



**Bu bir MMO
yayıdır**

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

İZMİR, KAYNAKLAR`DA HAVA KAYNAKLI ISI POMPASI İLE İKLİMLENDİRİLEN MÜSTAKİL BİR KONUTUN İZLENMESİ VE MODELLENMESİ

**RAHSAN AYTUL GULMEZ RAAFAT
ZEYNEP DURMUŞ ARSAN
İZMİR YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ**

İZMİR, KAYNAKLAR`DA HAVA KAYNAKLI ISI POMPASI İLE İKLİMLENDİRİLEN MÜSTAKİL BİR KONUTUN İZLENMESİ VE MODELLENMESİ

Rahşan Aytül GÜLMEZ RAFAAT
Zeynep DURMUŞ ARSAN

ÖZET

Bu çalışmada, düşük enerjili bina olabilmeyi hedefleyen, hava kaynaklı ısı pompasıyla iklimlendirilen mevcut müstakil bir konutun, yerinde izleme ve modellemeye dayalı termal ve enerji performans analizine ait sonuçlar sunulmaktadır. Çalışmanın genel amacı, seçilen binaya ait ileriye dönük termal ve enerji performans tahmini yapabilen, kalibre edilmiş dijital performans simülasyon modeli elde etmektir. İncelenen bina, İzmir'in Kaynaklar mevkiinde yer alan üç katlı 520 m² kullanım alanına sahip müstakil bir konuttur. Yerinde izleme çalışması, Temmuz 2009 – Temmuz 2010 tarihleri arası toplam bir yıllık süreye ait yerel iklim verileri ile binanın termal ve enerji performans göstergelerinin ölçümünü kapsamaktadır. Modelleme çalışması, DesignBuilder bina performans simülasyon programında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, binanın iklimlendirme sistemi ile ilgili bileşenlerini modellemede, hava kaynaklı ısı pompasının gerektirdiği detaylı veri girdisini sağlayan EnergyPlus programı kullanılmıştır. Modellemede kullanıcının performans etkisi çalışma kapsamı dışında bırakılmıştır. Kalibrasyon denemeleri, 2009 yılı soğutma dönemini temsilen 17 - 24 Ağustos 2009 tarihleri arasındaki bir haftalık dönem için gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonunda, dijital modelden elde edilen sonuçlar ile gerçek ölçüm değerleri karşılaştırılmakta ve kalibre edilmiş modelin hata oranları sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Bina Performans Modelleme, Yerinde İzleme, Termal ve Enerji Performans Analizi, Hava Kaynaklı Isı Pompası, Kalibrasyon

ABSTRACT

In this study, the thermal and energy performance analysis based on monitoring and modeling results of a private house with a target of titled as low-energy building, and conditioned via air source heat pump are presented. The wider aim of this study is to achieve the calibrated digital performance simulation model of case building, enabling the prediction of future thermal and energy performance. The examined building is a three storeyed private house with 520 m² total gross floor area, located in Kaynaklar, Izmir. It has been monitored for a total one year period between July 2009 and July 2010, including the measurement of local climate data and indicators of building thermal and energy performance. The modeling study is carried out with DesignBuilder building performance simulation software. Besides, the EnergyPlus software, supporting the entrance of detailed input data for the air source heat pump, is utilized in the modelling of HVAC system-related components of building. The impact of user on the performance is kept as out of scope in the modelling. The calibration iterations are conducted for one week between August 17 and 24, 2009 in order to represent the cooling period of 2009. At the end of the study, the results of digital model are compared with actual measured values, and the error ratios of calibrated model are presented.

Key Words: Building Performance Modelling, Monitoring, Analysis of Thermal and Energy Performance, Air Source Heat Pump, Calibration

GİRİŞ

Küresel ısınma artık tartışmasız bir gerçekliktir. 2014 yılı, kayıtların tutulmaya başlandığı 1880 yılından bu yana küresel ölçekte kara ve okyanus yüzeylerinde kaydedilen en sıcak yıl olmuştur. Yıllık ortalama sıcaklık değeri, 2005 ve 2010 yıllarına ait önceki rekor olan 0,04°C'lük sıcaklık artışını da geçerek, 13,9°C'lik 20. yüzyıl ortalama değerinin 0,69°C üzerinde gerçekleşmiştir [1].

İnsan kaynaklı CO₂ salınımının %85'e yakını enerji amaçlı fosil yakıt kullanımından kaynaklanmaktadır [2]. Yapılar, enerji tüketen ana sektörlerden biri olarak, küresel yıllık sera gazı salınımının %30'undan sorumludur [3]. Her bir yapının 50 yıl veya üzeri kullanım ömrüne sahip olduğu düşünüldüğünde, bir yapının değişen iklim şartlarına nasıl uyum göstereceğini araştırmak ve enerji tüketimine bağlı sera gazı salınımını azaltmaya yönelik öneriler geliştirmek önem kazanmaktadır [4]. Bu doğrultuda bina enerji simülasyonları, dış hava koşulları, yapı kabuğu, kullanıcı ve iklimlendirme (HVAC) sistemleri arasındaki dinamik etkileşimlerin değerlendirilmesi amacıyla kullanılan, güvenilir bir araçtır [5].

Bina enerji modellemesi, enerji kullanımını azaltmaya yönelik çalışmalarda ihtiyaç duyulan temel araçlardan biri haline gelmiştir. Güvenilirliği kanıtlanmış simülasyon programları kullanılarak gerçekçi tahminler yapılabilen, mevcut yapılar iyileştirilirken veya yeni yapı tasarlanırken farklı senaryoların sonuçları karşılaştırılabilmektedir. "Bina performans simülasyonları etkin ve doğru yapıldıkları takdirde binaların tasarım veya işletim aşamalarında çevresel etkilerini belirleyerek, bu çevresel etkilerin azaltılmasında, bina performansının, iç çevre kalitesinin ve kullanıcıların veriminin artırılmasında çok önemli rol oynarlar" [6].

Bir binanın ne kadar enerji tükettiğini tahmin etme veya hesaplama bilgisine sahip olmayan çoğu mimar için hangi tahmin yönteminin kullanılacağına karar vermek oldukça zor bir süreçtir. Mimarların esas zorluk çektiği konu olan teknik hesapların tasarımı yönlendirmesi, kullanıcı-dostu ve güvenilirliği kanıtlanmış dinamik simülasyon programları sayesinde basitleştirilerek sağlanabilmektedir.

Bina performans modelleme ve simülasyon araçlarının kullanımı, farklı alanlarda teorik bilgiyi ilişkilendirebilen, uzmanlaşmış kişilerin varlığını da gerektirmektedir. Fizik, matematik, malzeme bilimi, biyofizik, insan davranışı, istatistik, makine, tesisat, vb. gibi birçok bilgi ve bilim dalı ile yapı fiziği disiplini bu alanlar arasında sayılabilir. Dijital bina performans simülasyon programları, binanın performansını etkileyecek faktörleri farklı boyutları ile ele alacak bir bilgi birikimi ve deneyimi gerektirmektedir [6].

Bu çalışmada, mevcut bir binanın gelecekte ne kadar enerji tüketeceğini tahmin etmek ve olası termal konfor şartlarını sorgulamak amacıyla dinamik bina simülasyon aracı kullanılmaktadır. Literatürdeki benzer çalışmalar incelendiğinde yöntem olarak, bina simülasyon modellerinin yerinde ölçüm çalışmaları ile beraber yürütüldüğü ve dolayısıyla model sonuçlarının güvenilirliğinin sağlandığı görülmektedir. Anderson, ABD'nin California sahilinde aşırı ısınma problemi yaşanan mevcut düşük enerjili bir ofis binasının iyileştirilmesi için bina simülasyon araçlarından nasıl yararlandığını anlatmaktadır. Bu yapıda öncelikle iç ortam konfor şartlarının yeterince karşılanmadığı ölçümlerle tespit edilmiştir. Ardından yörenin rüzgâr karakteri CFD analizi ile ortaya konduktan sonra, binada karşılıklı doğal havalandırmanın sağlanmasına yönelik önerilen değişiklikler DesignBuilder modelinde denenerek, enerji tüketiminde sağlanacak tasarruf ortaya konmuştur [7]. Jankovic, İngiltere'nin Portsmouth şehri yakınında yer alan sıfır karbonlu binanın tasarımı aşamasında IES-VE bina performans simülasyon programının nasıl kullanıldığını açıklayarak, farklı enerji kaynaklarının karbon emisyonu sonuçlarını karşılaştırmıştır. Buna göre yenilenebilir enerji kaynaklarından hava kaynaklı ısı pompası, rüzgâr ve güneş enerjisinin aynı model üzerinde verimlilikleri karşılaştırılmış ve fayda-maliyet analizlerine göre kaynakların avantajları belirtilmiştir [8]. O'Neill ve arkadaşları 2010 yılında yapmış oldukları çalışmada, Illinois, ABD'de yer alan LEED Altın sertifikalı mevcut bir yapının enerji ve termal performansını analiz etmek için EnergyPlus yazılımını kullanmıştır. Modelin hazırlanma sürecinde, ölçümü gerçekleştirilen ısıtma, soğutma, aydınlatma ve doğal havalandırma verileri dikkate alınmıştır. Buna göre binanın 30 ayrı iklimlendirilmiş ısı bölmesine ait sıcaklık değerleri karşılaştırma amaçlı kullanılmıştır. 1-26 Temmuz 2010 tarihleri arasında elde edilen izleme verilerine göre binanın tahmin edilen elektrik tüketimi gerçek tüketimine göre sadece %3,56 daha fazla bulunmuştur [9].

Bu çalışmada, düşük enerjili bina olabilmeyi hedefleyen, hava kaynaklı ısı pompasıyla iklimlendirilen mevcut müstakil bir konutun, yerinde izleme ve modellemeye dayalı termal ve enerji performans analizine ait sonuçlar sunulmaktadır. Çalışmanın genel amacı, seçilen binaya ait ileriye dönük termal ve enerji performans tahmini yapabilen, kalibre edilmiş dijital performans simülasyon modeli elde etmektir.

1. BİNANIN FİZİKSEL TANITIMI

Araştırma Alanı ve Konum

Araştırma, İzmir’de müstakil bir konutta gerçekleştirilmiştir. Bina, İzmir’in Buca ilçesi Kaynaklar Köyü’ne 3 km. uzaklıkta ormanla çevrili kırsal düz bir alanda yer almaktadır (38°21’35”K, 27°14’25”D). Alanın denizden yüksekliği 306 metredir. Binanın giriş cephesi, güneyden batıya 45° açıyla bakacak şekilde konumlanmıştır.

Müstakil Konutun Tanıtılması

130 konutlu bir site içerisinde yer alan binanın inşaatı 2008 yılında tamamlanmıştır. Bina üç katlı ve toplam 520 m² inşaat alanıyla üç kattan oluşmaktadır (Şekil 1). Zemin katta giriş, mutfak, yemek odası ve çalışma odası yer almaktadır. Birinci katta üç yatak odası ve bunlara özel banyoları bulunmaktadır. Bodrum katında ise sauna, spa, hobi salonu, garaj, çamaşır odası, hizmetli odası ve tüm evin iklimlendirme ve otomasyon sistemlerinin kontrol edildiği bir teknik oda mevcuttur (Şekil 2).



Şekil 1. İzmir, Buca, Kaynaklar’da yer alan müstakil konutun kuzeydoğu cephesi.



Şekil 2. Konutun bodrum kat (a), zemin kat (b) ve birinci kat planları (c).

Yapı Malzemeleri ve İnşaat Tekniği

Bina, betonarme karkas taşıyıcı sistemine sahiptir. İç ve dış duvarların ana malzemesi gazbeton bloktur. Zemin ve bodrum kat dış cephesi, kalınlığı 3 cm, yoğunluğu 1400 kg/m^3 ve ısı iletkenlik hesap değeri $0,55 \text{ W/mK}$ olan Kapadokya doğal tüf taşı ile kaplanmıştır. Binanın birinci kat dış

cephesinde 3 cm beton sıva mevcuttur. Konut kırma çatıya sahip olup, ısıtılmayan çatı arası mekânı ile birinci kat arasında 5 cm kalınlığında ısı yalıtım malzemesi serilidir. Ara kat döşemelerinin U değerleri ise kullanılan kaplama malzemelerine göre 0,15 ile 0,68 W/m²K arasında değişmektedir. Duvar, döşeme detayları ve ilgili ısı transfer katsayıları Tablo 1'de verilmiştir. Binanın kapı ve pencere açıklıkları, alüminyum çerçeve ve arası 1,6 cm argon doldurulmuş çift cam olup, ısı transfer katsayısı değeri 1,49 W/m²K'dir.

Tablo 1. Bina kabuğuna ait duvar ve döşeme detayları

Duvar	Katman	Malzeme	Kalınlık (cm)	Toplam Isı Transfer Katsayısı (W/m ² K)
Dış Duvar (Bodrum+Zemin Kat)	Dış Katman	Kapadokya tuf doğal taşı	3	0,367
	2	XPS yalıtım malzemesi	5	
	3	Sıva	2	
	4	Gazbeton	25	
	İç katman	Sıva	2	
Dış Duvar (1. Kat)	Dış Katman	Dış sıva	2	0,403
	2	XPS yalıtım malzemesi	5	
	3	Sıva	2	
	4	Gazbeton	25	
	İç katman	Sıva	2	
İç Duvar	1	Alçı Sıva	3	1,312
	2	Gazbeton	10	
	3	Alçı Sıva	3	
Çatı Arası Döşemesi	Dış Katman	Isı yalıtım malzemesi	5	0,402
	2	Betonarme döşeme	7	
	3	Asmolen	25	
	4	Sıva	3	
	İç katman	Kireç badana	1	
Bodrum Kat Zemin Döşemesi	Dış Katman	Blokaj	10	0,359
	2	Grobeton	10	
	3	Isı yalıtım malzemesi	0,5	
	4	Şap	7	
	İç katman	Granit	3	

İklimlendirme ve Otomasyon Sistemleri

Binada merkezi ısıtma-soğutma sistemi olarak hava kaynaklı (havadan suya) ısı pompası kullanılmıştır. Garaj hariç, konutun tüm mekânları zeminden ısıtılıp, soğutulmaktadır. Zemindeki borulardaki su sıcaklığı 14°C'ye ayarlanmıştır. 16 kW'lık monofaze dış üniteye sahiptir. Isı pompasına ek olarak fotovoltaik güneş panelleri desteğiyle 1 kWh'lik elektrik enerjisi güneşten sağlanabilmekte, entegre akülerde 8 kWh'lik enerji depolanabilmektedir. Sıcak su üretimi güneş kolektörleri ile sağlanmaktadır. Kolektörlere bağlı termoboyler ile 500 litre sıcak su depolanabilmektedir.

Kullanım ve Kullanıcı Özellikleri

Ölçüm çalışmalarının gerçekleştirildiği dönemde müstakil konut, içinde yer aldığı sitenin konut satışı için örnek (*demo*) ev olarak kullanılmıştır. Bu nedenle dönem dönem kısa süreli ziyaret edilmiştir. Ziyaret esnasında kapıların havalandırma amaçlı açık tutulduğu gözlenmiştir. Ancak bunlar izleme kapsamında not edilememiştir.

2. YERİNDE İZLEME ÇALIŞMASI: ÖLÇÜMLER

Bu çalışmada 'Enerji İzleme Protokolü (MEP)' kullanılmıştır. Bu nedenle iki tür yerde izleme çalışması gerçekleştirilmiştir: termal parametrelerin izlenmesi ve mekân ısıtma-soğutma amaçlı enerji tüketiminin izlenmesi [10]. Buna göre izleme çalışmasının süresi bir yıl olarak planlanıp, ölçümlere Temmuz 2009'da başlanarak Temmuz 2010'da tamamlanmıştır. Bu çalışmada 2009 yılı soğutma dönemini temsilen 17-24 Ağustos 2009 tarihleri arasındaki bir haftalık döneme ait ölçüm sonuçları verilmektedir. Sonuçlar kısmında ifade edilecek enerji tüketim değerleri sadece ısı pompasının kullandığı elektrik tüketim verileridir. Evde aydınlatma ve diğer elektrikli aletler mevcut olup, konutta sürekli yaşanmadığı için yerinde izlemenin kapsamı dışında bırakılmıştır.

Termal Parametreler:

A. Meteorolojik İklim Şartlarının İzlenmesi

Buca, Kaynaklar'da yer alan çalışma alanına ait yerel iklim özelliklerinin tespiti için binanın yanında bulunan diğer bir konutun çatısına, Davis Vantage Pro-2 portatif meteoroloji istasyonu kurulmuştur (Şekil 3). Ölçümlere 15 Temmuz 2009 tarihinde başlanıp, 06 Ekim 2009 tarihinde sonlandırılmıştır. İstasyonun yer seçimi ve kurulumu sırasında ölçümü etkileyecek engellerin olmamasına ve kuzey yönünün doğru tespit edilmesine dikkat edilmiştir. İstasyonun veri depolama kapasitesine bağlı olarak yaklaşık her üç haftada bir çalışma alanı ziyaret edilerek veriler indirilmiştir. İzleme çalışması doğrultusunda bu kırsal alana ait dış ortam kuru termometre sıcaklığı, bağıl nem, rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, atmosferik basınç ve yatay düzleme düşen küresel radyasyon değerleri 10 dakikalık ara ile toplanarak, saatlik ortalamalara dönüştürülmüştür.



Şekil 3. Portatif meteoroloji istasyonunun çatıya monte edilişi.

B. İç Ortam Şartlarının İzlenmesi

Gerçekleştirilen konut içi izleme çalışmasının temel amacı, yapının iç ortam termal şartlarının bulunduğu çevreden ne kadar etkilendiğini incelemek, iç-dış arasındaki ilişkiyi görebilmek ve dolayısıyla yapı kabuğunun konutun mevsimsel ve günlük termal performansına etkisine yönelik tespitlerde bulunabilmektir. Bir diğer amaç da, hazırlanan dijital bina performans modelinin kalibrasyonuna yönelik temel veri sağlamaktır. Bu nedenlerle, üç katlı konutun farklı yönlere bakan mekânlarından yaz, kış ve geçiş dönemlerinde farklı termal tepkiler göstereceği düşünülen 16'sına veri kayıt cihazları yerleştirilmiştir. Doğrudan güneş ışığı almayacak şekilde zemin kotundan yaklaşık 150 cm yüksekliğe yerleştirilen toplam 18 adet ONSET HOB0 U-12 veri kaydedici, 10 dakika ara ile kuru termometre sıcaklığı, bağıl nem ve aydınlık seviyesini ölçerek, kayıt etmiştir (Şekil 4). Cihazların veri depolama kapasitesine bağlı olarak yaklaşık her üç ayda bir veriler indirilerek, saatlik ortalamalara

dönüştürülmüştür. Bu çalışma kapsamında sonuçları sunulmak üzere seçilen 8 adet veri kayıt cihazının ismi Tablo 2’de, yerleri ise Şekil 2’de “kırmızı dikdörtgenler” içinde gösterilmiştir.

Tablo 2. Veri kayıt cihazının ismi ve yerine yönelik özet bilgi.

Kodu	Yeri
HB-8	Bodrum Kat - Hobi Salonu
HB-9	Bodrum Kat - Çamaşırhane
HG-12	Giriş Katı - Çalışma Odası
HF-1	Birinci Kat - Yatak Odası (kuzeybatı)
HF-2	Birinci Kat - Yatak Odası (doğu)
HF-3	Birinci Kat - Yatak Odası (güney)
HF-5	Birinci Kat - Giriş Galerisi Üst Kotu
HF-6	Birinci Kat - Yatak Odası (güneybatı)



Şekil 4. Kuru termometre sıcaklığı, bağıl nem ve aydınlık seviyesini ölçen veri kayıt cihazı.

Mekân Soğutma Amaçlı Enerji Tüketiminin İzlenmesi

Hava kaynaklı ısı pompasının elektrik tüketimi, ENTES MPR63 şebeke analizörü ile her on beş dakikada bir kaydedilmiştir (Şekil 5). Uzaktan erişim ile konuta bağlanılarak ısı pompasının tükettiği toplam enerji, ethernet bağlantısıyla hazırlanan bir portalda kaydedilmiş ve toplanan veriler sayısal ve grafik olarak anlık izlenmiştir. Ölçüm dönemi olan 17 – 24 Ağustos 2009 tarihleri arasında ısı pompası kesintisiz olarak 24 saat boyunca ve çıkış suyu sıcaklık ayarı 14°C olacak şekilde soğutma amaçlı olarak çalıştırılmıştır. Ölçülen tüketim değerleri daha sonra kalibrasyon çalışmasında kullanılmak üzere saatlik ortalamalara dönüştürülmüştür.



Şekil 5. Hava kaynaklı ısı pompası (sağda) ve şebeke analizörü (solda).

3. BİNA PERFORMANS SİMÜLASYON MODELİ

Bina performans simülasyon modelleri tasarımcı ve mühendislere, binaların çevresel performanslarını değerlendirmede ve enerji tasarrufu potansiyellerini tanımlamada yardımcı olmaktadır. Farklı konularda uzmanlaşmış çok çeşitli yazılım arasında, detaylı yerel iklim verisini kullanarak ayrıntılı saatlik enerji tüketimi değeri veren ve çevresel performans analizi gerçekleştirenler de vardır. Bu çalışmada, güvenilirliği kanıtlanmış ticari bir dinamik bina performans yazılımı olan DesignBuilder v.4.2 kullanılmıştır [11]. DesignBuilder, EnergyPlus (E+) [12] hesaplama yöntemini kullanan, kullanıcı dostu ara yüzü ile gelişmiş modelleme araçlarından biridir. Bu yazılım sayesinde, mimar, mühendis ve enerji denetçileri binanın enerji tüketimi ve karbon salınımını analiz ederek, azaltabilmektedir.

Çalışmada hale hazırda mevcut olan IWEC/EPW formatında saatlik iklim verisi, Kaynaklar'da yerinde ölçülen meteorolojik iklim değerleri kullanılarak yeniden düzenlenmiştir. Dinamik bina performans yazılımları, yere özel meteorolojik verilere dayanan ve uzun yılların ortalamalarına göre hazırlanmış çeşitli iklim veri formatlarını kullanmaktadır. Her yazılım genellikle kendi formatını oluşturmaktadır. IWEC (International Weather Year for Energy Calculation) iklim verisi, dünyanın farklı noktalarında 1982 ile 1999 yılları arasında ölçülmüş farklı iklim parametrelerinin, Amerikan Ulusal İklim Bilgi Merkezi tarafından 'tipik yıl'a ait iklim verisi oluşturulmak üzere derlenmesiyle, ASHRAE tarafından 2000 yılında yayınlanmıştır [13]. ABD Enerji Bakanlığı tarafından geliştirilen enerji modelleme yazılımı olan EnergyPlus tarafından kullanılan EPW (EnergyPlus Weather) uzantısı, IWEC formatındaki tipik yıla ait iklim verisinin uzantısıdır [14]. Bu çalışmada, EPW uzantılı IWEC formatında hazır iklim verisi, yere özel iklim verisi yaratmak üzere kullanılmıştır.

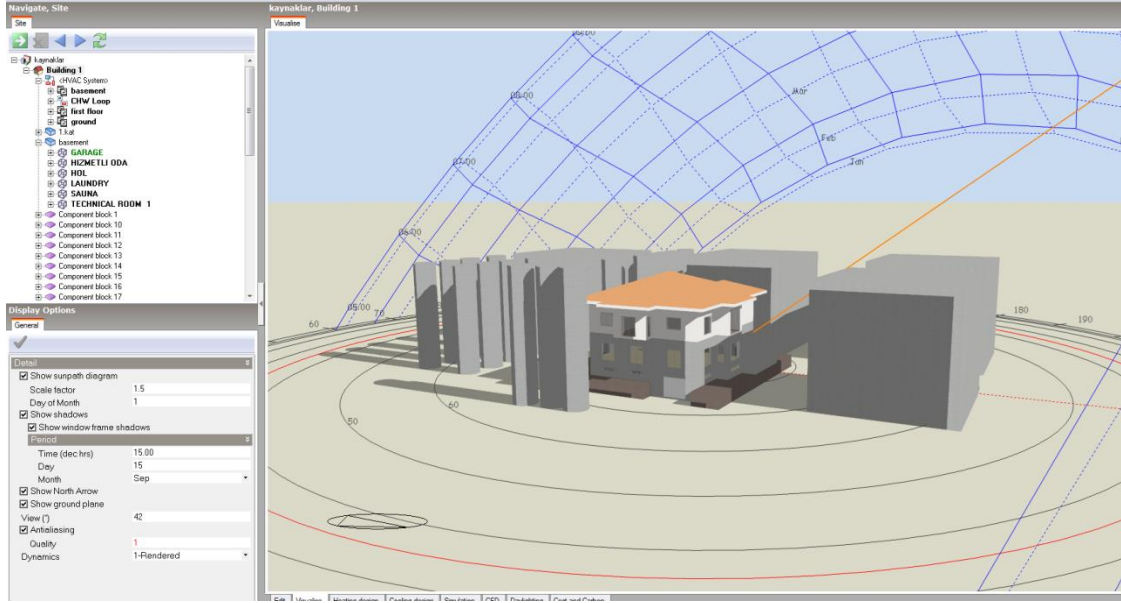
Müstakil konutun yakınında yer alan meteoroloji istasyonunun sağladığı kuru termometre sıcaklığı, bağıl nem, rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, yatay düzleme düşen küresel radyasyon ve atmosferik basınç değerleri saatlik ortalamalara dönüştürülerek, toplam bir yıllık yeni bir yerel iklim dosyası hazırlanmıştır. Ayrıca mevcut istasyonun çeşitli nedenlerle ölçümünü gerçekleştiremediği veriler, alana Gülbahçe'deki, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü hava istasyonundan sağlanmıştır.

Modelleme aşamasında konut, bodrum katta altı, giriş katında üç, birinci katta ise yedi olmak üzere toplam 16 termal bölgeye ayrılmıştır (Şekil 6). Her bir termal bölgenin aynı zamanda birer veri kaydedici cihaz ile izlenmesine dikkat edilmiştir.



Şekil 6. Dijital modelde bodrum kat (a), zemin kat (b) ve birinci kata (c) ait termal bölgeler (not: her renk ayrı bir termal bölgeyi temsil etmektedir).

Bina yakın çevresi ile beraber modellenmiştir. Bu amaçla konut çevresindeki yapı ve bitki örtüsü de çizilmiştir (Şekil 7). Evde sürekli yaşanmadığı da dikkate alınarak kullanıcının performansa etkisi çalışma kapsamı dışında bırakılmıştır. Bu kapsamda kullanım ile ilişkili ve iç kazançları etkileyecek aydınlatma, elektrikli cihaz, pişirme donanımı ve sıcak su üretimi ile ilgili herhangi bir model düzenlemesi yapılmamıştır. Ayrıca, pencere açıklıklarındaki panjur elemanları, yazılımın sunduğu gölgeleme elemanı seçenekleri arasındaki benzer tiplerden seçilerek modellenmiştir. Konutun dış kabuğunun hava sızdırmazlık değeri ile ilgili yapılan gözlemlerden, kapı-pencere çeperinden kaynaklanan hava kaçışının mekânlara göre farklılık göstermediği saptanmıştır. Dolayısıyla, tüm termal bölgelerde hava sızdırmazlık değeri $0,4 \text{ h}^{-1}$ olarak varsayılmıştır yapılmıştır. Kalibrasyon öncesi modelde yapılan kabuller Tablo 3'de sunulmaktadır.



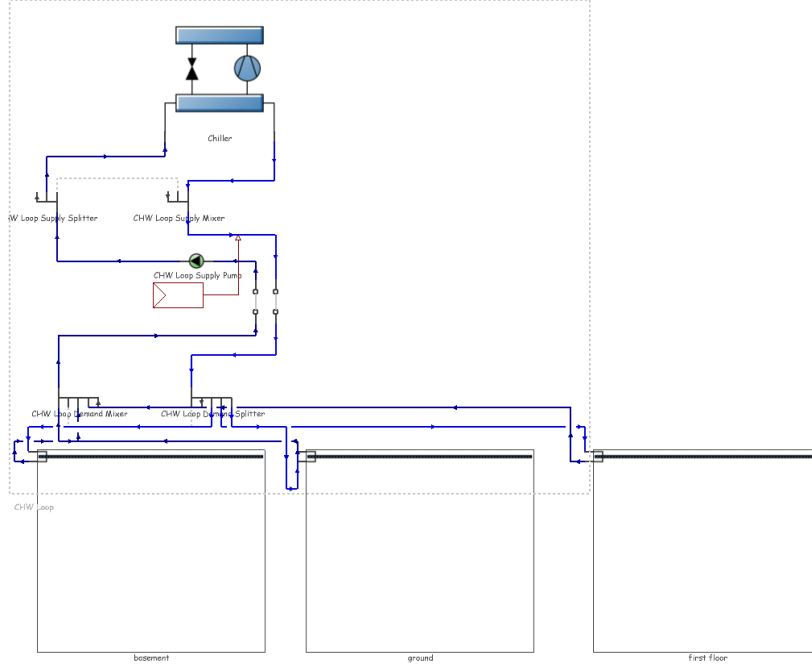
Şekil 7. Bina performans modelinde konut ve yakın çevresi.

Tablo 3. Kalibrasyon öncesi ve sonrasında modelde yapılan kabuller (KÖ: kalibrasyon öncesi, KS: kalibrasyon sonrası).

		Bodrum Kat		Zemin Kat	Birinci Kat				
		HB8	HB9	HG12	HF1	HF2	HF3	HF5	HF6
Kullanıcı Yoğunluğu (kişi sayısı/m ²)	KÖ	-	-	-	-	-	-	-	-
	KS	-	-	-	-	-	-	-	-
Hava Sızdırmazlık Değeri (h ⁻¹)	KÖ	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,7	0,2
	KS	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Termostat Sıcaklığı (°C)	KÖ	22	22	22	22	22	22	22	22
	KS	20	21	19	26	26	26	24	24
Geri Ayarlanan Sıcaklık (°C)	KÖ	28	28	28	28	28	28	28	28
	KS	22	22	21	27	28	28	28	28

Isı Pompasının Modellenmesi

Oluşturulan bina performans modelinde mekan soğutma amaçlı enerji yükleri, DesignBuilder v.4.2 bina performans programı ile hesaplanmıştır [11]. Mevcut konutun ısı pompası ile zeminden soğutulduğu göz önüne alındığında, ısı pompasının modellenmesinde bir takım zorluklarla karşılaşmıştır. Karşılaşılan ana sorun, yazılımın kullanılan son sürümünde ısı pompası şablonunun yeterince geliştirilmemiş olmasıdır. Diğer bir sorun da zeminden soğutma uygulamasının yazılımın HVAC şablonları arasında tanımlanmamış olmasıdır. Yazılım destek ekibinin de yönlendirmesi ile tavandan soğutma (*chilled ceiling*) şablonu seçilerek, soğutma yükleri hesaplanmıştır. Şekil 8'de, üç ana kat için hazırlanmış tavandan soğutma uygulamasının yazılım ara yüzündeki diyagramı görülmektedir.



Şekil 8. DesignBuilder yazılımında ısı pompasının soğutma dönemi modellemesi için hazırlanan tavadan soğutma diyagramı.

Müstakil konutun mekanik sisteminin modellenmesi sürecinde karşılaşılan diğer bir sorun da tavadan soğutma uygulamasının binanın ısıtma amaçlı enerji yükünün hesaplanması için uygun olmadığına anlaşılmıştır. Isı pompasının ısıtma dönemi modellemesi için yazılımın yeterli olmadığı ortaya konduktan sonra, yazılım destek ekibi tarafından EnergyPlus'da modelleme yapılabileceği belirtilmiştir. Dolayısıyla model EnergyPlus'ın dosya uzantısı olan 'idf' formatına çevrilmiştir. Bu yeni formatta ısı pompası modellenirken çok daha detaylı veri girdisi yapılmış olup, bu süreç ayrı bir bildiri konusu olabilecek kadar geniştir. Sonuç olarak örnek yapının soğutma dönemi modellemesi için DesignBuilder v.4.2, ısıtma dönemi modellemesi için EnergyPlus 8.2 programları kullanılmıştır.

Tavadan soğutma sistemlerinin bina uygulamalarında, soğuk su boruları mekâna serinlik sağlamak amacıyla tavana monte edilmektedir. Bu uygulama, alçıpan paneller halinde monte edilen konvansiyonel bir tavadan serinletme sistemine dayanır. Tavan panelleri genellikle ince metal konstrüksiyon ya da sadece alçıpandan olabilir. Kat yüksekliği az olan mekânlarda tavadan soğutma avantajlı bir sistem iken, yüksek ısı kazançları olan mekânlar için sınırlı soğutma kapasitesine sahip olması nedeniyle uygun bir sistem değildir. Soğuk tavan sistemlerinin maksimum soğutma kapasitesi 70 W/m^2 olabilmektedir [15]. Modelde bu kapasite değerinin aşılmasına dikkat edilmiştir.

Bina performans modelinde ise uygulamadan farklı olarak soğuk su boruları taşıyıcı döşeme içine gömülmüştür. Modelde garaj dışında diğer tüm mekânlar için tavadan soğutma (*chilled ceiling*) şablonunun gerektirdiği veriler girilmiş ve pompa verimi (COP) 4,22 olarak kabul edilmiştir. Kalibrasyon öncesi modelde yapılan kabullerin nasıl değiştiği Tablo 3'de izlenebilir.

Model Kalibrasyon İşlemi

Bu çalışmada, binanın gelecekteki termal performans ve enerji tüketim profilini makul hata oranları içerisinde tahmin edebilen bir dijital model hazırlanması hedeflenmektedir. Kalibrasyon çalışmaları, dijital modelin doğruluğu ve kullanılabilirliği için çok önemli ve gereklidir. Kalibre edilmiş bina performans modeli yaklaşımı, Uluslararası Performans Ölçümü ve Doğrulama (IPMVP) Protokolü [16] ve ABD Tesisat Mühendisleri Derneği (ASHRAE) 14-2002 [17] kılavuzunda ayrıntılı olarak yer almaktadır. Kalibrasyon işleminde, deneysel verilerle simülasyon sonuçları karşılaştırılmakta ve gerçeğe yakın veriler elde edene kadar simülasyon denemelerine devam edilmektedir.

Bu çalışmada, saatlik veriler ile kalibrasyon yaklaşımı uygulanmıştır. Kalibrasyon sürecinde iki tür veri kullanılmıştır: iç ortam kuru termometre sıcaklıkları (°C) ve ısı pompasının elektrik tüketimi (KW). Yapılan tahminlerin doğrulanması için öncelikle modelin tahmin değerleri ile ölçümler arasındaki fark gözetilerek, ortalama standart hata (ME: *Mean Error*) ve ortalama hata kareleri toplamının karekökü (CV(RMSE): *Root Mean Square Error*) hesaplanmıştır. ASHRAE ve IPMVP kılavuzlarında bu iki gösterge, hata oranı hesaplanmasında kullanılan istatistiki karşılaştırma yöntemi olarak ele alınmıştır. Hesaplanan değerlerin sifıra yakınlığı o kalibrasyon için yapılan tahminlerin doğruluğunun arttığını göstermektedir. Yeteri sayıda denemeden sonra hata oranlarının kabul edilebilir seviyelere ulaşması beklenmektedir. Saatlik hata oranları Tablo 4'de sunulmaktadır. Bu çalışmada modelin 17 - 24 Ağustos 2009 tarihleri arasındaki soğutma dönemine ait hata oranları, Eşitlik 1 ve 2 kullanılarak hesaplanmıştır.

Tablo 4. Saatlik hata oranları sınır değerleri

İstatistiki Gösterge	ASHRAE 14-2002 (%)	IPMVP %
MBE _{Saatlik}	±10	±20
CV(RMSE) _{Saatlik}	30	10 – 20

$$MBE = \left((100 / \bar{O}_o) * [\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{O}_i) / n] \right) \quad (1)$$

$$CV(RMSE) = (100 / \bar{O}_o) * [1/n * (\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{O}_i)^2)]^{1/2} \quad (2)$$

Burada MBE, ortalama standart hata, CV(RMSE) ortalama hata kareleri toplamının karekökü, n toplam veri sayısını, \bar{O}_o n adet veriye ait ortalama ölçülen değeri, S_i simülasyon sonucu elde edilen değeri, \bar{O}_i ölçülen değeri belirtmektedir.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

İklim

Buca, Kaynaklar'da Temmuz 2009 – Temmuz 2010 tarihleri arası toplam bir yıllık sürede gerçekleştirilen meteorolojik iklim ölçüm sonuçlarına göre kış aylarının (Eylül ile Mart arası) ortalama maksimum sıcaklıkları 12 ve 17°C arasında değişim göstermektedir. Yaz aylarının (Mayıs ile Ekim arası) ortalama sıcaklıkları ise 37,6°C'ye kadar ulaşabilmektedir. Bina yıl boyu kuzey ve kuzey batı rüzgârlarının etki alanı içerisinde yer almaktadır. İncelenen alandaki ortalama rüzgâr hızı 4,38 m/sn'dir. Ulaşılan en yüksek rüzgâr hızı 18 Kasım 2009 tarihinde 18 m/sn (64.79 km/saat) olmuştur.

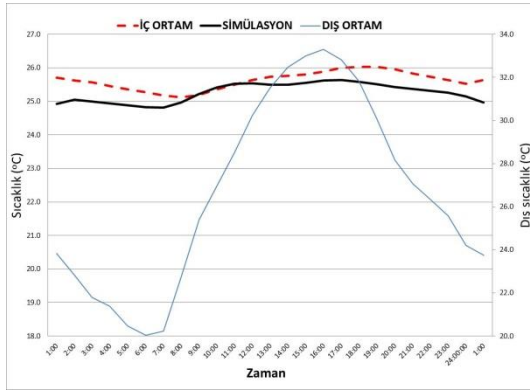
Kaynaklar'da bağıl nem oranı sıcaklığın yüksek, bulutluluğun az olduğu yaz aylarında düşüktür. Buna karşılık yılın soğuk döneminde artış görülmektedir. Yıl içinde Mart ayından itibaren azalmaya başlayan değerler en düşük oranına Temmuz ayında ulaşmaktadır. Bu ayda aylık ortalama bağıl nem binanın bulunduğu alanda %50'dir. Kış mevsiminde ise aylık ortalama %60 civarındadır. Tablo 5'de kaydedilen iklim verilerine göre, 17 – 24 Ağustos 2009 döneminde çalışma alanına özgü dört iklim parametresinin aralıkları görülmektedir.

Tablo 5. Buca Kaynaklar'da 17 – 24 Ağustos 2009 döneminde ölçülen dış ortam iklim parametrelerinin aralıkları.

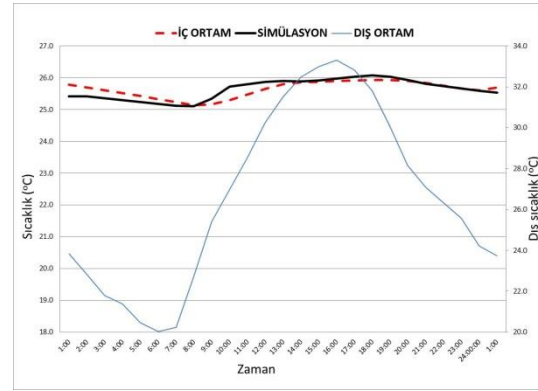
	En düşük	En yüksek	Gece gündüz farkı
Sıcaklık (°C)	17,3	37,3	11 - 16,2
Nem (%)	20	71	26 - 39
Rüzgar hızı (m/sn)	0	4,5	-
Hakim rüzgar yönü	KKB		

Ölçüm ve simülasyon sonuçlarına göre iç ortam sıcaklıklarının karşılaştırılması

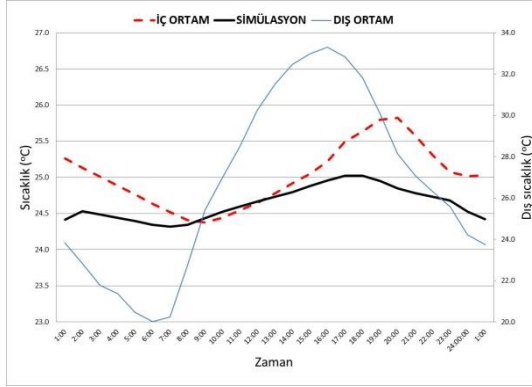
Bina performans modelinin kalibrasyonu için iç ortamda uygun görülen sekiz ayrı termal bölgeye yerleştirilen veri kaydedicilerden elde edilen kuru termometre sıcaklıkları ile simülasyon sonucu elde edilen sıcaklıklar karşılaştırılmıştır. Bu amaçla yüzün üzerinde deneme gerçekleştirilmiştir. Denemelerde ısı pompasının enerji tüketim sonuçları da eş zamanlı olarak değerlendirilmiştir. Sonuç olarak 17 - 24 Ağustos 2009 tarihleri arasındaki soğutma dönemine ait kalibrasyon sonuçları, gün içi saatlik ortalama (Şekil 10 ile Şekil 17 arası) ve günlük eğilimler (Şekil 18 ile Şekil 25 arası) olarak toplam 16 grafik ile sunulmaktadır. Tablo 6'da sekiz termal bölgeye ait saatlik ölçüm ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması sonucu elde edilen saatlik hata oranları yer almaktadır. İç ortam sıcaklıkları açısından, hata oranlarının eşik değerlerin altında kaldığı görülmektedir. Bu nedenle modelin kalibre edildiği kabul edilmiştir.



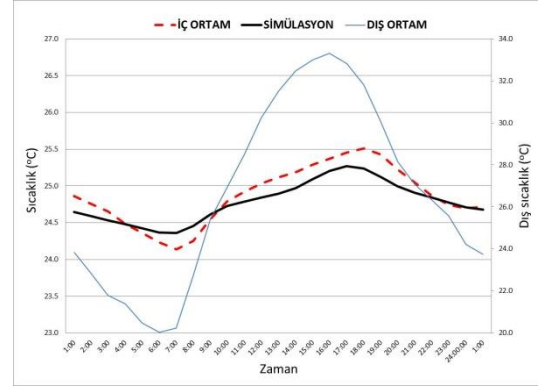
Şekil 10. Ölçüm ve simülasyon sonuçlarına göre gün içi saatlik ortalama iç ortam sıcaklıkları: HF3-Birinci Kat - Yatak Odası (güney), (17-24 Ağustos 2009).



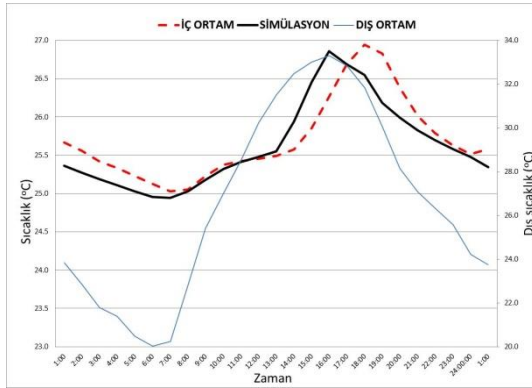
Şekil 11. Ölçüm ve simülasyon sonuçlarına göre gün içi saatlik ortalama iç ortam sıcaklıkları: HF2-Birinci Kat - Yatak Odası (doğu), (17-24 Ağustos 2009).



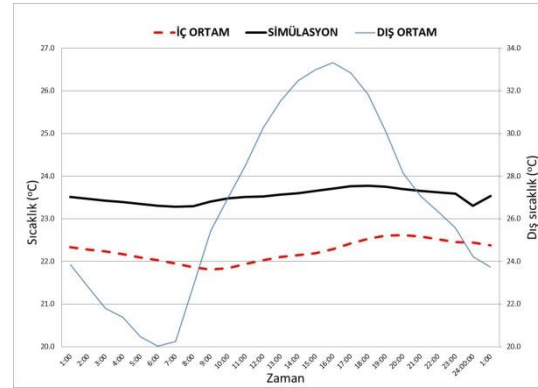
Şekil 12. Ölçüm ve simülasyon sonuçlarına göre gün içi saatlik ortalama iç ortam sıcaklıkları: HF1-Birinci Kat - Yatak Odası (kuzeybatı), (17-24 Ağustos 2009).



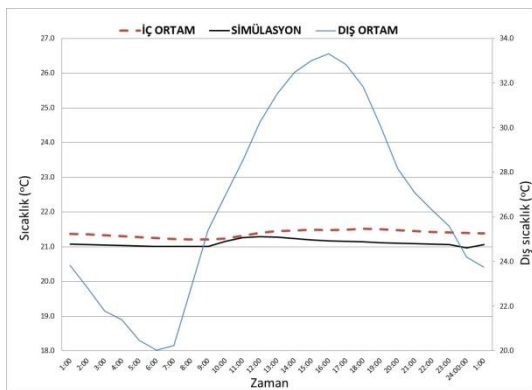
Şekil 13. Ölçüm ve simülasyon sonuçlarına göre gün içi saatlik ortalama iç ortam sıcaklıkları: HF5-Birinci Kat - Giriş Galerisi Üst Kotu, (17-24 Ağustos 2009).



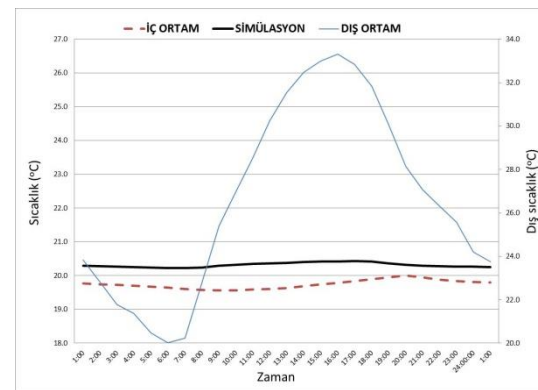
Şekil 14. Ölçüm ve simülasyon sonuçlarına göre gün içi saatlik ortalama iç ortam sıcaklıkları: HF6-Birinci Kat - Yatak Odası (güneybatı), (17-24 Ağustos 2009)



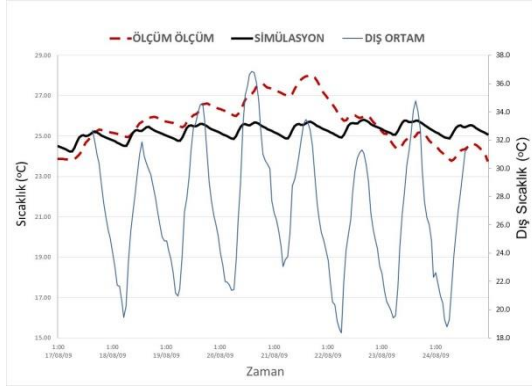
Şekil 15. Ölçüm ve simülasyon sonuçlarına göre gün içi saatlik ortalama iç ortam sıcaklıkları: HG12-Giriş Katı - Çalışma Odası, (17-24 Ağustos 2009).



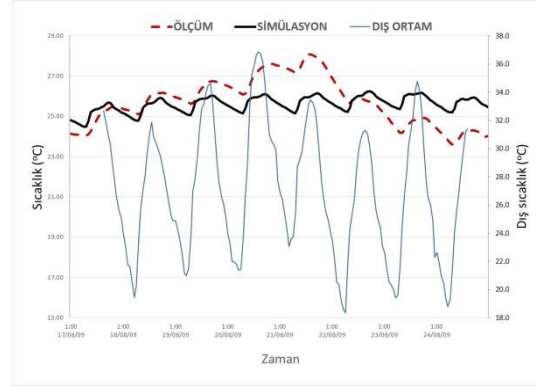
Şekil 16. Ölçüm ve simülasyon sonuçlarına göre gün içi saatlik ortalama iç ortam sıcaklıkları: HB9-Bodrum Kat – Çamaşırhane, (17-24 Ağustos 2009).



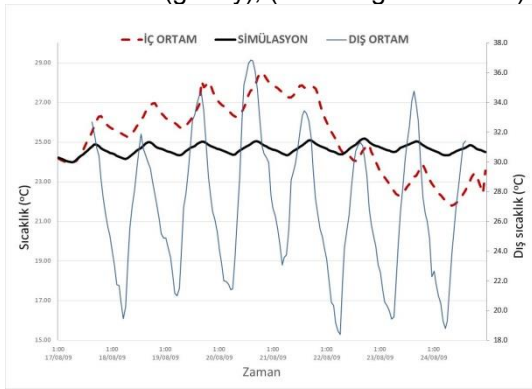
Şekil 17. Ölçüm ve simülasyon sonuçlarına göre gün içi saatlik ortalama iç ortam sıcaklıkları: HB8-Bodrum Kat - Hobi Salonu, (17-24 Ağustos 2009).



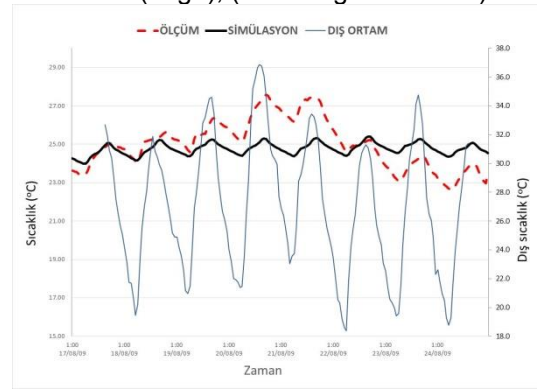
Şekil 18. Ölçüm ve simülasyon sonuçlarına göre günlük iç ortam sıcaklıkları: HF3-Birinci Kat - Yatak Odası (güney), (17-24 Ağustos 2009).



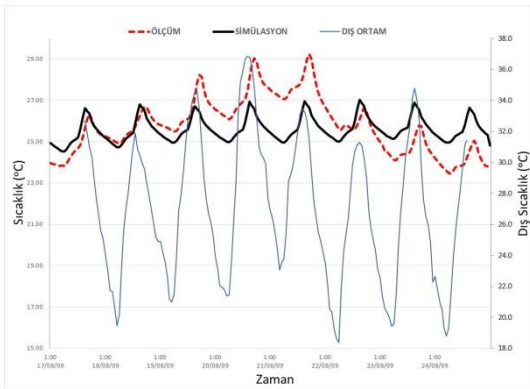
Şekil 19. Ölçüm ve simülasyon sonuçlarına göre günlük iç ortam sıcaklıkları: HF2-Birinci Kat - Yatak Odası (doğu), (17-24 Ağustos 2009).



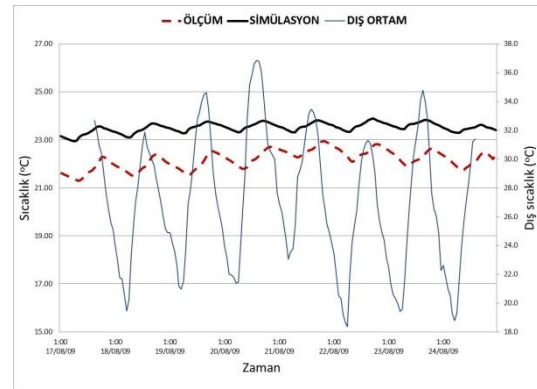
Şekil 20. Ölçüm ve simülasyon sonuçlarına göre günlük iç ortam sıcaklıkları: HF1-Birinci Kat - Yatak Odası (kuzeybatı), (17-24 Ağustos 2009).



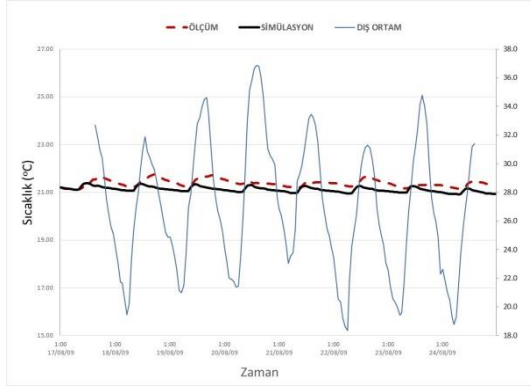
Şekil 21. Ölçüm ve simülasyon sonuçlarına göre günlük iç ortam sıcaklıkları: HF5-Birinci Kat - Giriş Galerisi Üst Kotu, (17-24 Ağustos 2009).



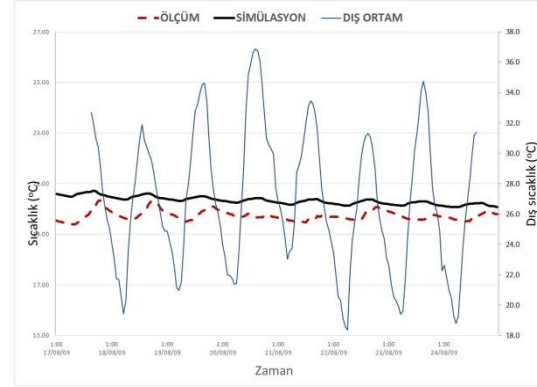
Şekil 22. Ölçüm ve simülasyon sonuçlarına göre günlük iç ortam sıcaklıkları: HF6- Birinci Kat - Yatak Odası (güneybatı), (17-24 Ağustos 2009).



Şekil 23. Ölçüm ve simülasyon sonuçlarına göre günlük iç ortam sıcaklıkları: HG12-Giriş Katı - Çalışma Odası, (17-24 Ağustos 2009).



Şekil 24. Ölçüm ve simülasyon sonuçlarına göre günlük iç ortam sıcaklıkları: HB9 Bodrum Kat – Çamaşırhane, (17-24 Ağustos 2009).



Şekil 25. Ölçüm ve simülasyon sonuçlarına göre günlük iç ortam sıcaklıkları: HB8- Bodrum Kat - Hobi Salonu, (17-24 Ağustos 2009).

Tablo 6. Simülasyon ve gerçek iç ortam sıcaklık değerlerine göre saatlik hata oranları.

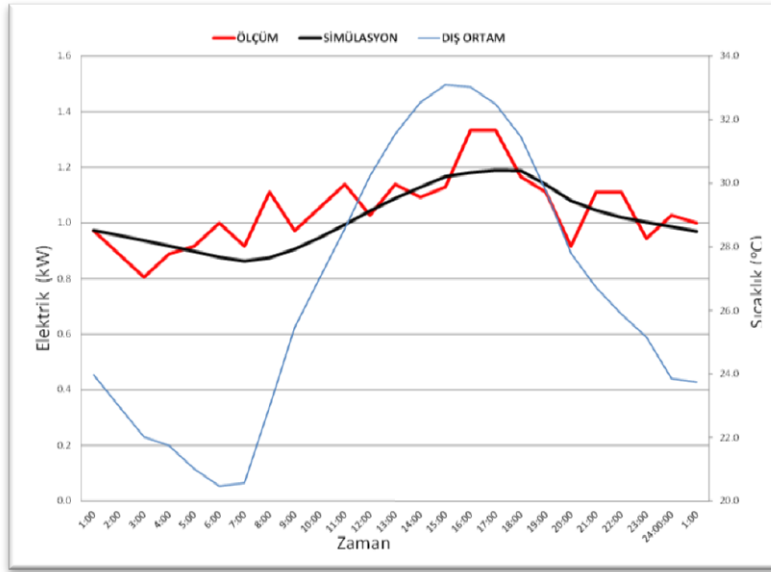
İç Ortam Sıcaklığı (°C)	Bodrum Kat		Zemin Kat	Birinci Kat					ASHRAE 14-2002
	HB8	HB9	HG12	HF1	HF2	HF3	HF5	HF6	
MBE _{Saatlik} (%)	-1,23	3,03	5,99	-2,7	-0,51	-1,71	-1	-0,81	±10
CV(RMSE) _{Saatlik} (%)	1,39	3,22	6,10	7,7	4,37	4,36	4,81	4,75	30

Bina performans modelinde gerçeğe en yakın tahminlerin birinci kattaki 'HF2-Yatak Odası (doğu)' ve 'HF6-Yatak Odası (güneybatı)' mekânlarında gerçekleştiği gözlenmiştir. Modelin en yüksek hata payları, zemin kattaki 'HG12-Çalışma Odası' ile bodrum kattaki 'HB9-Hobi Salonu' mekânlarında ortaya çıkmıştır. Modelden elde edilen sıcaklıklar, gerçekte de olduğu gibi bodrum katta daha istikrarlı, zemin ve birinci katta inişli-çıkışlı seyretmektedir. Sözü edilen bu inişli-çıkışlı eğilim, kimi mekânlarda (Bodrum Kat-HB8-Çamaşırhane) yakalanırken, kimi mekânlarda (Birinci Kat-HF1-Yatak Odası-Kuzeybatı ve Birinci Kat-HF5-Giriş Galerisi Üst Kotu) aşırı sapmalar göstermektedir. Bu sapmaların muhtemel sebepleri, bina kabuğuna ait açıklıkların kapanıp açılma miktar ve süreleri, gölgeleme elemanlarının kullanım periyodları ve istenmeyen hava kaçışlarının belli bir zamanlamaya oturtulamamasıdır. Ayrıca yazılımın mekanik sistemi modellemede sunduğu kısıtlamalar da hata payını arttırmaktadır. Modelin en az kalibre edilebilmiş mekânı, ofis mekânıdır. Zemin katta yer alan ofis mekânının kapısının sürekli açık olması doğrudan ilişkide olduğu giriş holü – merdiven holü - mutfak – yemek salonu – salon fonksiyonlarını içeren büyük bir ısıl bölgenin termal şartlarından doğrudan etkilenmesine sebep olmuştur. Bu durum modelin HVAC ayarlarının yapılması aşamasında, termostat sıcaklığının tanımlamasını zorlaştırmıştır. Çok sayıda kombinasyon ve deneme sonunda, Tablo 3'de verilen termostat sıcaklığı değerleri ile Şekil 15 ve Şekil 23'de görülen olası en yakın değerlere ulaşılabilmiştir.

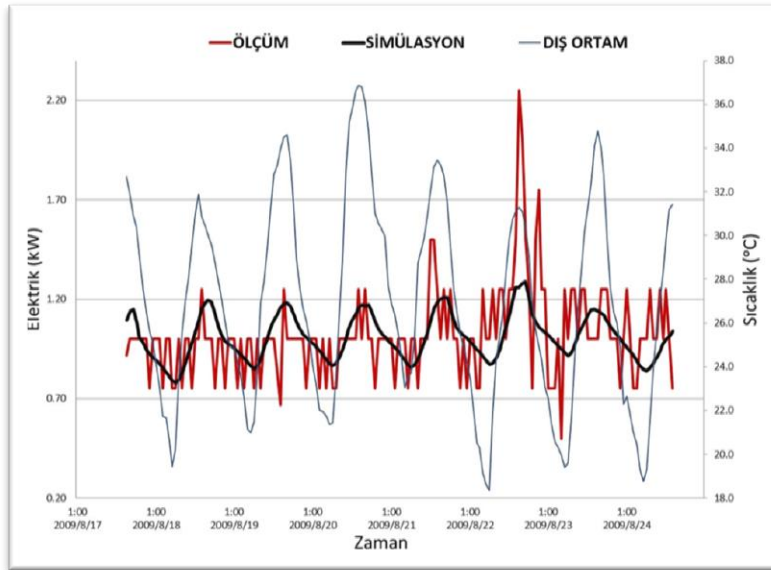
Ölçüm ve simülasyon sonuçlarına göre ısı pompasına ait elektrik tüketiminin karşılaştırılması

Bina performans modelinin kalibrasyonunda ısı pompasının tükettiği saatlik elektrik tüketimi de dikkate alınmıştır. Modelde enerji tüketimini etkileyecek faktörler arasında, ısı pompasının kapasite verileri, mekânların termostat ve geri ayarlanan sıcaklıkları ve hava sızdırmazlık değerleri üzerinde denemeler yapılarak, tüketim tahmin edilmiştir. Sonuç olarak 17 - 24 Ağustos 2009 tarihleri arasındaki soğutma dönemine ait kalibrasyon sonuçları, gün içi saatlik ortalama (Şekil 26) ve günlük eğilim (Şekil 27) olarak sunulmaktadır. Tablo 7'de saatlik ölçüm ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması sonucu elde edilen saatlik hata oranları sunulmaktadır. Isı pompasının enerji tüketim değeri açısından, hata oranlarının kabul edilebilir seviyenin bir miktar dışında kaldığı görülmektedir (ASHRAE 14-2002'ye göre MBE: %-10,47 < %-10; CV(RMSE): %22,53 < %30). Bu nedenle modelin yeterince kalibre

edilemediği kabul edilmiştir. Bu süreçte karşılaşılan en büyük problem, ısı pompası sisteminin gerektirdiği teknik özelliklerin DesignBuilder v.4.2'de yeterince tanımlanamamasıdır.



Şekil 26. Ölçüm ve simülasyon sonuçlarına göre ısı pompasına ait gün içi saatlik ortalama elektrik tüketimi, (17 -24 Ağustos 2009).



Şekil 27. Ölçüm ve simülasyon sonuçlarına göre ısı pompasına ait günlük elektrik tüketimi, (17 -24 Ağustos 2009).

Tablo 7. Simülasyon ve gerçek enerji tüketimine (mekân soğutma) göre saatlik hata oranları.

	MBE _{Saatlik} (%)	CV(RMSE) _{Saatlik} (%)
Elektrik (KW)	-10,47	22,53
ASHRAE 14-2012	±10	30

Yerinde ölçüm çalışmasında kaydedilen değerlere göre ısı pompasının soğutma için harcadığı saatlik tüketim yaklaşık 1.02 kW olduğu saptanmıştır. Kalibrasyon sürecinde, ölçülen gerçek iç ortam

sıcaklıkları ile modelden alınan sıcaklık değerleri arasında farklılıklar görüldüğü gözlenmiş ve mekân sıcaklıklarının modelde yeterince kontrol edilemediği saptanmıştır. Bunun üzerine tavandan soğutmalı HVAC şablonunda termostat sıcaklık ayarları defalarca kontrol edilmiştir. İç ortam sıcaklıklarını ölçülen değerlere yakın tutabilmek amacıyla, modelde girilen döşeme katmanlarına bir yalıtım katmanı daha eklenerek ısıtılmayan mekân döşemelerinden kaynaklanabilecek muhtemel ısı kazançları önlenmeye çalışılmıştır.

5. DEĞERLENDİRME:

Bu çalışmada Kaynaklar, İzmir'de yer alan müstakil bir konutun soğutma dönemi termal ve enerji performansını analiz etmek amacıyla hazırlanmış dinamik simülasyon modeline ait hata payları sunulmaktadır. Dijital modele girdi olan iklimsel veri ve bina bilgisi, yerinde ölçümler gerçekleştirilerek 2009 yılının soğutma sezonunda toplanmıştır. Model, kalibrasyon yoluyla düzenlenerek ölçülene yakın sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır. Kalibrasyon süreci bu bildiriye detaylı olarak sunulmaktadır. Kalibrasyon sonrasında, hava kaynaklı ısı pompası ile iklimlendirilen konuta ait simülasyon modelinden 17-24 Ağustos 2009 tarihleri arasında gösterdiği termal performans değerleri ile mekan soğutma amaçlı enerji tüketimi sonuçları elde edilmiştir. Bu sonuçlara dayanarak aşağıdaki noktaların altı çizilebilir:

1. Bir yapının dijital performans modelinin hazırlanması, kalibrasyonu ve simülasyon sonuçlarının yorumu, binanın performansını etkileyecek faktörleri farklı boyutları ile ele alabilen, bilgi birikimi ve deneyim sahibi kullanıcılar gerektirmektedir. Bu çalışma da özellikle yapı fiziği ve mekanik iklimlendirme alanlarında bilgi ve tecrübe sahibi olabilmenin önemini ortaya koymuştur. Devamlı genişleyen ve derinleşen bina performans modelleme konusunda uzmanlaşmak, zaman ve emek gerektiren bir süreç olup, kullanıcının kendisini geliştirmesi beklenmektedir. Bu çalışmada, mimarlık disiplinin bilgi birikimini zorlayan hava kaynaklı ısı pompası gibi özel bir iklimlendirme sisteminin modellenmesi, makina mühendisleri ile mimarların birbirini besleyecek şekilde beraber çalışması gerekliliğini ortaya koymuştur.
2. Kalibrasyon işlemi sonucunda daha az hata payı oranına ulaşabilmek için bina simülasyon programlarının mekanik sistem kütüphanesinin zengin ve uyarlanabilir olması gerekmektedir. Bu çalışmada, hava kaynaklı ısı pompası ile soğutulan yapının mekanik sistemini DesignBuilder dinamik simülasyon programında en iyi tanımlayan sistem, tavandan soğutma (chilled ceiling) olmuştur. Yazılımın mekanik sistemi modellemede sağladığı olanak ve kısıtlamalar oranında hata payı da azalabilme veya artabilmektedir.
3. Kalibrasyonun yapılacağı dönemde yerinde izleme yapılan mekânların kullanım ve işletim şekilleri özenle kayıt altına alınmalıdır. Bu dönemlerde, bina kabuğuna ait açıklıkların kapanıp açılma miktar ve süreleri, gölgeleme elemanlarının kullanım periyodları ile iç mekânlar arasındaki hava akımını engelleyecek kapıların kullanım periyodları not edilmelidir. Bu faktörler modelin kalibrasyonunda en az yapı ve yakın çevresinin fiziksel özelliklerinin doğru tanımlanması kadar önemlidir.
4. Bu çalışma kapsamında sadece soğutma dönemine ait kalibrasyon sonuçları sunulmaktadır. Isıtma veya soğutma yapılmayan ara dönemler ile ısıtmanın yapıldığı dönemlere ait kalibrasyon işlemlerinin de yapılması gereklidir.
5. Bu çalışmada da gerçekleştiği gibi gerekli durumlarda, bir yapının modellenmesinde birden çok sayıda performans simülasyon aracının kullanılması gerekebilir. Örnek yapının soğutma dönemi modellemesi için DesignBuilder v.4.2, ısıtma dönemi modellemesi için EnergyPlus 8.2 programları kullanılmıştır. Farklı programların kullanılmasının ana sebebi, Designbuilder'ın ısı pompası şablonunun yeterince geliştirilmemiş olmasıdır. Kullanılan ana programın ileriki sürümlerinde havadan suya ısı pompası sistemine özel şablonların hazırlanması mimar kullanıcılara rahatlık sağlayacaktır.
6. Bu çalışmada, modele girilen toprak sıcaklığının bodrum katındaki mekân sıcaklıklarını değiştiren en etkili parametre olduğu görülmüştür.
7. Birinci kattaki mekân sıcaklıkları doğrudan güneş ışığı kazanım problemleri nedeniyle alt katlardan farklılık göstermektedir.
8. Yapı kabuğunun hava sızdırmazlığının ölçüldükten sonra modelde belirtilmesi gerçeğe yakın kalibrasyon sonuçlarının alınmasını sağlayacaktır.

Teşekkür:

İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı'nda yürütülmekte olan “Binalarda Enerji Tüketimini Tahmin Metotlarının Karşılaştırılması” isimli yüksek lisans tezi kapsamında gerçekleştirilen bu yerinde izleme çalışmasının ölçüm cihazlarını sağlayan Mimarlık Fakültesi, Merkezi Yapı Fiziği Laboratuvarı'na teşekkürlerimizi sunarız. Bu çalışmanın gerçekleştirildiği Buca, Kaynaklar'da yer alan müstakil konutun izlenmesi sırasında bizlere desteklerini esirgemeyen Makine Mühendisi Can Hasanoğlu, Mimar Erdal Gündoğan ve Mimar Fatma Şahin Gündoğan'a teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR:

- [1] İklimin Durumu: Yıllık 2014 için Küresel Analiz [State of the Climate: Global Analysis for Annual 2014], ABD Ticaret Bakanlığı, Ulusal Okyanus ve Atmosferik (Olaylar) İdaresi, Ulusal İklim Analiz Merkezi (NOAA National Climatic Data Center, 2014), Online Yayınlanma Tarihi: Aralık 2014, Erişim Tarihi: 29 Ocak 2015, <http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/>, (2014).
- [2] B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds), Climate Change 2007: Working Group III: Mitigation of Climate Change, IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) Fourth Assessment Report, Cambridge: [Cambridge University Press](http://www.cambridge.org/9780521146638), sayfa no: 265, (2007).
- [3] Yapılar ve İklim Değişikliği [Buildings and Climate Change: Summary for Decision-Makers], UNEP-SBCI Sustainable Buildings & Climate Initiative, UNEP DTIE Sustainable Consumption & Production Branch. Erişim Tarihi: 14 Şubat 2015, www.unep.org/sbci/pdfs/SBCI-BCCSummary.pdf, sayfa no: 3, (2009).
- [4] 2010-2023 Isı Yalıtımı Planlama Raporu: Dünyada Binalarda Enerji Verimliliği Stratejileri ve Türkiye'de Yapılması Gerekenler Isı Yalıtımı Planlama Raporu. Isı Su Ses ve Yangın Yalıtımcıları Derneği (IZODER), (Haziran 2010).
- [5] [J. C. Lam](#), [K. K.W. Wan](#), [D. Liu](#) and [C.L. Tsang](#), “Multiple regression models for energy use in air-conditioned office buildings in different climates,” Energy Conversion and Management, Vol. 51, Issue: 12, Sayfa: 2692–2697, (2010).
- [6] Z. Yılmaz, Bina Performans Modelleme ve Simülasyonları, EKOYAPI: Ekolojik Yapılar ve Yerleşimler Dergisi, Yıl: 2, Sayı: 8, Sayfa no: 120-127, (Şubat 2012).
- [7] K. Anderson, “Existing Building Energy Analysis 2,” Design Energy Simulation for Architects: Guide to 3D Graphics, Hoboken: Routledge, Sayfa no: 216-220, (2014).
- [8] L. Jankovic, Designing Zero Carbon Buildings Using Dynamic Simulation Methods, Renewable Energy, London: Routledge, sayfa no: 187 – 202, (2012).
- [9] Z. O'Neill, S. Yuan, T. Bailey, S. Narayanan and V. Fonoberov, Modeling and Calibration of Energy Models for a DoD Building (Department of Defense), ASHRAE Transactions, Vol. 118, Issue 2, (2012).
- [10] M. Santamouris, Energy Performance of Residential Buildings: A Practical Guide for Energy Rating and Efficiency, London: James & James/Earthscan USA, (2005).
- [11] DesignBuilder Software Version 4, <http://www.designbuilder.co.uk/>, (2014).
- [12] EnergyPlus Software Version 8.1, http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus_about.cfm, (2014).
- [13] M. S. Doggett, Climate Data for Building Simulations, Online Yayınlanma Tarihi: 27 Şubat 2014, Erişim Tarihi: 29 Ocak 2015, <https://builtenv.wordpress.com/2014/02/27/climate-data-for-building-simulations/>, (2014).
- [14] [Building Energy Software Tools Directory](#): IWECC, Erişim Tarihi: 29 Ocak 2015, http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/software.cfm/ID=369/pagename=alpha_list, (2015).
- [15] CBCA, An Introduction to Chilled Beams and Ceilings, HEVAC, July 2012 Version 1, (2012).



- [16] IPMVP: International Performance Measurement and Verification Protocol-Concepts and Options for Determining Energy and Water Savings V.1. International Performance Measurement and Verification Committee, (2001).
- [17] A. S. H. R. A. E. Guideline 14-2002: Measurement of Energy and Demand Savings. American Society of Heating, Ventilating, and Air Conditioning Engineers, Atlanta, Georgia, (2002).

ÖZGEÇMİŞLER

Rahşan Aytül GÜLMEZ RAFAAT

Mimar Rahşan Aytül Gülmez Raafat 1974, İzmir doğumludur. 1997 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Bölümü'nden mezun olduktan sonra çeşitli mimarlık bürolarında mimar olarak çalışmıştır. 1999 yılında İzmir'de başladığı mimarlık kariyerine 2008 yılına kadar Mısır'da Uluslararası Abu Soma inşaat firmasında devam etmiş, bu sürede değişik ölçekli mimari projelerde tasarımcı mimar ve proje yöneticisi rolünü üstlenmiştir. Mısır'da çalıştığı süre içerisinde özellikle Mısır geleneksel mimarisini inceleme fırsatı bulup, projelerinde de doğal iklimlendirme öğelerini kullanmıştır. 2008 yılında Türkiye'ye geri dönmüş ve İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mimarlık Bölümü'nde Yapı Fiziği konusunda yüksek lisans eğitimine başlamıştır. Eğitimiyle eş zamanlı olarak, aile şirketi olan STAR Isıtma-Soğutma firmasında akıllı bina tasarımları ve yenilenebilir enerji kaynaklarının binaya entegrasyonu hizmetlerinde rol almıştır. 2013 yılından bu yana EDİTO Ekolojik Tasarım ve Enerji Danışmanlığı adı altında kurmuş olduğu kendi şirketinde, mevcut veya yeni tasarlanan konut ve endüstriyel binalarda öngörülen enerji etkin ve sürdürülebilir yenileme önerilerinin geliştirilmesi ile bina enerji tüketimlerin belirlenmesi için bina enerji modellemesi ve mimarlık çalışmalarını sürdürmektedir.

Zeynep DURMUŞ ARSAN

1971 yılı İzmir doğumludur. 1992 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi, Mimarlık Bölümü'nden mezun olmuştur. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mimarlık Bölümü'nde yürüttüğü yüksek lisans çalışmasını 1997 yılında tamamlamasının ardından, 'Türkiye'de Sürdürülebilir Mimari' konulu Doktora çalışmasını, 2004 yılında İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü'nde tamamlamıştır. 2005 yılında Belçika, Leuven Katolik Üniversitesi, Sürdürülebilir İnsan Yerleşimleri Merkezi ve 2011 yılında Avusturya, Viyana Teknik Üniversitesi, Yapı Fiziği ve Yapı Ekolojisi Bölümü'nde doktora sonrası araştırmalarını yürütmüştür. Yerel sürdürülebilirlik ve mimari, sürdürülebilir bina tasarımı, bina performans simülasyonları konularında çalışmalar yürütmektedir. Halen İYTE Mimarlık Bölümü'nde Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır.