

	SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i>		
	e-ISSN: 2147-835X Dergi sayfası: http://www.saujs.sakarya.edu.tr		
	<u>Gelis/Received</u> 15.02.2017 <u>Kabul/Accepted</u> 22.03.2018	<u>Doi</u> 10.16984/saufenbilder.292296	

Isıl konfor sıcaklıklarına bağlı olarak bir konutun enerji performansının değerlendirilmesi: İzmir örneği

Nurdan Yıldırım^{*1}, Ebru Kuzgunkaya², Gülden Gökçen Akkurt³

ÖZ

Türkiye’de enerji tüketiminin yaklaşık %34’ü binalarda ve bunun %85 kadarı da ısıtma ve soğutma amaçlı kullanılmaktadır. Binalarda bulunan HVAC sistemlerinin işletme özellikleri, hem binanın ısı konforunu hem de enerji tüketimlerini doğrudan etkilemektedir. Bu çalışmada, HVAC sistemlerinin işletme şartlarının, ısı konfor koşulları ile enerji tüketimlerine olan etkisinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla İzmir ilindeki 100 m²’lik bir konut için öngörülen HVAC sisteminin kesikli ve sürekli rejimde, tek ve çift sıcaklık set değerleri ile tam mekanik kontrollü veya doğal havalandırılmalı olarak çalıştırılması durumları incelenmiştir.

Isıl konfordan olan memnuniyet; Tahmini Ortalama Oy (Predicted Mean Vote - PMV) değeri ile ifade edilmektedir. Bu kapsamda öncelikle, Design Builder yazılımı kullanılarak en iyi duruma karşılık gelen PMV=0’a göre HVAC sisteminin set sıcaklıkları belirlenmiştir. Bu sıcaklık set değerlerinin kullanılması ile ele alınan 5 farklı durumda konut için yıllık birim ısıtma/soğutma enerji tüketimleri, birim birincil enerji tüketimi, yıl boyunca ailenin evde bulunduğu saatlerde sağlanan PMV değerleri ve PMV değerlerinin istatistiksel değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, incelenen 5 durum arasında normal beklenti seviyesinde % 99,6 kümülatif frekans yüzdesi ile ısı konforu en çok sağlayan tam mekanik kontrollü, sürekli rejim, aylık çift ısıtma/soğutma operatif sıcaklık set değerli durumdur. Tam mekanik kontrollü, kesikli rejim, aylık tek ısıtma/soğutma hava sıcaklığı set değerli durum ise 2,04 kWh/m²/%KF birim memnuniyet enerji tüketimi değeri ile en az enerji tüketen durum olmaktadır.

Anahtar Kelimeler: ısı konfor, enerji tüketimi, PMV, Fanger ve adaptif metod

* Corresponding Author

¹ Yaşar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, nurdan.yildirim@yasar.edu.tr

² İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Jeotermal Enerji Araştırma ve Uygulama Merkezi, ebru.kuzgunkaya@iyte.edu.tr

³ İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, guldengokcen@iyte.edu.tr

Energy performance assessment of a residential house based on thermal comfort temperatures: Izmir sample

ABSTRACT

34% of the energy consumption in Turkey belongs to buildings and around 85% of this consumption is utilized for heating purposes. The operating characteristics of the HVAC systems in buildings directly affect both the building's thermal comfort and energy consumption. This study aims to determine the effect of operating conditions of the HVAC system on thermal comfort and energy consumption of residential buildings. For this purpose, the HVAC system for a 100 sqm residence in İzmir city has been investigated according to the single and double temperature set values at continues and intermittent operating modes for fully mechanically control or natural ventilation conditions.

Thermal comfort satisfaction is expressed by PMV value. In this context, primarily the set temperatures of the HVAC system are determined for $PMV = 0$ which represents the best case of thermal comfort by using Design Builder software. Annual specific heating/cooling energy consumption, annual primer specific energy consumption, hourly PMV values during occupancy hours and statistical evaluation of these PMV values of a residential house are realized for considered 5 different operating conditions of HVAC system by using determined temperature set values. According to the obtained results, among 5 cases, the case with fully mechanical controlled, continuous regime, monthly dual heating/cooling operative set values, provides the maximum thermal comfort for normal expectation level of the thermal comfort with a cumulative frequency of 99.6%. The case, with fully mechanical controlled, intermittent regime, monthly single heating/cooling operative set values, consumes the minimum energy with specific satisfaction energy consumption of $2.04 \text{ kWh/m}^2/\% \text{ KF}$.

Keywords: thermal comfort, energy consumption, PMV, Fanger and adaptive method

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Avrupa Birliği'nde binalarda enerji tüketiminin azaltılması amacıyla yayınlanan DIRECTIVE 2002/92/EC [1], her üye ülkenin binaların enerji performansının hesaplanması için bir metot geliştirmesini öngörmekte ve bu metotta enerji ihtiyaçlarının belirlenmesinde iç ısı konfor koşullarının gözetilmesini şart koşmaktadır. Binalarda ısı konfor ve iç hava kalitesinin belirlenmesine yönelik olarak kullanılan standartlar EN ISO 7730 [2], CR 1752 [3], ASHRAE 55-2013 [4] ve TS 2164 [5]'dür.

Binaların ısıtma ve soğutma enerji ihtiyacı/tüketimi, ısı konfor ihtiyacına bağlı olarak değişir ve bu nedenle ısı konfor seviyesinin net bir şekilde tanımlanması önemlidir. Binalarda enerji performansı ile konfor seviyesinin ilişkilendirilmesi üzerine yapılmış pek çok çalışma mevcuttur [6-15]. Isıl konfor seviyesinin sınıflandırılması ve sertifikasyonu prEN 15251 [16] standardı tarafından yapılmaktadır. Bu standart, HVAC sistem tasarımında kullanılacak

ısı konfor parametrelerinin belirlenmesinin yanısıra ölçüm ve hesaplamalardan kaynaklanan uzun vadeli ısı konfor değerlendirme metodlarını da tanımlar. Isıl konfor seviyesi 4 kategoride sınıflandırılır: I. kategori, ısı konfor açısından en yüksek beklenti seviyesini, dolayısı ile en yüksek memnuniyet seviyesini ($-0,2 < PMV < +0,2$) gösterir. Engelli, hasta kişiler, yaşlılar ve çocukların bulunduğu hacimler için tavsiye edilir. II. kategori, yeni ve tadilat görmüş binalar için kullanılır ve normal beklenti seviyesine karşılık gelir. Bu kategori için $-0,5 < PMV < +0,5$ aralığı önerilir ki standartlarda ve uygulamalarda yaygın olarak kullanılan ısı konfor aralığıdır [2, 6, 13, 17-19] ve Beklenen Memnuniyetsizlik Yüzdesi (Predicted Percentage Dissatisfied - PPD) göstergesi % 10'un altındadır. Havalandırma Binalar için - Bina İç Ortamlar İçin Tasarım Kuralları standardı olan CR 1752 [3]'ye göre bu aralık Kategori B olarak tanımlanır.

Konfor koşulları; hava sıcaklığı, bağıl nemi ve hızının yanı sıra hacmi çevreleyen yüzeyler ile hacim içinde yer alan objelerin yüzey sıcaklıkları (ortalama radyasyon sıcaklığı) ile doğrudan

ilişkilidir. Hava sıcaklığı ile ortalama radyasyon sıcaklığının kombinasyonundan oluşan operatif sıcaklık, ısı konforunun tanımlanması için önemli bir sıcaklıktır [2], [4], [17]. İnsan vücudu operatif sıcaklığa karşı daha hassastır ve bu nedenle ASHRAE 55 [4] ve EN ISO 7730 [2]'de ısı konfor sıcaklığı olarak "operatif sıcaklık" değerleri verilmiştir. Her bir kategori için, değişen PMV aralıklarına karşılık gelen ve hacimde yaşayanların hareket düzeyi ve giyim şekline bağlı ve ısı konforunun tanımlanması için önemli bir sıcaklık olan operatif sıcaklıklar belirlenebilir [20-21].

Isıl konfor ve bunun enerji tüketimi ile ilişkisi, ısı konforu sağlayan HVAC sistem stratejilerine (mekanik, doğal, hibrit) bağlı olarak analiz edilir. Bu stratejiler kullanıcı beklentileri ve davranışlarına bağlıdır. Fanger ısı konfor modeli, kullanıcı müdahalesine izin vermeyen kontrollü bir HVAC sisteminin mevcut olduğu, tamamen kapalı (doğal havalandırmanın mümkün olmadığı) bir iklim çemberinde bulunan kişiler üzerinde yapılan deneysel çalışmalar ile geliştirilmiştir. Bu nedenle merkezi HVAC sistemi bulunan binaların ısı konforu değerlendirmeleri PMV indeksine dayanan Fanger modeli [4, 17, 22-24] ile belirlenir. Öte yandan saha çalışmaları pencerelerin açılabilirdiği (doğal havalandırmanın olduğu), kullanıcı müdahalesine izin veren HVAC sistemlerinin kullanıldığı binalarda, kişilerin ısı konforunun, Fanger modelinden farklı şekilde değerlendirildiği görülmüştür. Bütünüyle mekanik olarak kontrol edilmeyen binalarda, kullanıcıların ısı konforu sıcaklığı aralığı beklentileri Fanger teorisi ile elde edilen aralığa göre daha geniş ve kullanıcılar kendilerini psikolojik, fizyolojik ve davranışsal olarak dış ortam koşullarına adapte ederler. Bu nedenle doğal havalandırmanın olduğu binalarda "dinamik" adaptif konfor yaklaşımı kullanımı [18, 25-30] ya da genişletilmiş PMV modeli [31] önerilmektedir. Adaptif konfor yaklaşımının kullanımında "kişisel kontrol" önemlidir [32]. Kişiler giyim durumlarını ya da pencere açarak ortamın hava hızını artırarak ısı koşulları kontrol edebilirler [33]. Özellikle yaz aylarında pencerelerin açılması dolayısıyla gerçekleşen doğal havalandırma ile PMV modeli ile belirlenen sıcaklıklardan daha yüksek iç hava sıcaklıklarında kişiler konforlu hissedebilmektedir. Bu da enerji tüketiminin azalması anlamına gelir [27].

İnsan vücudu operatif sıcaklığa daha hassas olmasına rağmen, operatif sıcaklığı ölçen termometrelerin pahalı ve büyük boyutlu olması,

operatif sıcaklığın hacmin farklı noktalarında farklı olması gibi nedenlerden kaynaklanan ölçüm problemleri HVAC sistem kontrollerinin hava sıcaklığına göre yapılmasına neden olmaktadır [12, 34-35]. Operatif sıcaklığın ölçülmesindeki zorluklar, ölçümü kolay olan (dış hava sıcaklığı, enerji tüketimi, zaman vb.) parametreler kullanılarak tahmin edilmesi yöntemlerinin geliştirilmesini gerektirmiştir. Bu yöntemlerden biri de incelenen hacmin ya da binanın yapay sınır ağları ile modellenmesidir. Yapılan çalışmalarda ölçüm değerleri ile karşılaştırıldığında operatif sıcaklık tahminlerinin kabul edilebilir düzeyde olduğu görülmüştür [36].

Türkiye'de binalarda enerji performansı çalışmaları, TS 825 [37]'nin zorunlu hale gelmesi ile 2000'li yıllarda başlamış olup ısıtma ve soğutma sezonlarında iç ortam set sıcaklığının sabit tutularak binaların enerji ihtiyacı/tüketimleri ile bu ihtiyaç/tüketimleri azaltacak önlemlerin simüle edilmesini içermektedir [38-41].

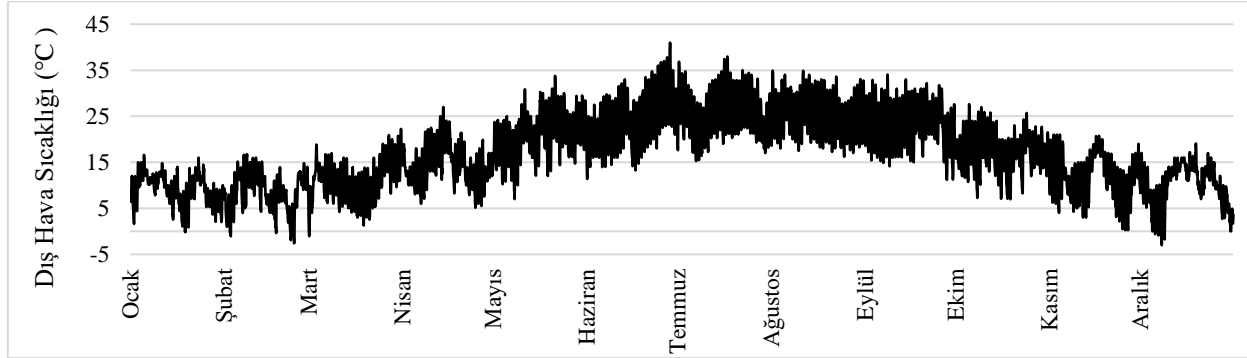
İstanbul'da bir ofis binasının ısıtma/soğutma enerji ihtiyacı EnergyPlus yazılımı ile simüle edilmiş ve bina yönetim sisteminden alınan ölçüm verileri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca aynı ofis binasının Türkiye'nin dört farklı iklim bölgesinden seçilen İstanbul, Ankara, İzmir ve Antalya illerinde bulunması durumlarında alınabilecek enerji tasarrufu önlemleri yine EnergyPlus yardımı ile belirlenmiştir. Ofislerde iç hava sıcaklıkları ısıtma ve soğutma sezonları için set edilmiş ve bu sıcaklıklarda dış hava sıcaklıkları, yalıtım, bina görüş faktörü, dış yüzeylerin rengi, gölgeleme, ventilasyon hızı ve farklı dış hava kontrol stratejilerinin ısıtma/soğutma ihtiyacına olan etkileri belirlenmiştir [38].

İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü'ne ait bir binada ısıtma ve soğutma sezonlarında iç hava sıcaklığı sabit tutularak binanın enerji tüketimleri Ecotect ve EnergyPlus yazılımları ile belirlenmiş, ölçüm verileri ile karşılaştırılmış ve tüketimlerin azaltılması yönünde alınabilecek önlemler simüle edilmiştir [42]. Balıkesir Üniversitesi'nde yapılan çalışmada, üniversiteye ait bir binada enerji tüketim verileri toplanmış, tüketim değerlerinin binaya yalıtım uygulanması, kazan veriminin artırılması ve doğal aydınlatma ile gerçekleşecek enerji tasarrufu ile azaltılması ve buna bağlı olarak gerçekleşecek sera gazı emisyonlarındaki düşüş belirlenmiştir [43]. Bir diğer çalışma ise Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde Isı Tekniği Laboratuvarında bulunan iklimlendirme

DesignBuilder [45] yazılımının veri tabanında Energy Plus (epw) formatında İzmir için saatlik meteorolojik veriler mevcuttur (Şekil 2).

İncelenen örnek konutta 4 kişilik bir ailenin yaşadığı ve ailenin konutta bulunduğu saatler

Tablo 2’de verildiği şekilde kabul edilmiştir. Tablo 2’ye göre aile yılın %73’ünü (6411 saat) konutta geçirmektedir. HVAC sisteminin kesikli çalışma durumundaki çalışma saatleri de ailenin konutta bulunduğu saatler göz önüne alınarak belirlenmiş ve Tablo 2’de verilmiştir.



Şekil 2. İzmir ili için Energy Plus (epw) formatında saatlik dış hava sıcaklığı (Hourly outdoor temperature in Energy Plus (epw) format for Izmir province.)

Tablo 2. Ailenin konutta bulunduğu saatler ve HVAC sistemi çalışma saatleri (kesikli) (Occupancy hours and operating hours of HVAC system).

Ailenin konutta bulunduğu saatler	Hafta içi	Hafta sonu	
	18:00-08:00	Tüm gün	
	18:00-08:00	Tüm gün	
Çalışma rejimi	Isıtma	17:00-08:00	Tüm gün
	Soğutma	18:00-24:00	11:00-24:00

- Ailenin konutta bulunma durumuna bağlı olarak değişen metabolik kazançlar, cihaz kullanımı ve aydınlatmadan kaynaklanan iç ısı kazançları TS EN 832 [46]’ye göre konut ortalaması 5 W/m² olacak şekilde belirlenmiştir.

3. YÖNTEM (METHOD)

Çalışmada yapılan başlıca kabuller ve alınan değerler aşağıda listelenmiştir:

- Konuttaki insan yoğunluğu 0,04 kişi/m²’dir.
- Simülasyonlarda, ısıl konforu etkileyen iç mekan iklimsel parametrelerinden olan hava hızı 0,1 m/s’den düşük olarak kabul edilmiş, kişisel parametrelerden olan konut içindeki aktivite seviyesi ise 0,9 met olarak sabit tutulmuştur.
- Çalışmada sıcak su ve aydınlatma enerji tüketimleri dikkate alınmamış, sadece ısıtma ve soğutma enerji tüketimleri incelenmiştir.
- Konutta ısıtma sistemi olarak doğal gaz yakıtlı kazan ve sıcak sulu radyatör sistemi, soğutma sistemi olarak da klima kullanımı öngörülmüştür.
- Konutun ısıtma/soğutma enerji tüketiminin belirlenmesinde doğal gaz ile klimaların elektrik tüketimi dikkate alınmıştır.
- Isıtma/soğutma sisteminde kullanılan fan, pompa vb. yardımcı ekipmanların tüketimi elektrik tüketimine dahil edilmemiştir.
- Isıtma sistem verimi %85, soğutma sistemi COP değeri 3 olarak alınmıştır.

Konutun ısıl konfor koşulları ile enerji tüketimi arasındaki ilişkinin belirlenebilmesi için, örnek konutun ısıtma/soğutma sistemi, kesikli ve sürekli çalışma rejimi benimsenerek EnergyPlus yazılımında aylık olarak simüle edilmiştir.

EnergyPlus, 2001 yılında ABD Enerji Bakanlığı [47] tarafından geliştirilmiş modüler bir yazılımdır. İki yılda bir yenilenir ve BLAST ile DOE-2’nin en iyi özelliklerinin birleşiminden oluşur. Yazılım ASHRAE Isıl Denge Metodu’nu kullanır. Isıl Denge Metodu; saatlik-dinamik bir metot olup güneş kazançları ve iç kazançların detaylı hesaplanması, iç yüzey sıcaklıklarının her yüzey için ayrı ayrı tanımlanması, doğal havalandırma, gölgeleme, HVAC ekipmanları ve ısıl kütlelerin dahil edilmesi ile fiziksel duruma en yakın ve kabullerin en aza indirildiği, dolayısı ile de gerçeğe en yakın sonuçları verir [48-50]. EnergyPlus, ANSI/ASHRAE 140 [51] doğrulamasına sahiptir.

Bu çalışmada, HVAC sistemleri Fanger ısıl konfor modeline göre tam mekanik kontrollü ve De Dear [18, 25-29] tarafından önerilen adaptif konfor teorisi kullanılarak doğal havalandırılmalı olacak

şekilde 2 ana kategoride ele alınmış olup, sıcaklık set değerlerine göre ise 5 alternatif durum için simülasyonlar yapılmıştır. Eğer ısıtma/soğutma sistemleri tek bir sıcaklığa göre değil, belirli bir sıcaklık aralığına göre çalıştırılıyorsa ölü bantlı çift sıcaklık set değeri olarak adlandırılmaktadır. Bu durumda çalışmada ele alınan simülasyonlar;

- Durum 1: Tam mekanik kontrollü, kesikli rejim, aylık tek ısıtma/soğutma operatif sıcaklık set değeri
- Durum 2: Tam mekanik kontrollü, kesikli rejim, aylık tek ısıtma/soğutma hava sıcaklığı set değeri
- Durum 3: Tam mekanik kontrollü, sürekli rejim, aylık tek ısıtma/soğutma operatif sıcaklık set değeri
- Durum 4: Tam mekanik kontrollü, sürekli rejim, aylık çift ısıtma/soğutma operatif sıcaklık set değeri
- Durum 5: Doğal havalandırmalı, sürekli rejim, aylık çift ısıtma/soğutma operatif sıcaklık set değeri

Simülasyonlarda, mekanik kontrollü HVAC sistemlerinde öncelikli olarak operatif termostat bir diğer alternatif olarak hava sıcaklığı set değerleri kullanılmıştır.

Durum 4 olarak adlandırılan alternatifte HVAC sistemleri için iki farklı operatif sıcaklık set değerleri (ölü bantlı çift sıcaklık set değeri) belirlenerek HVAC sistemlerinin bu iki sıcaklık değeri arasında simülasyonları yapılmıştır.

Doğal havalandırmaya dolayısı ile kişisel kontrole izin verilen adaptif konfor yaklaşımında De Dear [18, 25-29] tarafından önerilen adaptif konfor teorisi kullanılarak alt ve üst operatif sıcaklık set değerleri dış ortam sıcaklığının bir fonksiyonu olarak belirlenmiştir.

3.1. Sıcaklık set değerlerinin belirlenmesi (Determination of Temperature Set Values)

Her bir simülasyon adımında aylık olarak; ASHRAE 55-2013 [4] ve ISO 7730 [2]'da verilen 19,0-26,5°C ısıtma, 23,5-28,0°C soğutma operatif sıcaklık aralıkları için 1°C'lik sıcaklık adımlarında konut simüle edilmiş ve aylık ortalama PMV değerleri belirlenmiştir. Set sıcaklıkları ile aylık ortalama PMV değerlerinin lineer olarak değiştiği gözlenmiştir. Dolayısı ile simüle edilen her bir ay için Set Sıcaklığı-PMV eğrileri oluşturularak -

0,5<PMV<+0,5 konfor aralığında PMV'yi -0,5, 0 ve +0,5 yapan aylık sıcaklık (operatif, hava) set değerleri belirlenmiştir.

Ölü bantlı çift sıcaklık set değerinin belirlenmesi için kesikli rejimde PMV=0 yapan operatif set sıcaklıkları simülasyonda ölü bantlı çift sıcaklık modunda birincil set sıcaklığı olarak kullanılmıştır. İkincil set sıcaklıkları için ısıtmada PMV'yi -0,5, soğutmada ise PMV'yi +0,5 yapan operatif sıcaklık değerleri kullanılmış ve simülasyonlar tekrarlanmıştır.

Doğal havalandırma için %90 kabul edilebilir alt ve üst, operatif sıcaklık set değerleri dış ortam sıcaklığının bir fonksiyonu olarak Eşitlik 1 ve 2'de olduğu gibi belirlenir [18, 25-29].

$$\text{ÜSL (üst sıcaklık limiti)} = 0,31 * T_0 + 20,3 \quad (1)$$

$$\text{ASL (alt sıcaklık limiti)} = 0,31 * T_0 + 15,3 \quad (2)$$

$T_0 =$ Dış hava sıcaklığı (°C)

3.2. Saatlik PMV Değerlerinin Belirlenmesi ve İstatistiksel Değerlendirme (Determination of Hourly PMV Values and Statistical Evaluation)

Bir yıl için PMV=0 yapan set sıcaklıkları simülasyonlarda giriş verisi olarak kullanılmış ve ailenin konutta bulunduğu saatler için çalıştırılan simülasyonlardan elde edilen saatlik PMV değerleri çıkış verisi olarak elde edilmiştir. Yıl boyunca elde edilen saatlik PMV değerleri istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Frekans dağılımları ve dağılım özellikleri (ortalama değer, orta değer, standard sapma, varyans, en küçük değer, en büyük değer ve aralık) ile ailenin konutta bulunduğu saatlerin % kaçının -0,2<PMV<+0,2 ve -0,5<PMV<+0,5 konfor aralıklarına düştüğü belirlenmiştir.

4. BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

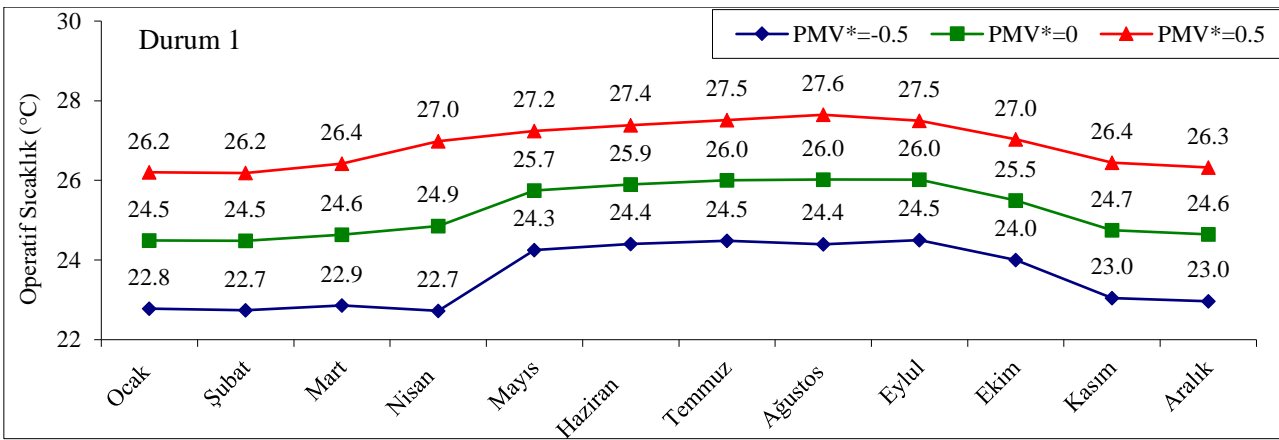
İzmir ilindeki bir konut için ısıtma/soğutma sistemlerinin çalışma şartlarının, ısı konfor koşulları ile enerji tüketimlerine etkisi 5 farklı durum analiz edilmiştir. Dinamik simülasyon yöntemlerinden olan EnergyPlus ve arayüz olarak Design Builder kullanılarak yapılan toplam 540 simülasyon ile öncelikle ısıtma/soğutma sistemlerinin sıcaklık set değerleri belirlenerek,

daha sonra elde edilen bu set değerlerinin kullanılması ile her bir durumun birim ısıtma/soğutma enerji tüketimleri, yıllık birim birincil enerji tüketimi, yıl boyunca ailenin evde bulunduğu saatlerde sağlanan PMV değerleri ve PMV değerlerinin istatistiksel değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir.

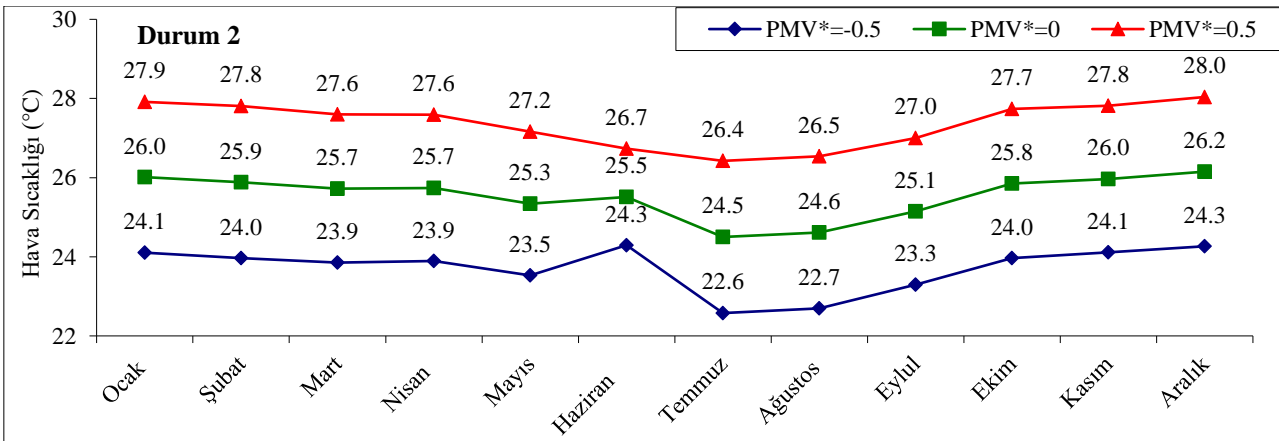
4.1. Sıcaklık Set Değerlerinin Belirlenmesi (Determination of Temperature Set Values)

Durum 1, 2 ve 3 için $PMV=-0,5$, 0 ve $+0,5$ 'i sağlayan ısıtma/soğutma sisteminin aylık tek sıcaklık set değerleri belirlenmiş ve sırasıyla Şekil 3, 4 ve 5'te verilmiştir. Aylık set sıcaklıkları,

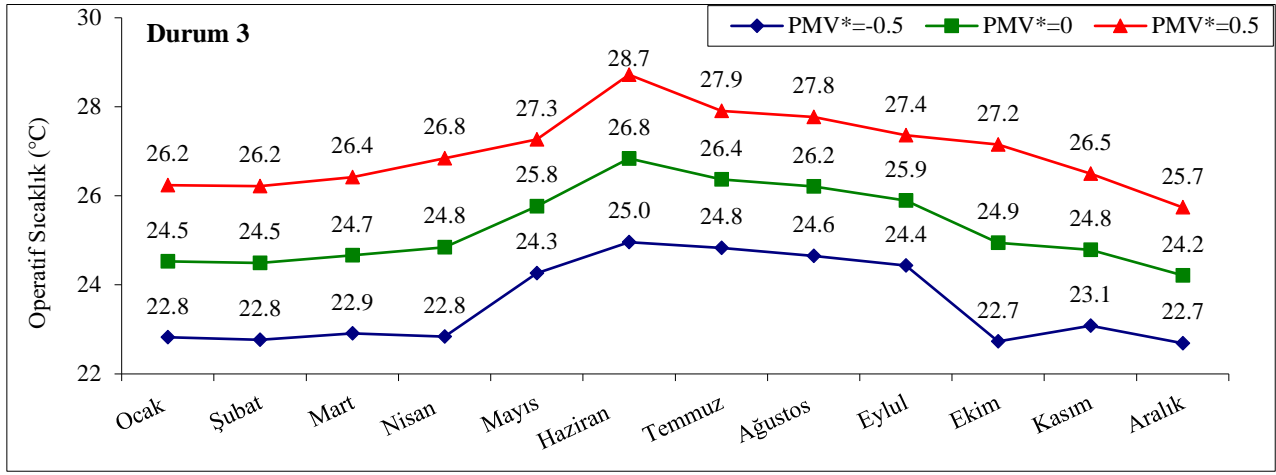
Durum 1 için $24,5-26,0^{\circ}C$ (operatif), Durum 2 için $24,5-26,2^{\circ}C$ (hava) ve Durum 3 için $24,2-26,8^{\circ}C$ (operatif), arasında değişmektedir. Her üç Durum için belirlenen set sıcaklık aralıkları birbirleri ile yaklaşık aynı görünmesine rağmen, Şekil 3, 4 ve 5'ten açıkça görüldüğü üzere Durum 2'de belirlenen set sıcaklıklarının eğilimi, Durum 1 ve Durum 3'e göre farklılık göstermektedir. Bunun nedeni Durum 2'de hava sıcaklık set değerlerinin kullanılmasının olduğu düşünülmektedir. Hava set sıcaklık değerinin kullanılması ile operatif sıcaklık değerlerine göre set sıcaklık değerlerinde mevsimsel farklılıklar oluşmaktadır. Yani ısıtma dönemlerinde set sıcaklıkları artarken, soğutma dönemleri için sıcaklıkların düştüğü gözlenmektedir.



Şekil 3. Durum 1 operatif sıcaklık set değerleri ($^{\circ}C$) (Case 1 operative temperature set values ($^{\circ}C$))



Şekil 4. Durum 2 hava sıcaklığı set değerleri ($^{\circ}C$) (Case 2 air temperature set values ($^{\circ}C$))



Şekil 5. Durum 3 operatif sıcaklık set değerleri (°C) (Case 3 operative temperature set values (°C))

Durum 4 için, ölü bantlı çift sıcaklık modunda birincil set sıcaklığı olarak kesikli rejimde PMV=0 yapan operatif sıcaklıklar, ikincil set sıcaklıkları için ısıtmada PMV'yi -0,5, soğutmada ise PMV'yi +0,5 yapan operatif sıcaklık değerleri kullanılmış ve simülasyonlar tekrarlanmıştır. Örnek olarak Şekil 3'de İzmir ili için Eylül ayı ısıtma/soğutma birincil set sıcaklığı 26,0°C, ikincil set sıcaklıkları ısıtma için 24,5°C, soğutma için 27,5°C alınmıştır. Durum 4 için ölü bantlı çift sıcaklık değerleri, HVAC sistemi ısıtma sezonunda 24,5-26°C, soğutma sezonunda ise 26,0-27,5°C olarak alınmıştır.

Durum 5 için De Dear [18, 25-29] tarafından önerilen adaptif konfor teorisi kullanılarak aylık alt ve üst sıcaklık set değerleri dış ortam sıcaklığının bir fonksiyonu olarak Eşitlik 1 ve 2'ye göre hesaplanmış ve Tablo 3'te verilmiştir.

4.2. PMV Değerleri ve İstatistiksel Değerlendirme (PMV Values and Statistical Evaluation)

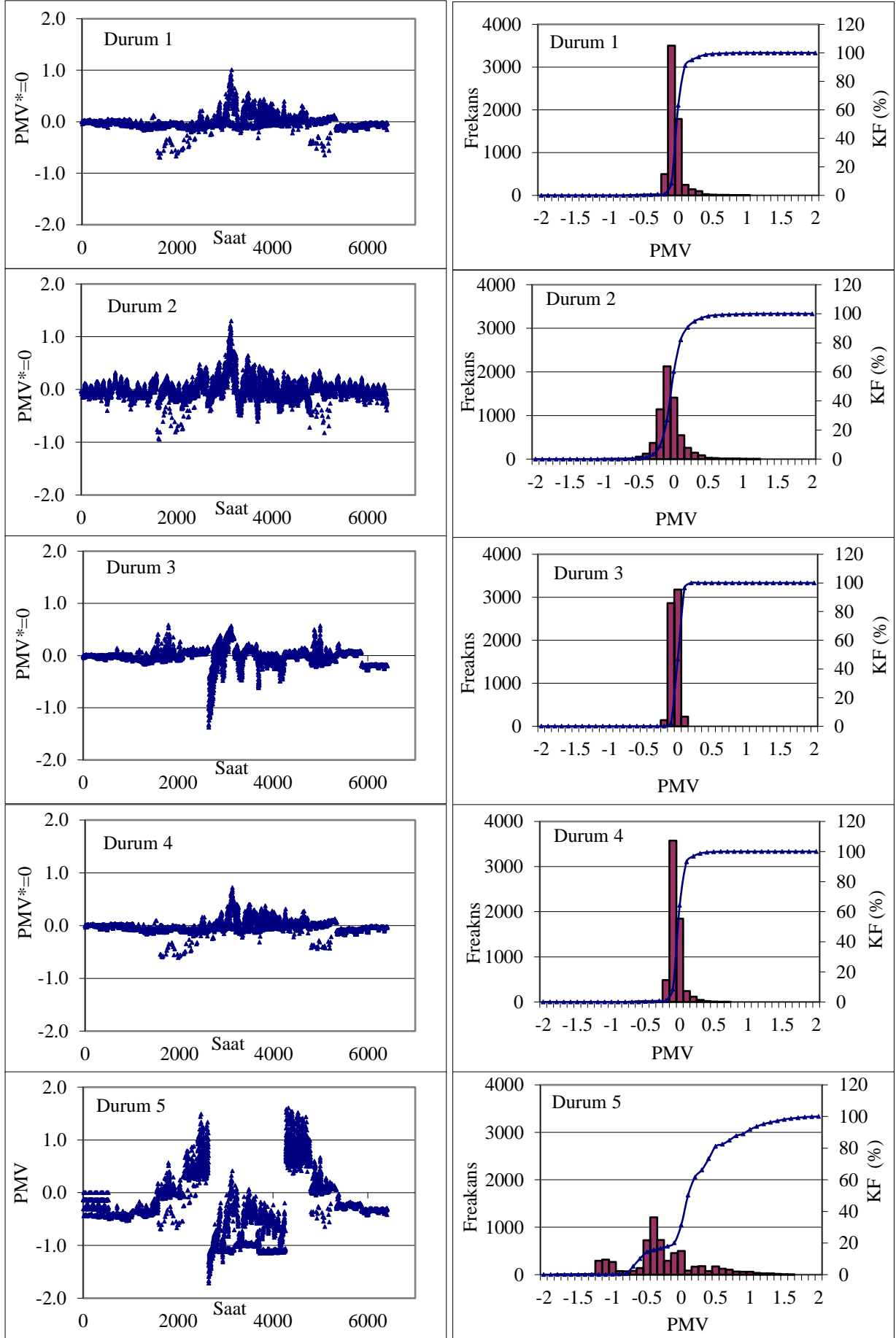
Durum 1, 2 ve 3 için PMV=0 yapan tek sıcaklık set değerleri, Durum 4 ve 5 için de belirlenen çift sıcaklık set değerleri kullanılarak çalıştırılan simülasyonlarda ailenin konutta bulunduğu saatler için elde edilen saatlik PMV değerleri (çıkış verisi) Şekil 6'da verilmiştir. Saatlik PMV değerlerinin istatistiksel değerlendirilmesi sonucu PMV dağılım frekansları ve kümülatif frekansları da Şekil 6'da, dağılım özellikleri ise Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 3. Durum 5 alt ve üst operatif sıcaklık set değeri (°C) (Case 3 lower and upper operative temperature set values (°C)).

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
ASL	18,1	17,9	18,6	19,8	21,8	22,9	23,3	23,2	22,4	20,6	18,8	18,3
ÜSL	23,1	22,9	23,6	24,8	26,8	27,9	28,3	28,2	27,4	25,6	23,8	23,3

Tablo 4. Saatlik PMV değerlerinin istatistiksel değerlendirilmesi (Statistical evaluation of hourly PMV values)

	Durum 1	Durum 2	Durum 3	Durum 4	Durum 5
Ortalama	-0,0087	-0,012	-0,3885	-0,0156	-0,224
Ortakdaki değer	-0,0299	-0,0304	-0,4205	-0,0275	-0,3022
Standard sapma	0,1167	0,1839	0,3514	0,095	0,5327
Varyans	0,0136	0,0338	0,1235	0,0090	0,2838
En küçük değer	-0,6890	-0,9464	-1,1355	-0,6062	-1,7166
En büyük değer	1,0122	1,2973	0,8669	0,7204	1,6062
Aralık	1,70	2,24	2,00	1,33	3,32
-0,2<PMV<+0,2	94,1	81,6	89,8	96,0	20,7
-0,5<PMV<+0,5	98,9	97,9	98,5	99,6	68,9



Şekil 6. Saatlik PMV değerleri ve PMV dağılım frekansları ve kümülatif frekansları (Hourly PMV values and PMV distribution frequencies and cumulative frequencies) (KF: Kümülatif Frekans)

Durum 1’de giriş verisinin $PMV=0$ olmasına rağmen, Şekil 6 ile Tablo 4’den görüleceği gibi en küçük PMV değeri $-0,6890$, en büyük PMV değeri ise $1,0122$ olup, toplamda $1,7$ PMV aralığında bir PMV dağılımı gerçekleşmiştir. Buna karşılık gelen standard sapma $0,1167$ olarak hesaplanmıştır. Tablo 4’te verilen $0,2 < PMV < +0,2$ aralığı ısı konfor açısından en yüksek beklenti seviyesini ifade etmekte olup, prEN15251 [16] standardına göre ısı konfor memnuniyet seviyesi 1. Kategori olarak adlandırılmaktadır. 1. Kategori engelli, hasta kişiler, yaşlılar ve çocukların bulunduğu hacimler için tavsiye edilir. $0,5 < PMV < +0,5$ aralığı normal beklenti seviyesine karşılık gelmekte olup, ısı konfor memnuniyet seviyesi 2. Kategori’dir.

Ailenin konutta bulunduğu saatlerin % $94,1$ ’i 1. Kategori ısı konfor memnuniyet seviyesine denk gelip, % $98,9$ ’u ise normal beklenti seviyesi olan 2. Kategori ısı konfor memnuniyet seviyesine karşılık geldiği görülmektedir. İncelenen durumlarda PMV aralığı $1,33$ (Durum 4) ile $3,32$ (Durum 5) arasında değişmektedir. En küçük aralığa sahip olan Durum 4 aynı zamanda en yüksek ısı konfor memnuniyet seviyelerine de sahip olmaktadır. Dolayısı ile PMV aralığı azaldıkça, standard sapma da azalmakta ve memnuniyet seviyesi artmaktadır (Tablo 4). Durum 4’te, Şekil 6’dan da açıkça görüleceği üzere ailenin konutta bulunduğu zamanların neredeyse tümünde PMV değeri 0 ’a çok yakındır. Benzer şekilde, en büyük PMV aralığına sahip olan Durum 5’teki saatlik PMV değerlerinin çok salınım yaptığı ve de buna bağlı olarak ısı konfor seviyelerinin çok düştüğü görülmektedir. Doğal

havalandırmaya sahip olan Durum 5, normal beklenti seviyesi % $68,9$ oranında karşılanırken, en yüksek konfor seviyesini ise ancak % $20,7$ oranında karşılamaktadır.

Kesikli ve sürekli rejimin ısı konfora etkisi Durum 1 ve Durum 3 ile ele alınmıştır. Durum 1’de ısıtma/soğutma sistemleri kesikli rejimde çalışmalarına rağmen ısı konfor memnuniyet seviyeleri, sürekli rejime göre daha yüksek çıkmıştır.

4.3. Birim Enerji Tüketimi (Unit Energy Consumption)

Durum 1, 2 ve 3 için $PMV=0$ yapan tek sıcaklık set değerleri, Durum 4 ve 5 için de belirlenen çift sıcaklık set değerleri kullanılarak çalıştırılan simülasyonlarda aylık ısıtma/soğutma enerji tüketimleri birim alan için belirlenmiştir ve Tablo 5’te verilmiştir.

Aylık tek ısıtma/soğutma operatif sıcaklık set değerleri simülasyonlarında, sürekli rejim (Durum 3) yıllık toplam birim enerji tüketim değerlerinin, kesikli rejim (Durum 1)’e göre ısıtmada % $5,52$, soğutmada ise % $10,22$ oranında arttığı görülmektedir. Soğutma enerji tüketimi artışı ısıtmaya göre daha yüksek olmaktadır.

Sürekli rejimde ölü bantlı çift sıcaklık (Durum 4) set değeri uygulaması, tek sıcaklık (Durum 3) uygulamasına göre ısıtma enerji tüketimini % $0,8$ soğutma enerji tüketimini ise % $0,63$ azaltmaktadır.

Tablo 5. Birim Enerji Tüketimi (kWh/m^2) (Unit energy consumption (kWh/m^2))

Aylar	Durum 1		Durum 2		Durum 3		Durum 4		Durum 5	
	I	S	I	S	I	S	I	S	I	S
Ocak	28,93	0	28,68	0	30,75	0	29,71	0	25,06	0
Şubat	26,09	0	26,14	0	27,45	0	26,64	0	22,56	0
Mart	21,02	0	20,89	0	21,74	0	21,24	0	18,37	0
Nisan	13,68	0	12,78	0	14,13	0	13,77	0	13,19	0
Mayıs	3,77	1,11	3,21	0,70	5,31	1,37	3,88	1,21	4,93	0
Haziran	0	2,33	0	1,84	0	1,97	0	2,53	0	3,68
Temmuz	0	2,75	0	2,68	0	2,92	0	3,00	0	4,07
Ağustos	0	2,38	0	2,39	0	2,78	0	2,60	0	4,01
Eylül	2,18	1,41	0,86	0	3,22	1,95	2,42	1,59	2,45	0
Ekim	12,10	0	11,23	0	11,06	0	12,24	0	11,56	0
Kasım	22,21	0	22,60	0	24,54	0	22,54	0	20,87	0
Aralık	28,89	0	28,48	0	29,44	0	33,84	0	26,30	0
TOPLAM	158,87	9,98	154,86	7,60	167,63	11,00	166,29	10,93	145,29	11,77

I: Isıtma, S: Soğutma

Konutta tüketilen doğalgaz yıllık enerji tüketimi 1,15, elektrik yıllık enerji tüketimi 2,8 birincil enerji dönüşüm faktörü ile çarpılarak yıllık ısıtma/soğutma birincil enerji tüketimi hesaplanır [52]. Tüm durumlar için hesaplamalar Tablo 6’da listelenmiştir.

Tablo 6. Yıllık birincil birim enerji tüketimi (kWh/m²)
(Annual primary unit energy consumption (kWh/m²))

	Durum 1	Durum 2	Durum 3	Durum 4	Durum 5
Isıtma	182,69	178,08	192,78	191,23	167,08
Soğutma	27,94	21,28	30,81	30,59	32,94
Toplam	210,64	199,36	223,58	221,83	200,03

Tablo 6’dan görüldüğü üzere, yıllık birincil birim enerji tüketimi (YBBET) 199,36-223,58 kWh/m² arasında bulunmuştur. Fakat her bir durumun ısı konforu karşılama yüzdeleri veya diğer bir deyişle ısı konfor seviyeleri kümülatif frekans yüzdeleri (IKSKFY) farklıdır. Bu nedenle ele alınan durumları enerji tüketimleri açısından daha mantıklı bir şekilde karşılaştırmak için durumların YBBET değerinin, IKSKFY değerine bölünmesi ile birim memnuniyet enerji tüketimi (BMET) değeri hesaplanmış ve Tablo 7’de sunulmuştur.

Tablo 7. Birim memnuniyet enerji tüketimi
(kWh/m²/%KF) (Unit satisfaction energy consumption
(kWh/m²/%KF))

	-0,2<PMV<+0,2	-0,5<PMV<+0,5
Durum 1	2,24	2,13
Durum 2	2,44	2,04
Durum 3	2,49	2,27
Durum 4	2,31	2,23
Durum 5	9,66	2,90

KF: Kümülatif frekans

Isıl konfor için normal beklenti seviyesinde Durum 2’nin en düşük BMET değerine (2,04 kWh/m²/%KF) sahip olduğu, doğal havalandırmalı olan Durum 5’in ise en yüksek BMET değerine (2,90 kWh/m²/%KF) sahip olduğu görülmektedir. Diğer yandan kesikli rejime sahip Durum 1’in 2,13 kWh/m²/%KF BMET değeri ile, sürekli rejimin (Durum 3) 2,27 kWh/m²/%KF BMET değerine göre daha az enerji tükettiği gözlenmektedir.

5. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Bu çalışmada İzmir ilindeki bir konut için ısıtma/soğutma sistemlerinin çalışma şartlarının, ısı konfor koşulları ile enerji tüketimlerine etkisi analiz edilmiştir. ISO 13790 [53]’a göre dinamik simülasyon yöntemlerinden olan EnergyPlus ve arayüz olarak Design Builder kullanılarak birim ısıtma/soğutma enerji tüketimleri, birim birincil enerji tüketimi, yıl boyunca ailenin evde bulunduğu saatlerde sağlanan PMV değerleri ve PMV değerlerinin istatistiksel değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir:

Çalışma sonuçları aşağıdaki gibi yorumlanabilir:

- PMV=0 için aylık set sıcaklıkları, tam mekanik kontrollü, kesikli rejim, aylık tek ısıtma/soğutma operatif sıcaklık set değerli Durum 1 için 24,5-26,0°C (operatif), tam mekanik kontrollü, kesikli rejim, aylık tek ısıtma/soğutma hava sıcaklığı set değerli Durum 2 için 24,5-26,2°C (hava) ve tam mekanik kontrollü, sürekli rejim, aylık tek ısıtma/soğutma operatif sıcaklık set değerli Durum 3 için 24,2-26,8°C (operatif), arasında değişmektedir. Her ne kadar sıcaklık aralıkları aynı görünse de, hava set sıcaklık değerinin kullanılması ile operatif sıcaklık değerlerine göre set sıcaklık değerlerinde mevsimsel farklılıklar oluşmaktadır. Yani ısıtma dönemlerinde set sıcaklıkları artarken, soğutma dönemleri için sıcaklıkların düştüğü gözlenmektedir. Diğer bir deyişle, verilen sıcaklık aralıklarındaki minimum değerler operatif set sıcaklıkları için ısıtma dönemine denk gelirken, hava sıcaklık set değerleri için soğutma dönemine denk gelmektedir.
- İncelenen durumlar arasında tam mekanik kontrollü, sürekli rejim, aylık çift ısıtma/soğutma operatif sıcaklık set değerine sahip olan Durum 4, 1,33 PMV aralığı ile en düşük, doğal havalandırmalı, sürekli rejim, aylık çift ısıtma/soğutma operatif sıcaklık set değerli Durum 5 ise 3,32 PMV aralığı ile en yüksek PMV aralığına sahiptir.
- PMV aralığı azaldıkça, standard sapma da azalmakta ve memnuniyet seviyesi de artmaktadır.
- İncelenen durumların yıllık birincil birim enerji tüketimi (YBBET) 199,36-223,58 kWh/m² arasında değişmektedir.

- Durum 4'te 221,83 kWh/m² yıllık birincil birim enerji tüketimi ile beklenti seviyesi % 99,6 oranında karşılanırken, en yüksek konfor seviyesinin ise ancak % 96 oranında karşılanmaktadır
- Durum 5, 200,03 kWh/m² yıllık birincil birim enerji tüketimi ile normal beklenti seviyesi % 68,9 oranında karşılanırken, en yüksek konfor seviyesinin ise ancak % 2 0,7 oranında karşılanmaktadır.
- Sürekli rejimde HVAC sistemi tüm gün boyunca çalıştırılmaktadır. Bu durumda operatif sıcaklık set değerleri hemen hemen aynı olmakla birlikte kesikli rejime göre enerji tüketimi artmaktadır. Birincil enerji tüketimleri karşılaştırıldığında ısıtmada % 10,1 artış ve soğutma enerjisi tüketimindeki % 6,6 düşüş olmaktadır.
- PMV=0'ı sağlayan kesikli rejimde tek operatif (Durum 1) ve hava sıcaklıkları set değerleri (Durum 2) için elde edilen yıllık birim ısıtma/soğutma enerji tüketimleri karşılaştırıldığında, operatif sıcaklık set değerlerinde hava sıcaklığına göre ısıtma enerji tüketimi % 2,5, soğutma enerji tüketimi ise % 23,8 daha yüksek olarak belirlenmiştir. Soğutma enerjisi tüketimindeki artışın ısıtma enerjisi tüketimine göre çok yüksek olması, radyasyon sıcaklığının etkisini ortaya koymaktadır.
- Sürekli rejimde ölü bantlı çift sıcaklık set değeri (Durum 4) uygulamasında, tek operatif set değeri (Durum 3) uygulamasına göre hem ısıtma hem de soğutma enerji tüketiminde çok önemli bir değişim görülmemekle birlikte, ısı konfor seviyeleri açısından Durum 4 daha iyidir.
- Isıl konfor seviyesinin % 1'lik kümülatif frekans değerinin sağlanabilmesi için harcanması gereken yıllık birincil birim enerji tüketimini ifade eden birim memnuniyet enerji tüketimi, ısı konfor için normal beklenti seviyesinde Durum 2'de en düşük değere sahip olurken, doğal havalandırılmalı olan Durum 5'in ise en yüksek birim memnuniyet enerji tüketimine sahip olduğu görülmektedir. Bu sonuç gerekli ısı konfor seviyesinin sağlanabilmesi için Durum 5'te daha fazla enerji harcanması gerektiği sonucunu ortaya koymaktadır.

- İncelenen tüm durumlar arasında normal beklenti seviyesinde ısı konforu en çok sağlayan Durum 4 iken, ısı konfor seviyesinin % 1'lik kümülatif frekans değerinin sağlanması için en az enerji tüketen ise Durum 2 olarak belirlenmiştir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Projeyi maddi olarak destekleyen Türk Tesisat Mühendisleri Derneği (TTMD)'ne ve çok sayıdaki simülasyon verilerini derleyebilmemiz için yardımcı programlar yazan Orhan Özcan'a teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] DIRECTIVE 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council on the Energy Performance of Buildings, 2002.
- [2] 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, EN ISO 7730, 2005.
- [3] Ventilation for Buildings - Design Criteria for the Indoor Environment, CR 1752, 1998.
- [4] Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, ANSI/ASHRAE, Standard 55-2013, Atlanta, GA, USA, 2013.
- [5] Kalorifer Tesisatı Projelendirme Kuralları, TS 2164, 1988.
- [6] S. P. Corgnati , E. Fabrizio ve . M. Filippi, "The impact of indoor thermal conditions, system controls and building types on the building energy demand," *Energy and Buildings*, cilt 40, pp. 627-636, 2008.
- [7] K. Yang ve C. Su, "An approach to building energy savings using the PMV index," *Building and Environment*, cilt 32, no. 1, pp. 25-30, 1997.
- [8] T. H. Karyono, "Report on thermal comfort and building energy studies in Jakarta - Indonesia," *Building and Environment*, cilt 35, no. 1, pp. 77-90, 2000.

- [9] W. Hanqing, H. Chunhua, L. Zhiqiang, T. Guangfa, L. Yingyun ve W. Zhiyong, "Dynamic evaluation of thermal comfort environment of airconditioned buildings," *Building and Environment*, cilt 41, no. 11, pp. 1522-1529, 2006.
- [10] K. W. Tham ve M. B. Ullah, "Building energy performance and thermal comfort in Singapore," *ASHRAE Transactions*, cilt 99, no. 1, pp. 308-321, 1993.
- [11] R. Holz, A. Hourigan, R. Sloop, P. Monkman ve M. Krarti, "Effects of standard energy conserving measures on thermal comfort," *Building and Environment*, cilt 32, no. 1, pp. 31-43, 1997.
- [12] J. F. Karlsson ve B. Moshfegh, "Energy demand and indoor climate in a low energy building-changed control strategies and boundary conditions," *Energy and Buildings*, cilt 38, pp. 315-326, 2005.
- [13] R. Becker, I. Goldberger ve M. Paciuk, "Improving energy performance of school buildings while ensuring indoor air quality ventilation," *Building and Environment*, cilt 42, pp. 3261-3276, 2007.
- [14] H. Jamil, J. Sanjayan, J. Wilson ve M. Alam, "Investigation of PCM as retrofitting option to enhance occupant thermal comfort in a modern residential building," *Energy and Buildings*, cilt 133, p. 217-229, 2016.
- [15] N. Delgarm, S. Delgarm ve B. Sajadia, "Multi-objective optimization of building energy performance and indoor thermal comfort: A new method using artificial bee colony(ABC)," *Energy and Buildings*, cilt 131, p. 42-53, 2016.
- [16] Indoor Environmental Input Parameters for Design and Assessment of Energy Performance of Buildings Addressing Indoor Air Quality, Thermal Environment, Lighting and Acoustics, prEN 15251, 2007.
- [17] P. O. Fanger, *Thermal Comfort Analyses and Applications in Environmental Engineering*, London: McGraw-Hill, 1970.
- [18] K. Van der Linden, A. C. Boerstra, A. K. Raube ve S. R. Kurvers, "Thermal indoor climate building performance characterized by human comfort response," *Energy and Buildings*, cilt 34, pp. 737-744, 2002.
- [19] J. Huh ve M. J. Brandemuehl, "Optimization of air-conditioning system operating strategies for hot and humid climates," *Energy and Buildings*, cilt 40, pp. 1202-1213, 2008.
- [20] B. Olesen, "The philosophy behind EN 15351: Indoor environmental criteria for design and calculation of energy performance of buildings," *Energy and Buildings*, cilt 39, pp. 740-749, 2007.
- [21] F. Butera, "Principles of thermal comfort," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, cilt 2, p. 39-66, 1998.
- [22] M. S. Jang, C. D. Koh ve I. S. Moon, "Review of thermal comfort design based on PMV/PPD in cabins of Korean maritime patrol vessels," *Building and Environment*, cilt 42, p. 55-61, 2007.
- [23] K. H. Yang ve C. H. Su, "An approach to building energy savings using the PMV index," *Building and Environment*, cilt 32, no. 1, pp. 25-30, 1997.
- [24] F. Sehar, M. Pipattanasomporn ve S. Rahman, "Integrated automation for optimal demand management in commercial buildings considering occupant comfort," *Sustainable Cities and Society*, cilt 28, p. 16-29, 2017.
- [25] R. J. De Dear ve G. S. Brager, "Developing an adaptive model of thermal comfort and preference," *ASHRAE Transactions*, cilt 104, no. 1A, pp. 145-167, 1998.
- [26] L. Peeters, R. De Dear, J. Hensen ve W. D'haeseleer, "Thermal comfort in residential buildings: Comfort values and scales for building energy simulation," *Applied Energy*, cilt 86, no. 5, pp. 772-780, 2009.
- [27] A. C. Van der Linden, A. C. Boerstra, A. K. Raue, S. R. Kurvers ve R. J. De Dear, "Adaptive temperature limits: A new guideline in The Netherlands. A new approach for the assessment of building performance with respect to thermal indoor climate," *Energy and Buildings*, cilt 38, pp. 8-17, 2006.

- [28] G. S. Brager ve R. J. De Dear, "Thermal adaptation in the built environment: a literature review," *Energy and Building*, cilt 17, pp. 83-96, 1998.
- [29] R. A. Memon, S. Chirarattananon ve P. Vangtook, "Thermal comfort assessment and application of radiant cooling: A case study," *Building and Environment*, cilt 43, pp. 1185-1196, 2008.
- [30] S. Kumar, J. Mathur, S. Mathur, M. K. Singh ve V. Loftness, "An adaptive approach to define thermal comfort zones on psychrometric chart for naturally ventilated buildings in composite climate of India," *Building and Environment*, cilt 109, pp. 135-153, 2016.
- [31] O. Fanger ve J. Toftum, "Extension of the PMV model to non-air-conditioned buildings in warm climates," *Energy and Buildings*, cilt 34, pp. 533-536, 2002.
- [32] S. A. Damiani, S. A. Zaki ve H. B. Rija, "Field study on adaptive thermal comfort in office buildings in Malaysia, Indonesia, Singapore, and Japan during hot and humid Season," *Building and Environment*, cilt 109, pp. 208-22, 2016.
- [33] F. Ş. Sezer, "Sağlık Ocaklarında Konfor Koşullarının Değerlendirilmesi: Bursa/Nilüfer Örneği," *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, cilt 28, no. 1, pp. 197-208, 2015.
- [34] E. Z. E. Conceicao ve M. Lucio, "Thermal study of school buildings in winter conditions," *Building and Environment*, cilt 43, pp. 782-792, 2008.
- [35] A. Al-Mumin, O. Khattab ve G. Sridhar, "Occupants' behavior and activity patterns influencing the energy consumption in the Kuwaiti residences," *Energy and Buildings*, cilt 35, pp. 549-559, 2003.
- [36] M. Soleimani-Mohseni, B. Thomas ve P. Fahlen, "Estimation of operative temperature in buildings using artificial neural networks," *Energy and Buildings*, cilt 38, pp. 635-640, 2006.
- [37] Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, TS 825, 2008.
- [38] N. Eskin ve H. Turkmen, "Analysis of annual heating and cooling energy requirements for office buildings in different climates in Turkey," *Energy and Buildings*, cilt 40, p. 763-773, 2008.
- [39] M. N. Inanici ve F. N. Demirebilek, "Thermal performance optimization of building aspect ratio and south window size in five cities having different climatic characteristics of Turkey," *Building and Environment*, cilt 35, pp. 41-52, 2000.
- [40] A. Uçar ve F. Balo, "Effect of fuel type on the optimum thickness of selected insulation materials for the four different climatic regions of Turkey," *Applied Energy*, cilt 86, pp. 730-736, 2009.
- [41] K. O. Oral ve Z. Yılmaz, "Building form for cold climatic zones related to building envelope from heating energy conservation point of view," *Energy and Buildings*, cilt 35, p. 383-388, 2003.
- [42] M. Yaman, Energy efficiency in a university building: Energy performance assessment of IZTECH Administrative Building, İzmir: MSc. Thesis, İzmir Institute of Technology, 2009.
- [43] C. Coşkun ve Z. Oktay, "Energy audit of a University Building in energy saving perspective," *Seminar of Energy Performance of Buildings, Proceedings of TESKON 2009*, İzmir, 2009.
- [44] N. Arslanoğlu ve Y. Abdulvahap, "The Effect Of Different Indoor Air Velocities and Temperatures On Thermal Comfort," *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, cilt 31, no. 2, pp. 95 -100, 2011.
- [45] Design Builder Software., [Çevrimiçi]. <http://www.designbuilder.co.uk>. Erişim Tarihi: 22.01.2016.
- [46] Binaların Isıl Performansı-Meskenlerde Isıtma Amacıyla Kullanılan Enerjinin Hesaplanması, TS EN 832, 2007.
- [47] D. B. Crawley, L. Lawrie ve C. Pedersen, "EnergyPlus: creating a new generation building energy simulation program," *Energy and Buildings*, cilt 33, no. 4, pp. 319-331, 2001.
- [48] EnergyPlus Engineering Reference. "The Reference to EnergyPlus Calculations," [Çevrimiçi]. <https://energyplus.net/sites/default/files/pd>

[fs_v8.3.0/EngineeringReference.pdf](#).

Erişim Tarihi: 22.01.2016.

- [49] ASHRAE, Nonresidential Cooling and Heating Load Calculations,» *ASHRAE Handbook Fundamentals*, Atlanta, ASHRAE, Chapter 30, 2005.
- [50] S. J. Rees , M. G. Davies, J. D. Spitler ve P. Haves, “Qualitative comparison of North American and U.K. cooling load calculation methods,” *HVAC&Research*, cilt 6, pp. 75-99, 2000.
- [51] Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs, ANSI/ASHRAE 140, 2007.
- [52] The Government's Standard Assessment Procedure for Energy Rating of Dwellings, 2005 Ed., Revision 1, Version 9.81, SAP2005, 2008.
- [53] Energy Performance of buildings - Calculation of Energy Use for Space Heating and Cooling, ISO 13790, 2008.