot (T_{cl} - T_{mrt}) - 156 (W_s - W_a) - 0,42 (H - 18,43) - 0,00077 M \cdot (93,2 - T_a) - 2,78 \cdot M \cdot (0,0365 - W_a) \quad (8)$$

Denklem (8)'de verilen bağıntıyı deneysel yöntemler ve kullanıcı anketleriyle bir araya getiren Fanger, ısı duyarlılık ölçeği, PMV'yi hesaplayabilen ana denklemini, denklem (9) da verildiği gibi elde etmiştir.

$$PMV = [(0,303 \cdot e^{(-0,036 \cdot H)}) + 0,028] \cdot L \quad (9)$$

Isıl duyarlılık ölçeği olan PMV, en soğuktan en sığa doğru -3 ile +3 arasında değişmekte ve Tablo 2'de verildiği üzere yedi nokta içermektedir.

Tablo 2. ASHRAE, Fanger ısıl duyum (PMV) ölçeği [5].

PMV Değeri	Isıl Duyum
3	Aşırı Sıcak
2	Sıcak
1	Ilık
0	Normal
-1	Serin
-2	Soğuk
-3	Aşırı Soğuk

Tablo 2'den görülebileceği gibi, ideal olan PMV değerinde "0" değerini sağlayabilmektir. Yani, PMV'de 0 değerine ne kadar yaklaşırsa, ısıl eşitlik sağlanacak ve kişilerin ortamdaki ısıl memnuniyeti o kadar artacaktır. En yaygın kullanılan iç ortam kalitesi standartları ISO 7730 ve ASHRAE 55, PMV değerlerinin $\pm 0,5$ aralığında olmasının kullanıcılar için en uygunu olduğunu belirtmektedir [5,6].

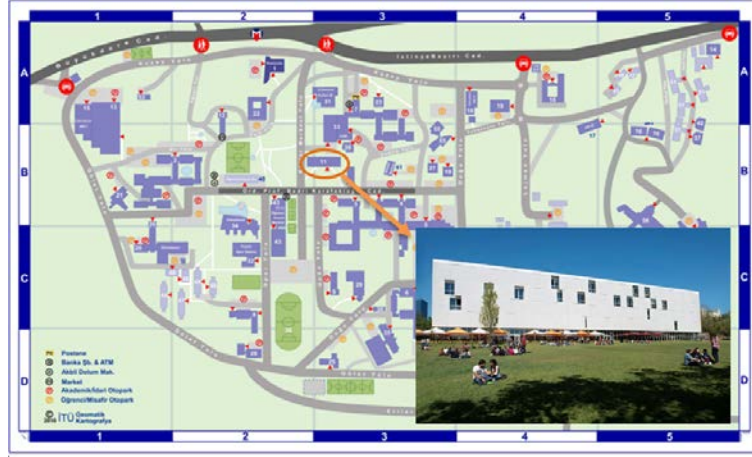
Isıl duyarlılık ölçeğinin yanı sıra, buna bağlı olarak ortamdaki tahmini memnuniyetsiz kişi sayısını veren (PPD) de aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir.

$$PPD = 100 - 95 e^{(-0,03353 PMV^4 + 0,2179 PMV^2)} \quad (10)$$

3. BİR OKUL BİNASINDA ISIL KONFOR MODELLENMESİ

3.1. Merkezi Derslik

Bu bölümde yukarıda hesaplama metodolojisi verilen ısıl konfor hesaplarının değerlendirilmesi verilmiştir. Isıl konforu hesaplayabilmek ve örnek bir model üzerinde çalışabilmek için İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa Yerleşkesinde yer alan Merkezi Derslik Binası (MED) seçilmiştir. MED, içerisinde amfi tipi sınıflar, seminer odaları, akademisyen ofisleri, bilgisayar laboratuvarları, kafeteryalar gibi pek çok farklı kullanıma sahip alanı sunan bir yapıdır.



Şekil 1. Merkezi Derslik Binasının konumu.

Bir giriş katı, iki normal kat ve iki asma kat olmak üzere toplam 5 kattan oluşan binanın yerleşkedeki konumu ve yerleşimi Şekil 1’de verilmiştir. Yapı, Kuzeybatı-Güneydoğu istikametinde konumlandırılmış ve herhangi bir binaya bitişik olmadan müstakil bir biçimde yer almaktadır. Binada 128 değişik oda bulunmakta, bunlardan 16’sını kuzeyde yer alan amfi tipi sınıflar oluşturmaktadır. Amfi tipi sınıfların kat yüksekliği iki kat yüksekliğine (yaklaşık 8.1 m.) ulaşmaktadır. Güney cephede ise, akademisyen ofisleri ve seminer odaları mevcuttur. Bu odalar tek kat yüksekliğinde olup, kat yükseklikleri 3.6 metredir ve güney cephede boydan boya giydirme cam cephe elemanı ile kaplanmıştır. Giydirme elemanının dışında kullanıcı kontrolüne bağlı olarak hareket edebilen gölgelendirme elemanı yer almaktadır. Bu gölgeleme elemanı ve güney cephe, Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Güney (ofis ve seminer odaları) cephesi ve hareketli gölgelendirme elemanı.

Mevcut binanın iklimlendirme ihtiyacı için binada çeşitli sistemler yer almaktadır. Isıtma, doğalgaz kazanı ile beslenen Fan-Coil üniteleri (FCU) ve değişken soğutucu akışkan debili iklimlendirme cihazları (VRF) ile sağlanmaktadır. Soğutma içinse, binada Fan-Coil üniteleri için mevcut bir soğutucu çiller ünitesi bulunmamakla birlikte soğutma yalnızca VRF yardımı ile yapılmaktadır. MED’in havalandırması kat aralarında bulunan mekanik odalardaki havalandırma kutusu (plenum) aracılığı ile gerçekleştirilmektedir. Buradaki sistemde de yalnızca doğalgaz kazanına bağlı ısıtıcı serpantinler bulunmakta, ancak taze hava soğutma için herhangi bir serpantin bulunmamaktadır.

3.2. Isıl Konfor Ölçümü ve Hesaplamalar

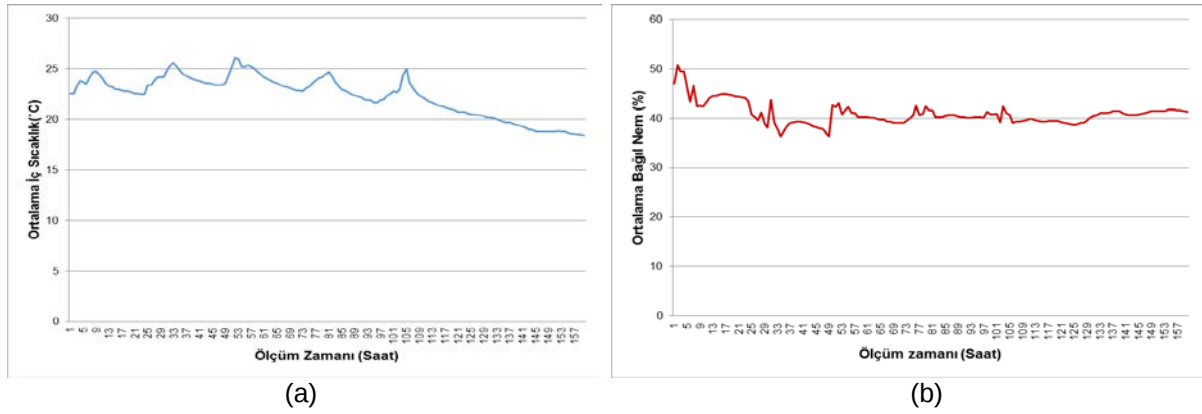
3.2.1. Simülasyon modeli ve doğrulanması

Merkezi Dersliğin mevcut iç ortam koşullarının değerlendirilebilmesi için, önceki kısımlarda verilen hesaplama metodolojisi ve binanın termofiziksel özellikleri önem taşımaktadır. Binayı ısı konfor açısından inceleyebilmek için binadaki kuzey en üst kısımda yer alan AMFİ 12’de 15 – 21 Şubat 2016 tarihleri arasında 1 hafta süreyle aralıksız sıcaklık ve nem ölçümü gerçekleştirilmiştir. Ölçüm cihazının özellikleri ve hata aralıkları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 3. Ölçüm cihazının özellikleri ve hata aralıkları [10].

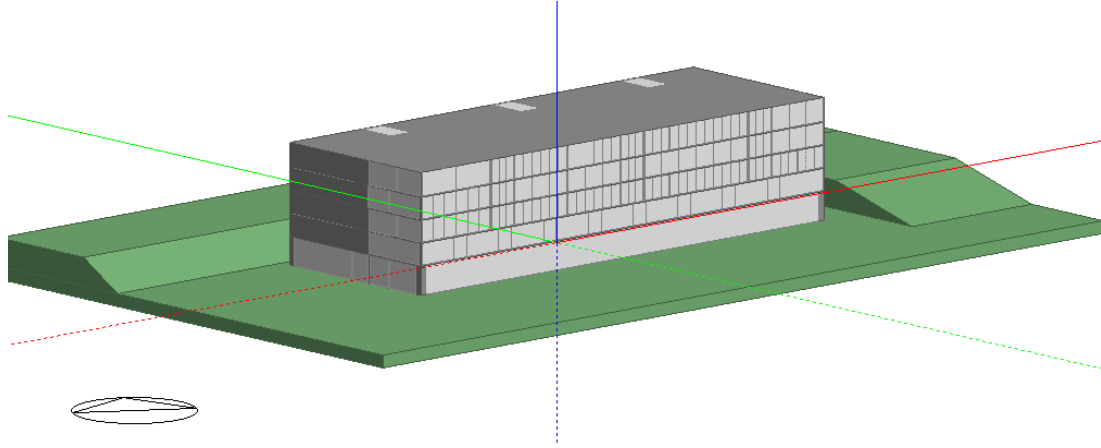
Özellik	Kullanım aralığı	Hata aralığı
Sıcaklık	-40÷70 °C	±1,0 (-10÷40°C) ±2,0 (diğer tüm aralıklarda)
Nem	%0÷100 Bağıl Nem (BN)	±3%BN (%40÷60) ±3,5%BN (%20÷40 & 40÷80) ±5%BN (%0÷20 & 80÷100)

Ölçüm cihazı, insan etkileşimi ve hava akımından etkilenmemesi amacıyla uygun konum ve pozisyona yerleştirilmiş ve bir hafta süreyle ölçümler yapılmıştır. Şartlandırılan ortamın ölçülen sıcaklık ve nem değerleri Şekil 3’te gösterilmiştir.



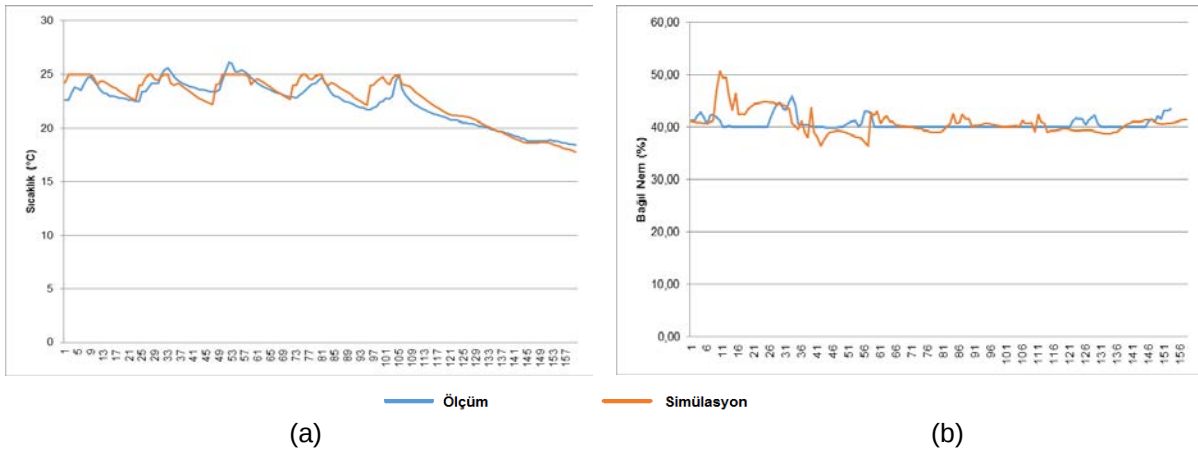
Şekil 3. Ölçüm alanının sıcaklık(a) ve bağıl nem(b) değerleri.

Yukarıdaki ölçüm sonuçlarının da ışığında binanın tamamının saatlik ısı konfor hesaplamasını yapabilmek için dinamik ısı analiz yöntemlerine başvurulmuştur. Simülasyon araçları binaların mimari, mekanik ve yapı açılarından denetlenmesi açısından önemli programlardır ve günümüzde kullanımları gitgide yaygınlaşmaktadır. Bu programlar, binanın geometrisi, konumlandırılması, iklim koşulları, iç yükleri, mekanik sistemleri, işletme stratejilerinin de dâhil olduğu parametreleri referans alarak verilen binanın enerji ve ısı çözümlemesini gerçekleştirebilmektedir [11, 12]. Bu çalışmada da ısı çözümlemedeki üstün özellikleri sebebiyle, EnergyPlus motorunu kullanan DesignBuilder programı kullanılmış ve binanın modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Binanın oluşturulan modeli Şekil 4’te verilmiştir.



Şekil 4. Binanın oluşturulan DesignBuilder modeli.

Modelde gerçekleştirilen analiz ve hesaplamalar, daha önce yapılmış olan ölçüm sonuçlarıyla aynı gün ve iklim verileri kullanılarak gerçekleştirilmiş ve dolayısı ile modelin doğrulanması sağlanmıştır. Model analizinin ve ölçüm sonuçlarının karşılaştırmalı grafiği Şekil 5'te sunulmuştur.

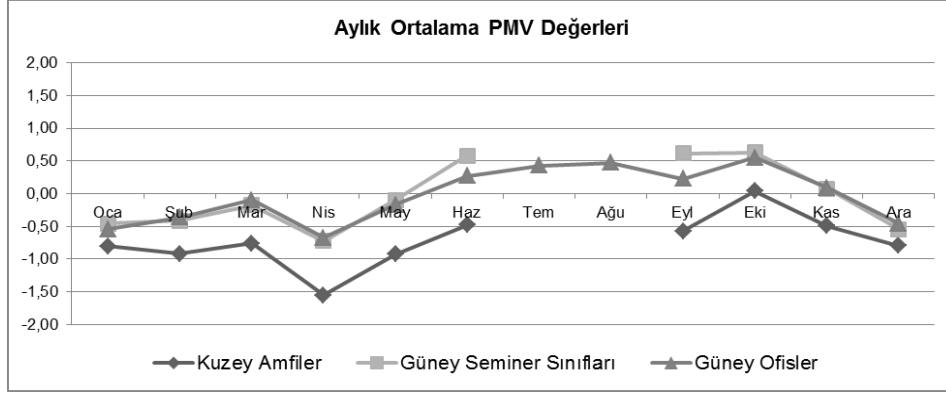


Şekil 5. Simülasyon modelinin doğrulanması (a) Sıcaklık (b) Bağıl nem.

Şekil 5(a)'da gösterilen grafikten de görülebileceği gibi, simülasyon ve ölçüm arasındaki sıcaklık farkı, cihazın hata payı olan 1°C'yi neredeyse hiç geçmemektedir. Toplam 160 saatlik ölçümde, sıcaklık için hata payı %3 gibi düşük bir rakama tekabül etmekte ve kabul edilebilir sınırlar içerisinde yer almaktadır. Şekil 5(b)'de ise bağıl nem sonuçları verilmiştir. Sınıfta bağıl nem fazla değişmemekte, ancak %40-50 aralığında bulunmaktadır. Bu aralıkta ölçüm ekipmanının hata payı %3,5'tur ve toplam ölçüm saati boyunca sapma %3 olarak hesaplanmıştır. Bu sapma özellikle ilk ölçüm saatlerinde gerçekleşen ölçümlerden kaynaklı olmakla beraber, sınıfın doluluk oranının ilk günlerde normalden yüksek seviyede olması ve yağmur vb. gibi iklim koşulları bu sapmada etkili olmaktadır.

3.2.1. Mevcut ısıl konforun hesaplanması

Doğrulanmış simülasyon modelindeki ve ölçümden alınan saatlik veriler kullanılarak mevcut binadaki değişik zon gruplarının ısıl konforu daha önce tanıtılan Fanger ısıl konfor modeline göre hesaplanmıştır. Bu grupların aylık ortalama PMV değerleri Şekil 6'da verilmiştir. Doluluk oranları gerçek duruma göre hesaplanmış olup bu hesaplamalarda binanın yalnızca kullanımda olduğu zaman aralıkları hesaba katılmıştır. Dolayısıyla, amfiler ve sınıflar için yaz aylarında öğrenci olmadığından ötürü herhangi bir değer elde edilmemiştir.



Şekil 6. Değişik zon gruplarının aylık PMV ortalama değerleri.

MED, ortak alanların dışında 3 farklı ısıtılıp soğutulan hacimden meydana gelmektedir: kuzey cephede yer alan amfiler, güney cephede yer alan seminer sınıfları ve ofisler. Bu üç zon grubunun PMV ısı konfor indeksi incelendiğinde özellikle kuzey cephedeki amfi tipi sınıfların oldukça soğuk hissettirdiği ve zaman zaman ısıl konforsuzlukların meydana geldiği görülmüştür. Bunlara temel sebep olarak, kuzey cephedeki amfilerin güneş ışığı almaması ve amfilerin yalnızca 07.00-17.00 arasında ısıtılıp/soğutulması dolayısıyla binada ısıtmayan süreçte ısı yığılmaların oluşması ve sabah saatlerinde ısıl konforun oldukça düşük olması gösterilebilir. Güney cephedeki zonlarda ise, boydan boya cam olması ve taze hava santralinde soğutucu serpantin olmaması yaz aylarında sıcaklıkların artmasına sebep olup, konforun azalmasına yol açmıştır.

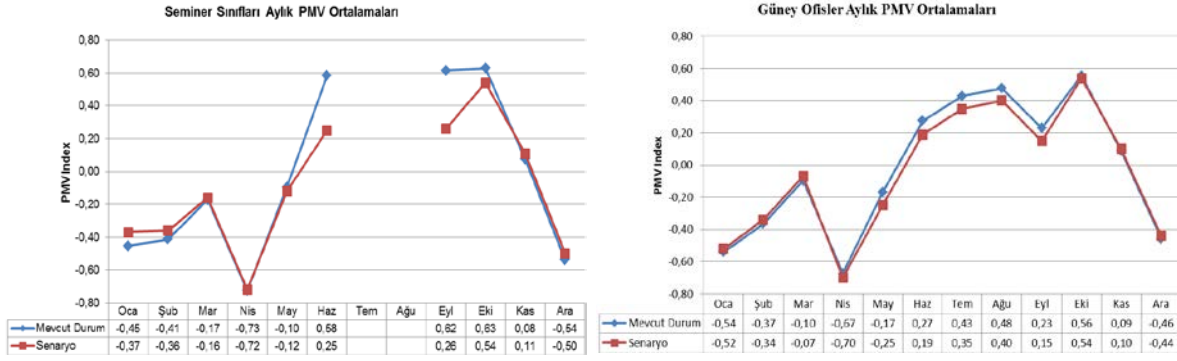
Tüm bunlar göz önünde bulundurularak farklı işletme ve tasarım stratejileri geliştirilmiş, hem bu stratejilerin konfora olan etkisi gözlenmiş; hem de binada daha önce bahsi geçen “ısıl tarafsızlığa” ulaşmaya çalışılmıştır. Bu stratejiler;

- Taze hava santralinin optimizasyonu
- Gölgeleme elemanının konumlandırılmasının tayini
- Sıcaklık ayar (set-point) optimizasyonu
- Ön/Isıtma Soğutma
- Kıyafetlerin ortamdaki konfora aylık etkisinin incelenmesi

olarak belirlenmiştir. Taze hava santralinin optimizasyonu ve gölgeleme elemanı konumlandırma stratejileri, özellikle güney cephede yer alan ofisler ve seminer odaları için geliştirilmişken; sıcaklık ayar (set-point) optimizasyonu, ön ısıtma/soğutma stratejileri kuzey cephede yer alan ve ısıl hissin “soğuk” olarak ortaya konduğu amfi tipi sınıfların konfora ulaşabilmesi amacı ile oluşturulmuştur. Kıyafetlerin etkisi ise bina genelinde incelenecektir.

3.2.2. Taze hava santralinin optimizasyonu

Önceki kısımlarda belirtildiği üzere, binanın mevcut taze hava santralinde yalnızca ısıtıcı serpantin bulunmakta ve ortak hol ve koridorlardaki taze hava santrali yalnızca saat 17.00’ye kadar çalıştırılmaktadır. Bu durum özellikle, güney cephede kat yüksekliği boyunca cam alanı içeren ve çoğunlukla saat 17.00’den sonra da kullanımda olan ofis ve seminer oda grupları için yaz aylarında konforsuzluk oluşturmaktadır. Taze hava santralinin optimizasyonu, sisteme soğutucu serpantin eklenmesi ve kullanıcı bulunması halinde ortak alanlara şartlandırılan taze havanın verilmesi ile gerçekleştirilmiştir. Bu senaryonun sonuçları güney ofis ve seminer odalarında Şekil 7’deki gibi hesaplanmıştır ve mevcut durumla karşılaştırması sağlanmıştır.

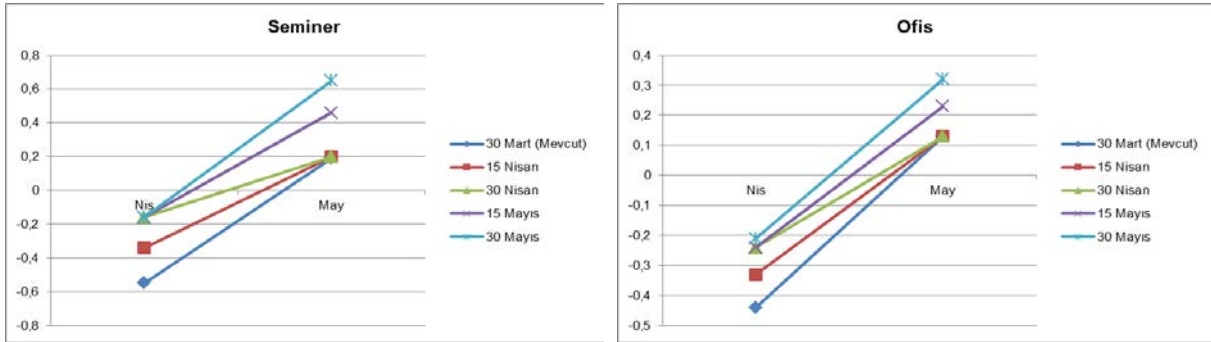


Şekil 7. Havalandırma santrali optimizasyonunun seminer ve ofislerdeki etkisi.

Şekillerden de görüleceği üzere, havalandırma santraline yapılan müdahale özellikle soğutma gün sayısına dahil olan yaz ayları içerisinde önemli bir etki sağlamış ve PMV istenilen aralık olan $\pm 0,5$ aralığına yaklaşmıştır.

3.2.2. Gölgeleme elemanının konumlandırılmasının tayini

Daha önce belirtildiği üzere, binanın güney cephesinde hareketli bir gölgeleme elemanı bulunmaktadır. Bu stratejide, gölgeleme elemanının konumlandırılmasının konfor üzerine etkisi ve optimum açık ve kapalı olma ay aralığı bu cephede yer alan bir ofis ve seminer odasında değişik tarihler için incelenmiştir. Sonuçlar Şekil 8'de verildiği gibidir.

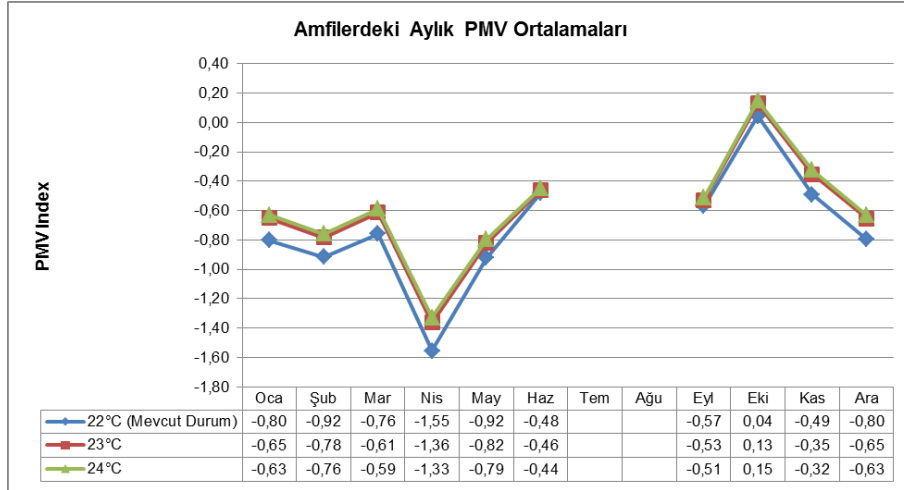


Şekil 8. Gölgeleme elemanının konumlandırılmasının tayininin seminer ve ofislerdeki etkisi.

Binanın mevcut kullanım halinde gölgeleme elemanı Mart sonuna kadar kapalı tutulmakta daha sonra açılmaktadır. Ancak ısı konfor analizi göstermiştir ki, Nisan ayı içerisinde ofis ve seminer odalarında PMV eksi değer almakta yani "biraz soğuk" hissiyatı yaşatmaktadır. Bu dikkate alındığında, gölgeleme elemanının Nisan ayı boyunca da açık olarak tutulması, bu hacimlerdeki konforun artması anlamına gelmektedir.

3.2.3. Sıcaklık ayar (set-point) noktasının optimizasyonu

MED'in mevcut durumunda sıcaklık ayarı, TS EN 15251 Standardı da göz önünde bulundurularak ısıtma dönemi için 22°C , soğutma dönemi içinse 24°C olarak belirlenmiştir [13]. Binanın sıcaklık ayarı standartlara dayalı yapılmış olsa da, her hacim için aynı değerin belirlenmesi ısı konforsuzluğu da beraberinde getirmektedir. Bu çalışmada yapılan analizin açıkça ortaya koyduğu gibi, kuzey cephede bulunan ve neredeyse hiç direkt güneş ışığı almayan yüksek hacme sahip amfi gruplarında ısı duyumu oldukça soğuk olarak hissedilmektedir. Bu nedenle, ısıtma için 23°C ve 24°C olmak üzere iki farklı sıcaklık ayar noktası stratejisi geliştirilmiş ve mevcut durumla kıyaslanmıştır. Bu stratejilerin kıyaslanması aşağıdaki Şekil 9'da verilmiştir.

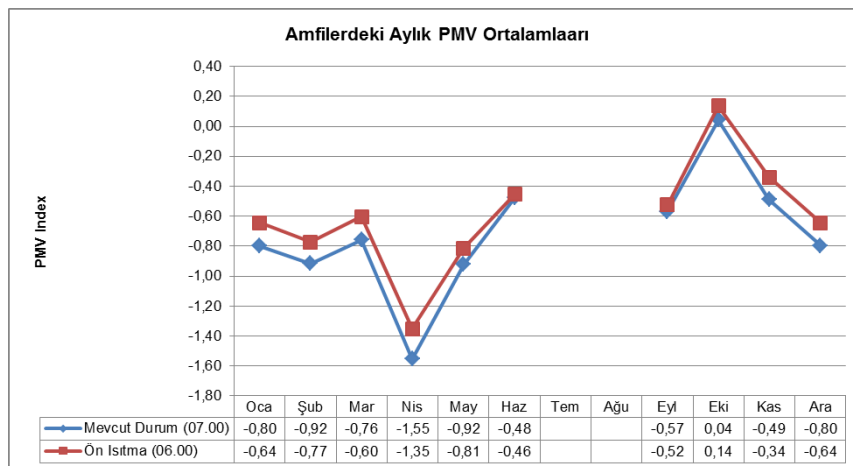


Şekil 9. Sıcaklık ayar noktası optimizasyonunun kuzey amfilerdeki etkisi.

Şekil 9'daki sonuçlardan görülebileceği üzere, özellikle kış ayarlarında seçilen sıcaklık değerini artırmak amfilerdeki ısı konforun artırılması için oldukça efektif bir yöntemdir ve amfilerin istenilen ısı duyumu aralığına gelebilmesinde katkısı olmuştur. Ancak yine de tek başına yeterli bir çözüm olmamakla beraber, bir sonraki işletme stratejisi olan ön ısıtma ile birlikte çözüm olarak sunulmuştur.

3.2.4. Ön ısıtma

MED'in mevcut durumunda ısıtma sistemleri sabah 7.00'de çalıştırılmaktadır. Bu durum özellikle geceleri ısı yığılmalarının meydana gelmesine sebep olmakta ve kışın derslerin başladığı saat olan 8.30'ta büyük konforsuzluklara yol açmaktadır. Saatlik analizler göstermiştir ki, amfilerdeki sıcaklık kış aylarında geceleri özellikle 5-10°C seviyesine kadar düşmekte ve sistem çalıştırıldığından itibaren geçecek 1,5 saatlik zaman bu sıcaklığı istenilen seviyeye çekebilmekte yeterli olmamaktadır. Bunu önleyebilmek amacıyla, duyumu soğuk olduğu kuzey amfileri için 1 saat önce, ön ısıtma öngörülmüş ve sonuçları Şekil 10'da verilmiştir.



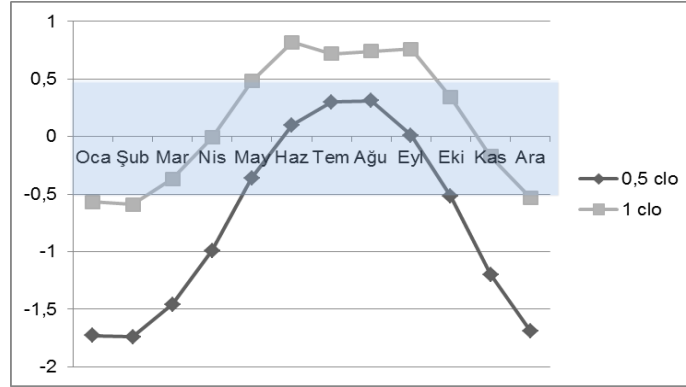
Şekil 10. Ön ısıtmanın kuzey amfilerdeki etkisi.

Sonuçların da gösterdiği üzere, saat 6.00'da planlanacak 1 saatlik ön ısıtma süreci amfilerin kış ayındaki yol açtığı konforsuzluklara pozitif yönde bir etki yapacak ve oda koşullarını kullanıcılar

açısından daha iyi bir konuma taşıyacaktır. Bu senaryoyla birlikte, bir ısıtma derecesinin artırılması ise amfilerdeki ısı duyumu -0,5 ve +0,5 aralığına taşınmasında rol oynayacaktır.

3.2.5. Kıyafetlerin ortamdaki konfora aylık etkisinin incelenmesi

Fanger Isıl Konfor modelinde de detaylıca incelendiği üzere, kıyafet ve kıyafetin sağladığı yalıtım oranı, ısı konforu etkileyen önemli parametrelerden biridir. Mevcut modelde, simülasyon programı bu yalıtım değerlerini Ekim ve Mart ayları arasında 1 clo, Nisan ve Eylül ayları arasında ise yaz koşulu olarak 0,5 clo olarak varsaymaktadır. Bu değerler ASHRAE 55 ve ISO 7730 tarafından önerilen ısıtma ve soğutma günleri için geçerli kabul edilebilecek kıyafet yalıtımı değerleridir. Ancak, özellikle mevsim geçiş ayları olan Nisan ve Ekim aylarında bu durum ani iniş çıkışlara ve dolayısıyla ısı konforsuzluklara yol açmaktadır. Buna bir çözüm getirebilmek için, 0,5 ve 1 clo değerleri ile tüm binanın ortalama PMV değerleri için bir analiz yapılmış ve sonuçları Şekil 11’de verilmiştir.



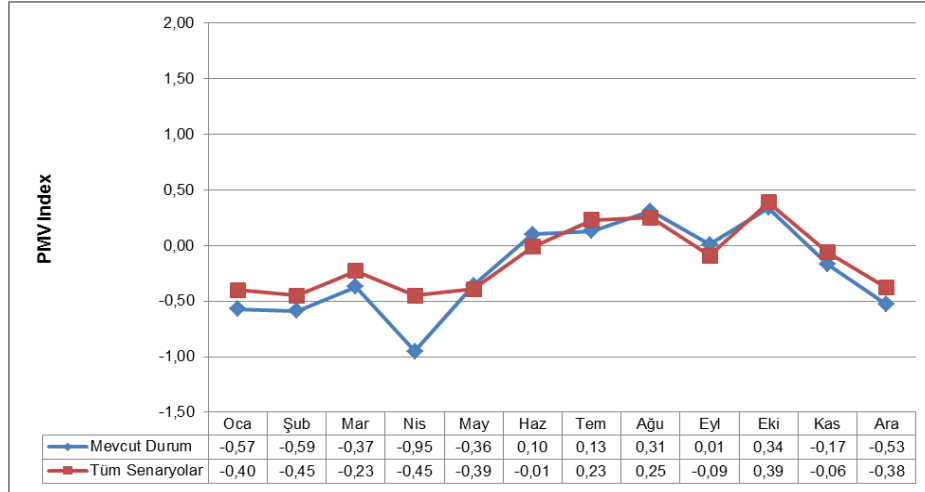
Şekil 11. Kıyafetlerin ortamdaki konfora aylık etkisinin incelenmesi.

Bu analizde referans aralığı olarak standartlarda verilen $\pm 0,5$ aralığı alınmış ve buna göre yaz kıyafetleri olarak verilebilecek 0,5 clo aralığının mevcuttaki “Nisan – Ekim” aylarının aksine “Mayıs – Ekim” Ayları arasında olmasının daha konforlu olacağı ortaya konmuştur.

SONUÇ

Bu çalışmada Fanger’in temellerini attığı insan vücudunun çevresiyle olan etkileşimini inceleyen ısı konfor modeli detaylıca incelenmiş ve örnek bir okul binası üzerinde ölçüm ve dinamik simülasyon yönetimi ile mevcut konfor şartları hesaplanmıştır. Mevcut konfor şartları, binanın en çok kullanılan alanları olan üç farklı kategoride ortaya konulmuştur; kuzey amfiler, güney seminer sınıfları ve güney ofisleri. Mevcut analizler göstermiştir ki, kuzeyde konumlandırılmış 8,1 metre tavan yüksekliğindeki amfi sınıfları, binanın özellikle kış aylarında en konforsuz bölümleridir. Yıllık dağılımda, $\pm 0,5$ aralığında tutulması tavsiye edilen ısı duyumu PMV değerleri, amfilerde 0,04 ve -1,55 aralığında seyretmektedir. Buna sebep olan bir diğer neden ise bu amfilerin yalnızca 07.00 – 17.00 saatleri arası ısıtılıp/soğutulması ve dolayısıyla ısıtılmayan bu büyük hacimli odalarda uzun süreçte ısı yığılmalarının oluşmasıdır. Bu durum, özellikle sabahın ilk saatlerinde öğrencilerin üşümesine ve büyük bir konforsuzluğa yol açmaktadır.

Bir diğer yandan, güney cephede konumlanmış ofis ve seminer odalarda ise boydan boya cam yapısı ve taze hava santralinde soğutucu serpantin olmaması yaz aylarında bu odalarda sıcaklıkların artışına sebep olup konfor aralığının dışına çıkmasına neden olmuştur. Tüm bunlar göz önünde bulundurularak, amfilerde: sıcaklık ayarının 24°C 'ye çekilmesi ve ön ısıtma; ofis ve seminer odalarında gölgeleme elemanı ve taze hava santrali optimizasyonu; bina genelinde ise kıyafet düzeyinin toplam konfora etkisinin incelenmesi senaryoları geliştirilmiştir. Tüm bu senaryoların hepsinin sağladığı toplam senaryonun sonuçları bina geneli için Şekil 12’de sunulmuştur.



Şekil 12. Tüm senaryoların bina genelinde mevcut ısı konfora etkisinin incelenmesi.

Şekil 12’de de verildiği üzere bu çalışmada irdelenen senaryoların uygulanması, binanın ortalama aylık PMV değerlerini standartlarda önerilen -0,5 ve +0,5 aralığında tutmayı sağlamıştır. Bu binanın öğretimde kullanılan bir okul binası olması ve pek çok çalışmada da verildiği üzere kişilerin konforu ile üretkenlik arasındaki bağ da düşünülecek olunursa, çalışmanın önemi ve bahsi geçen optimizasyonun sağlanmasının gerekliliği de bir kez daha gözler önüne serilecektir. Bu bakımdan, çalışma, özellikle okul binaları gibi iç ortam kalitesinin önemli olduğu ve günün belli saatlerinde kullanılan binaların konfor şartlarını ve iç ısı ortam optimizasyonunun önemini örnek bir bina üzerinden ortaya koymaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] ESKİN N., GÜR, M., BAHAR, A., ALTINTAŞ, Ü., “” Konut Dışı Bir Binada Isıl Konforun ve Performans Kayıplarının Analizi”, 11. Uluslararası Yapıda Tesisat Teknolojisi Sempozyumu, 8-10 Mayıs, İstanbul, 2014.
- [2] LAN, L., “Optimal thermal environment improves performance of office work”, REHVA Journal, pp. 12-17, Jan. 2012.
- [3] SEPPÄNEN, O., FISK, W.J., LEI, Q.H., “Effect of Temperature on Task Performance in Office Environment,” Berkeley, 2006.
- [4] TANABE, S., NISHIHARA, N., HANEDA, M., “Indoor temperature, productivity and fatigue in office tasks,” HVAC&R Research, vol. 13, no. 4, 2007.
- [5] ASHRAE, “ANSI/ASHRAE 55:2010 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy,” Ashrae Standard, vol. 2004. p. 30, 2012.
- [6] International Organization for Standardization, “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,” vol. 3. pp. 605–615, 2005.
- [7] WARD, I. C., , Energy and Environmental Issues for the Practising Architect: A Guide to Help at the Initial Design Stage. Thomas Telford, 2004. STEIDEL, R.F. Jr., “An Introduction to Mechanical Vibrations”, John Wiley & Sons. Inc., Aug.1971.
- [8] FANGER, P.O., Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering. McGraw-Hill Book Company, 1970.
- [9] ASHRAE, ASHRAE Handbook-Fundamentals. ASHRAE Inc., 2009.
- [10] EXTECH Instruments, “RHT Data Sheet.” p. 1, 2013.
- [11] HENSEN, J., DJUNAEDY, E., RADOŠEVIĆ, M., YAHIAOUI, A., “Building performance simulation for better design : some issues and solutions,” 21st PLEA International Conference Passive and Low Energy Architecture, Eindhoven, September 19-21, 2004.
- [12] BAHAR, Y., PERE, C., LANDRIEU, J., NICOLLE, C., “A Thermal Simulation Tool for Building and Its Interoperability through the Building Information Modeling (BIM) Platform,” Buildings, vol. 3, no. 2, pp. 380–398, 2013.

- [13] Turkish Standards Institution, “TS EN 15251: Indoor environmental input parameters for design and assesment of energy performance of building addressing indoor environmental quality, thermal environment, lighting and acoustics,” no. 2008–01. pp. 1–54, 2008.

ÖZGEÇMİŞ

Ergin KÜKRER

1990 yılı Eskişehir doğumludur. 2008–2012 yılları arasında Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Isı Tekniği ve Termodinamik Anabilim Dalında öğrenim görerek, 2012 yılında Makine Mühendisi unvanını almıştır. Yüksek lisans eğitimini İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği, Isı – Akışkan programında 2016 yılında tamamlamış ve 2014-2017 yılları arasında İ.T.Ü Enerji Enstitüsü'nde Binalarda Enerji Verimliliği kapsamında bir Avrupa Birliği 7. Çerçeve projesinde Proje Destekli Araştırma Görevlisi olarak çalışmıştır. Eğitimini, 2016'da başladığı İ.T.Ü Makine Mühendisliği doktora programında sürdürmekte olan Kükrer, binalarda enerji verimliliği, yenilenebilir enerji entegrasyonu, mekanik sistemler, ısı konfor ve iç ortam kalitesi alanlarında çalışmaktadır.

Nurdil ESKİN

Boğaziçi Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünden önce lisans, daha sonra Y. 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 ve yönetim kurulu üyesi de olan 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 bildiriler olmak üzere toplam 110 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.