

STATİK VE DİNAMİK HESAPLAMA METODLARI İLE BİNALARDA ENERJİ PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ, ÖLÇÜM DEĞERLERİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Mustafa Can YAMAN
Güliden GÖKÇEN

ÖZET

Binaların enerji performansının sayısal olarak belirlenmesi, uygulanan metodun hassasiyetine (statik, dinamik metodlar) ve erişilebilecek verilere bağlıdır (meteorolojik veriler, proje detayları, malzeme özellikleri, HVAC sistemi bilgileri vb.).

Bu çalışmada; binalarda enerji performansı belirleme metodları tanıtılmış ve 2006 yılından bu yana enerji tüketimi, iç ortam sıcaklık ve bağıl nem değerleri ile Kampüse ait meteorolojik verilerin izlendiği İYTE-Urla-İzmir'de bulunan *İdari Bina*'nın enerji performansı, statik ve dinamik metodlar ile hesaplanmıştır. Türkiye'de zorunlu standart olarak kullanılan TS 825, statik hesaplama metodu içerir. Dinamik metod olarak ise iki metod kullanılmıştır. Birincisi basit dinamik hesap metodu olan CIBSE (Chartered Institution of Building Services Engineers-İngiltere) Admittance Method (Isıl girişkenlik), ikincisi ise detaylı dinamik hesap metodu olan ASHRAE (The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers-ABD) Heat Balance (Isıl Denge) Methodu'dur.

Belirlenen dinamik metodları baz alan Ecotect (CIBSE) ve EnergyPlus (ASHRAE) yazılımlarının kullanımı ile *İdari Bina* simüle edilmiş, elde edilen sonuçlar halen devam etmekte olan enerji tüketim ölçümleri ve statik metodla karşılaştırılmıştır. Metodların birbirleri ve ölçüm değerleri ile olan ilişkileri değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Binaların enerji performansı, ASHRAE Isıl Denge Metodu, TS 825, CIBSE Admittance Metodu, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü

ABSTRACT

Evaluation of energy performance of buildings is dependant on the sensitivity of the calculation method(static or dynamic) and the access to outdoor conditions, building project details, construction material properties and HVAC system specifications.

In this study, methods of energy performance evaluation for buildings are introduced and these methods are applied of İYTE Administrative Building which is under energy survey since 2006. TS 825 "Thermal insulation requirements for buildings" is the static method which is the mandatory code in Turkey. Dynamic methods are classified as CIBSE Admittance Method(semi-dynamic) and ASHRAE Heat Balance Method(dynamic).

Ecotect and EnergyPlus software are used to simulate energy consumption of the building and compared with measured consumption data. Results are capabilities of different methodologies are discussed.

Key Words: Energy performance of buildings, ASHRAE Heat Balance Metod, CIBSE Admittance Method, İzmir Institute of Technology

1. GİRİŞ

Ülkemizde ve dünyada enerji tüketimi, teknoloji ve nüfus artışına bağlı olarak artmakta, enerjinin temini ve ulaştırılmasındaki problemler, enerji tüketiminin çevresel etkileri, fosil kaynakların tükenmekte oluşu, var olan kısıtlı imkanların verimli kullanılmasını gerektirmektedir.

Kyoto protokolü, küresel ısınma ve iklim değişikliği ile mücadeleye yönelik uluslararası bir çerçeve anlaşmadır. Kyoto protokolünün amacı; atmosferdeki sera gazı yoğunluğunun iklimi olumsuz yönde etkileyecek seviyenin altında tutulmasını sağlamaktır. 1997 yılında hazırlanıp, 2005 yılında yürürlüğe giren protokol; katılımcı ülkelerin endüstride, ulaşımda, konut sektöründe salınan sera gazlarını sınırlayıcı mevzuatları düzenlemelerini, sera gazı salımı yapmayan alternatif enerji kaynaklarını teşvik etmelerini ve protokolün EK1'inde belirtilen emisyon sınırlamalarına uyulmasını zorunlu kılmaktadır.

Avrupa Birliği ülkelerinde, 1992 yılından bu yana enerjinin etkin kullanımı için çalışmalar yapılmaktadır. Bunlardan en önemlisi, AB ile harmonizasyon çalışmaları çerçevesinde uyulması zorunlu olan ve 2002 yılında yayınlanan 2002/92/EC sayılı Binaların Enerji Performansı hakkındaki Avrupa Birliği direktifidir [1]. Bu metin, üye ülkelerin yapı sektöründe enerji performansını belirleyecek metodların ana hattını çizmekte, var olan bina stoğunda yapılabilecek çalışmaları öngörmekte ve binaların enerji performansı yönünden sertifikalandırılmasının esaslarını içermektedir.

2002/92/EC direktifi, binaların enerji performansını belirleyecek metodların; binanın ısı ve hava sızdırmazlık özelliklerini, doğal havalandırmayı, ısıtma soğutma ekipmanlarını, izolasyon ve ısı köprü karakteristiğini, aydınlatmayı ve iç ortam koşullarını tanımlamasını şart koşmaktadır. Direktif, enerji performansını belirleyecek metodların ana hatlarını CEN/TR 15615 [2] şemsiye dokümanına ve dokümanın işaret ettiği toplam 52 EN standardına dayandırmaktadır.

EN ISO 13790 “Binaların Enerji Performansı-Isıtma ve soğutma enerji tüketimi hesaplamaları” standardı [3], enerji performans hesaplama metodlarını aylık ya da sezonluk metot (statik), basit saatlik metot (yarı dinamik) ve detaylı saatlik metot (dinamik) olarak üçe ayırmakta ve her üç yaklaşım için asgari gereksinimleri tanımlamaktadır.

Türkiye, AB'ye giriş sürecinde mevzuatını 2002/92/EC direktifinde öngörüldüğü şekilde revize etmektedir. 2000 yılında yürürlüğe giren TS 825 “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” standardı [4], 2008 yılında yenilenmiştir. Ayrıca Bayındırlık Bakanlığı tarafından 5 Aralık 2008 tarihinde “Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği” [5] çıkarılmış, yeni ve önemli oranda tadilat yapılacak mevcut binaların Enerji Kimlik Belgesi alması kuralı getirilmiştir. Bu yönetmeliğe göre Enerji Kimlik Belgesi; binanın ısıtma, soğutma, havalandırma, sıcak su temini ve aydınlatma için gerekli birincil enerji tüketiminin ve bunun sonucu olarak üretilen sera gazı emisyonu değerlerini içermektedir.

Literatürde, binaların enerji performansının belirlenmesiyle ilgili birçok çalışma mevcuttur. Bunlar; bina enerji simülasyonu yazılımları ile enerji tüketim tahminleri [6-7], ölçüm değerleri ile simülasyon sonuçlarının karşılaştırıldığı çalışmalar [8-12], binalarda enerji performansını artırıcı önlemlerin ekonomik analizlerini içeren çalışmalar [13-14], sadece proje bilgilerini kullanarak binanın enerji performansının saptanmasına yönelik çalışmalar [15-17] şeklinde sınıflandırılabilir. Türkiye'deki çalışmalar [18-19] genellikle farklı iklim bölgelerinde ısıtma-soğutma yüklerinin ve izolasyon kalınlıkları belirlenmesi üzerinedir. Binalarda enerji performansının belirlenmesi ve enerji tüketiminin azaltılması yönündeki iyileştirmelerin simüle edilmesi üzerine sadece bir çalışmaya rastlanmıştır [8].

Bu çalışmada, en yakın meteoroloji istasyonundan alınan veriler kullanılarak statik ve dinamik hesap metodları ile İYTE İdari Bina'nın enerji performans analizi yapılacak ve elde edilen enerji tüketim değerleri ile ölçüm değerleri karşılaştırılacaktır.

2. İYTE İDARİ BİNA'NIN TANITILMASI

İYTE İdari Bina (Daire Başkanlıkları Binası); doğu-batı eksenine konumlanmış açık meskenli 3+1(+1 zemin) katlı bir ofis binası olarak tanımlanabilir. 5190 m² brüt, 5090 m² net kullanım alanıyla 2000 yılında hizmete girmiştir. Kampüs içindeki konumu Şekil 1'de, 2009 yılı itibarıyla kullanım bilgileri ise Tablo 1'de verilmiştir.

İdari Bina kendisine ait merkezi ısıtma/soğutma sistemine sahiptir. Isıtma sistemi; her biri 291 kW kapasitede fuel-oil yakıtlı 2 adet kazandan (2x291 kW) ve 20 tonluk yakıt tankından oluşmaktadır. Tesisat projesine göre binanın toplam ısı yükü 446 kW'dır. Yakıt olarak 4 numaralı fuel-oil kullanılmaktadır. Binanın soğutma sistemi; 3 adet hava soğutmalı, kondenserli dış ünitelerden oluşmaktadır. 311.9 kW soğutma gücüne sahip dış ünitenin 37°C dış ortam sıcaklığında tükettiği enerji kompresör için 127.5 kW, 9 adet pompa için ise 32.4 kW'dır. Binanın tesisat projesine göre toplam soğutma yükü 500 kW'dır. Hacimlerde ısı transferi hem ısıtma hem soğutmada kullanılan fan-coiller ile sağlanmaktadır. Ayrıca binada pencerelerde gölgeleme sağlamak amacıyla jaluziler kullanılmaktadır. Hesaplamalarda kullanılan yapı malzemelerinin özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 1. İdari Bina Yerleşimi.

Tablo 1. İdari Bina Kullanım Bilgileri.

Mekan	Adet	Alan (m ²)
Bilgisayar lab. (0-50m ²)	1	152
Diğer lab.	15	734
Kantin	1	172
Toplantı salonu	6	200
Ofis (akademik personel)	40	860
Kazan dairesi	1	153
Ofis (idari personel)	47	1541
Ambar	1	140
WC	14	246
Arşiv	2	54
Hol+merdiven	3	654
Atölye	2	184
Toplam	133	5090

Tablo 2. İdari Bina Yapı Bileşenlerinin Özellikleri.

Malzemeler	Kalınlık (m)	Isı iletim katsayısı (W/mK)
Duvar		
Sıva	0.015	0.87
Dolu tuğla	0.19	0.58
Sıva	0.015	1.4
Beton		
Sıva	0.015	0.87
Kolon-kiriş	0.2	2.1
Sıva	0.015	1.4
Taban		
Karo veya mozaik yer döşemesi	0.02	1.4
Şap	0.02	1.74
Tesviye betonu	0.15	1.74
Grobeton	0.1	1.1
Mıcir	0.15	0.7
Tavan		
Sıva	0.02	0.87
Beton	0.15	2.1
XPS yalıtım	0.03	0.04
Pencere		U-değeri (W/m²K)
Alüminyum doğrama (9 mm boşluklu)		4

İdari Bina'da yapılan ölçümler 2006 yılında, iç sıcaklık ve nem değerlerinin kaydedilmesi, 2007-2008 akademik yılında ise yakıt tüketiminin debimetre ile günlük olarak izlenmesi ile başlamıştır. Elektrik tüketimi ise pompa ve brülörlere bağlı ısıtma sistemine ait elektrik sayacı, soğutma grubuna ait elektrik sayacı, prizler ve aydınlatma sistemine ait elektrik sayacına bağlı güç analizörü ile ölçülmektedir. Ölçüm cihazları Şekil 2-4'de verilmiştir.



Şekil 2.
Kazan Yakıt
Debimetresi.



Şekil 3.
Elektrik Güç Analizörü.



Şekil 4.
Mini Veritoplayıcı (İç Sıcaklık-
Bağıl Nem).

2006-2008 yılları arasında İdari Bina ve tüm Kampüs'e ait enerji tüketimleri Tablo 3'de verilmiştir. Verilere göre İdari Bina'nın toplam tüketimdeki oranı yaklaşık %10'dur.

Tablo 3. İYTE İdari Bina ve İYTE Kampüs Toplam Enerji Tüketimi [20].

	İdari Bina (kWh)	İYTE Kampüs (kWh)
2006 Elektrik	331,860	3,225,096
2006-Yakıt	244,247	1,819,537
2007-Elektrik	246,680	4,274,359
2007-Yakıt	217,655	2,007,642
2008-Elektrik	316,260	4,734,764

3. METOT

Dünyada bina enerji performansı belirleme metodları; ya ulusal mevzuatın belirlediği standartlar ya da akademik ve sektörel çalışmalar ile oluşturulan ASHRAE ve CIBSE vb. gibi yaklaşımlarla geliştirilmektedir. AB ülkeleri, 2002/92/EC direktifinin öngördüğü şekilde EN standartlarına uygun olarak SAP [21]-İngiltere, DEAP [22]-İrlanda, Th-C-Ex [23]-France gibi ulusal ölçekte kullanılan enerji performans belirleme metodları geliştirmişlerdir. Türkiye'de ise çalışmalar "Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği"nin uygulamaya geçirilmesi aşamasındadır.

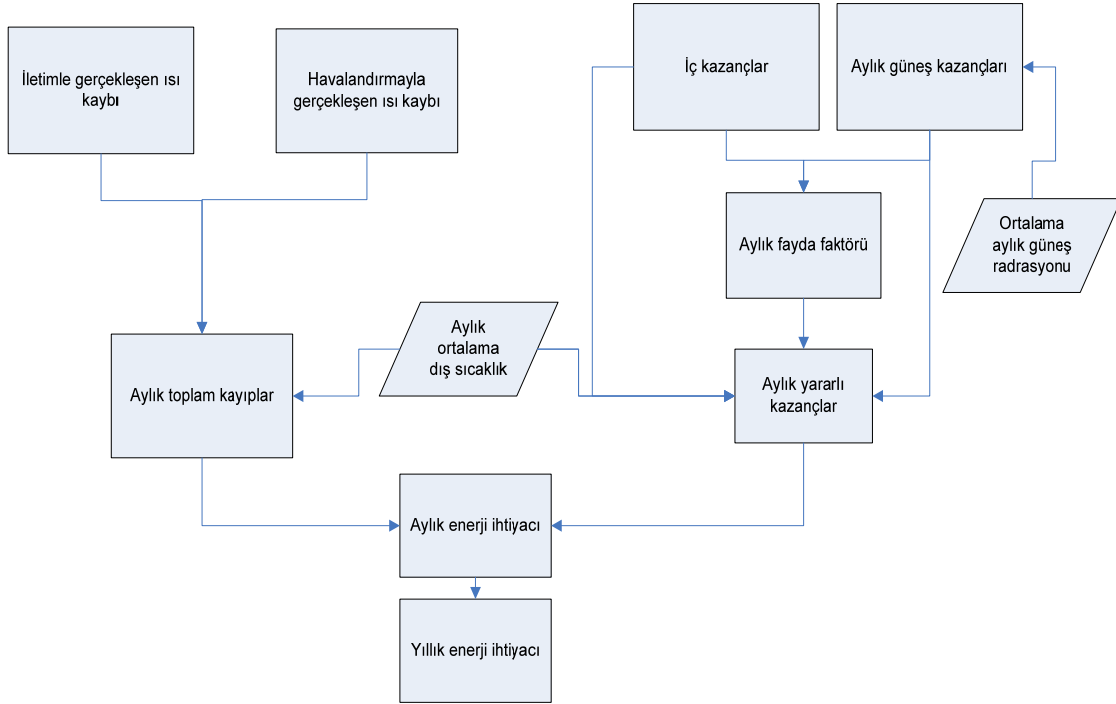
Enerji performans belirleme metodları; aylık ya da sezonluk metot (statik), basit saatlik metot (yarı dinamik) ve detaylı saatlik metot (dinamik) olarak üçe ayrılmaktadır. Bu çalışmada, her bir metoda örnek olarak ulusal zorunlu standart olan TS 825 (statik), CIBSE Isıl Girişkenlik Metodu (yarı dinamik) ve ASHRAE Isıl Denge Metodu (dinamik) tanıtılıp; dayandığı temeller, kabulleri, kapsamaları ve kullanıldığı yazılımlarla birlikte yetenekleri karşılaştırılacaktır.

3.1. TS 825

TS 825 [4]; 2000 yılında yürürlüğe giren, 2008 yılında ise enerji ihtiyacı sınır değerleri düşürülerek yenilenen zorunlu yalıtım standardıdır. TS 825 hesaplama sonucu olarak binanın ısı ihtiyacını verse de asıl amacı binaya uygulanması gereken minimum yalıtımı ve pencere özelliklerini belirlemektir. Türkiye'yi 4 iklim bölgesine ayıran ve bu iklim bölgelerinin aylık ortalama meteorolojik verilerinin kullanıldığı statik bir hesaplama metodu olan TS 825'in hesaplama akış şeması Şekil 5'de verilmiştir.

Şekil 5'den görülebileceği gibi, TS 825'de iç kazançlar ve güneş kazançları, fayda faktörü düzeltilmesiyle aylık olarak hesaplanmaktadır. İletim ve havalandırma yolu ile olan ısı kayıpları ise aylık ortalama dış sıcaklık değerleri kullanılarak bulunmaktadır. Kullanılan aylık değerler, binanın bulunduğu konuma ait olmayıp, o konumun ait olduğu iklim bölgesinin ortalama değeridir. Binanın tek zon olması, sürekli ısıtma

rejimi uygulanması ve ısı kütlenin ihmal edilmesi gibi kabullere dayanan metot, bina için gerekli yalıtım hesaplamalarını başarı ile gerçekleştirmektedir. Bu nedenle binanın tasarım aşaması için uygun bir metot olmakla beraber; enerji tüketiminin tahmini için uygun değildir.



Şekil 5. TS 825 Hesaplama Metodu Akış Şeması.

3.2. CIBSE Isıl Girişkenlik Metodu

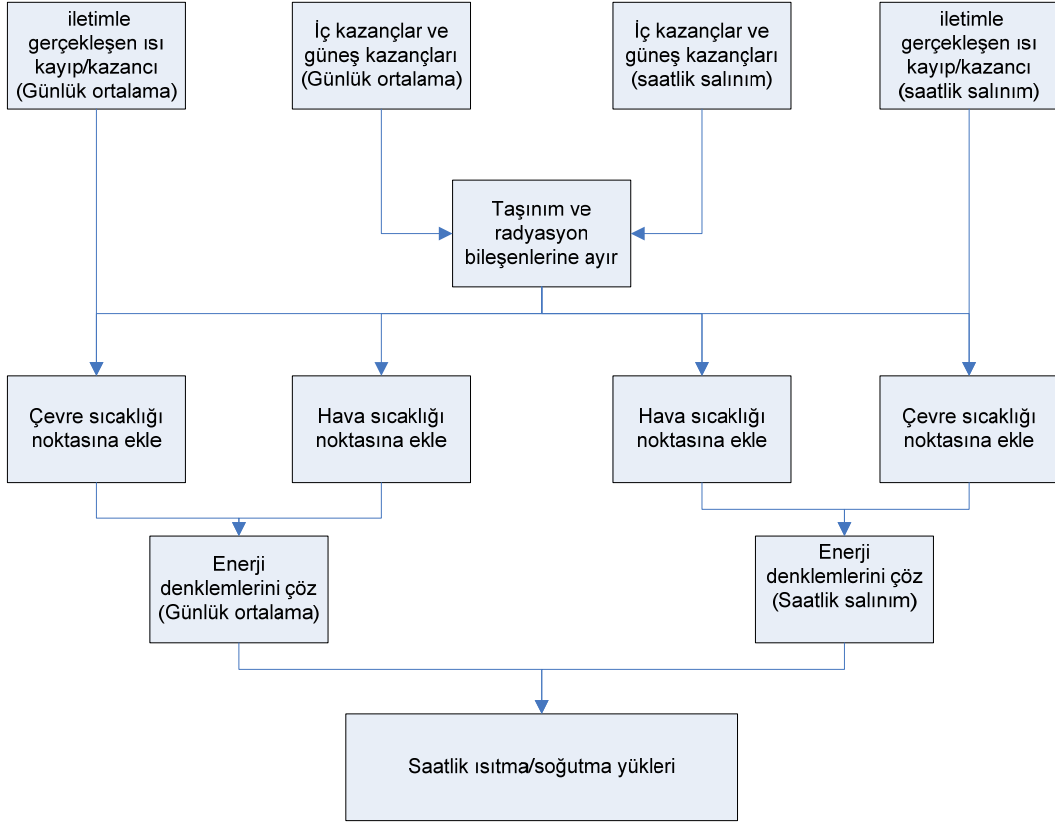
Isıl Girişkenlik Metodu [24], CIBSE (Chartered Institution of Building Services Engineers, İngiltere) tarafından oluşturulmuş, binaların ısıtma ve soğutma yüklerini ve tüketimleri tahmin eden yarı dinamik bir metoddur.

Bu metodun öngördüğü kabuller;

1. Sol-air yaklaşımı (iletimle gerçekleşen ısı kaybı-kazancı hesaplanırken opak elemanların dış yüzey sıcaklığının, o yüzeye düşen güneş radyasyonunun sıcaklığı artırıcı etkisi göz önüne alınarak hesaplanması),
2. İç kazançların radyasyon-taşıma bileşenlerine ayrılması (2/3 radyasyon, 1/3 taşıma).

CIBSE Isıl Girişkenlik Metodu'nun akış şeması Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 6'dan da görüleceği gibi ısıtma ve soğutma yükleri iki adımda hesaplanmaktadır. Birinci adım, Şekil 7'de verilen üç sıcaklığın ısı dirençlerle ve ısı yükleriyle olan ilişkisinin günlük ortalama değerler kullanılarak oluşturulması, ikinci adım ise saatlik bazda günlük ortalama dış sıcaklık, iç kazançlar ve havalandırma gibi parametrelerin ısı kayıp-kazancına etkisinin belirlenmesidir. Ayrıca bu adımda, metodun ısı kütlesi etkisinin hesaplanmasını sağlayan Isıl girişkenlik (admittance) değeri kullanılmaktadır.

Isıl girişkenlik (W/m^2K), toplam ısı geçirgenlik katsayısına (U) benzer bir katsayıdır. Yapı malzemesinin yoğunluğuna, özgül ısısına ve kalınlığına bağlı olarak hesaplanan bu katsayı, CIBSE Metodu'nun ikinci adımındaki saatlik sapmaların hesaplanması sırasında U değeri yerine kullanılmaktadır. Isıl girişkenlik değerinin hesaplanması hakkında ayrıntılı bilgi CIBSE Guide A'dan elde edilebilir.

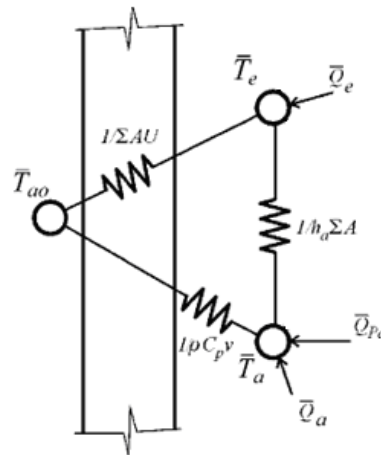


Şekil 6. CIBSE Isıl Girişkenlik Metodu Akış Şeması.

Şekil 7'de görülen direnç diyagramının ısı denge denklemi Eşitlik 1'de verilmiştir.

$$Q_a + Q_{pa} + F_{au}Q_e = \{c_p \rho V + F_{au} \Sigma AU\} (T_a - T_{ao}) \quad (1)$$

$$F_{au} = \frac{h_a \Sigma A}{h_a \Sigma A + \Sigma AU}$$



Şekil 7. CIBSE Isıl Girişkenlik Metodu Direnç Şeması [25].

İkinci adımın ısı denge denklemi ise Eşitlik 2'de verilmiştir.

$$\overline{Q}_a + \overline{Q}_{Pa} + \overline{F}_{ay} \overline{Q}_e = \{c_p \rho v + F_{ay} \Sigma AY\} (\overline{T}_a - \overline{T}_{ao}) \quad (2)$$

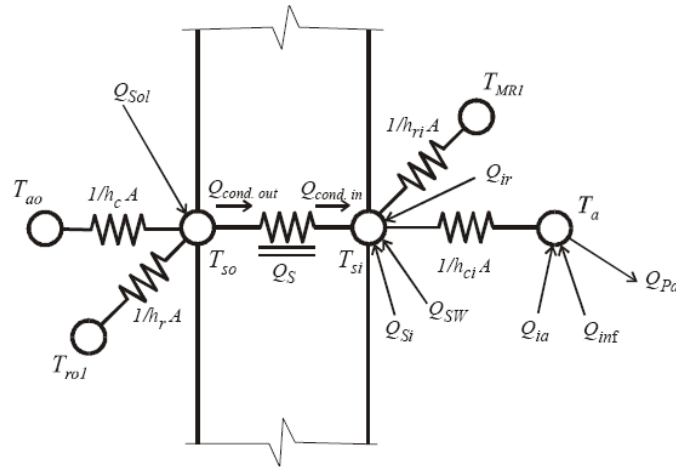
$$F_{ay} = \frac{h_a \Sigma A}{h_a \Sigma A + \Sigma AY}$$

Eşitlik 1 ve 2'de tek bilinmeyen olan Q_{Pa} (HVAC sistem yükü) değerleri hesaplandıktan sonra bu iki değer toplanmasıyla o saate ait ısıtma-soğutma yükü belirlenir.

Özetle, CIBSE Isıl Girişkenlik Metodu, günlük ortalama ısıtma-soğutma hesabına saatlik sapma değerlerinin eklenmesiyle çözüme yaklaşan bir metottür. Saatlik değerlerin gün içinde aşırı dalgalandığı durumlarda metodun hassasiyeti azalmaktadır. Sol-air yaklaşımı dış yüzeylerin radyasyon kazançlarını hesaplamaya katmak için kullanışlı bir metot olsa da, iç kazançların 2/3 radyasyon 1/3 taşınım olarak paylaştırılmasıyla birlikte ele alındığında soğutma yüklerinde yüksek, ısıtma yüklerinde ise düşük tahminler yapılmasına yol açmaktadır.

3.3. ASHRAE Isıl Denge Metodu

ASHRAE 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 ısı kütlelerinin dahil edilmesi ile fiziksel duruma en yakın ve kabullerin en aza indirildiği, dolayısı ile de gerçeğe en yakın sonuçları vermektedir. İç kazançların, radyasyon ve taşınım dirençlerinin hesaplanması ile ilgili detaylar [26]'dan alınabilir. Metoda ait direnç şeması Şekil 8'de, verilen metodun kullandığı dört ısı denge denklemi ise Eşitlik 3-6'da verilmiştir.



Şekil 8. ASHRAE Isıl Denge Metodu Direnç Şeması [25].

Duvar-dış yüzey için ısı denge denklemi:

$$Q_{Sol} + Q_{Olw} + Q_{co} - Q_{cond,out} = 0 \quad (3)$$

Eşitlik 3'de de görüldüğü gibi ASHRAE Isıl Denge Metodu dış duvar için güneş kazançları ile uzun dalga radyasyonunu ayrı ayrı ele almaktadır.

Duvar için ısı denge denklemi:

$$Q_{cond,out} - Q_S - Q_{cond,in} = 0 \quad (4)$$

Eşitlik 4, Q_S bileşeni ile duvarda depolanan ısı miktarının bulunmasına imkan sağlamaktadır.

Duvar-iç yüzey için ısı denge denklemi:

$$Q_{S_i} + Q_{I_r} + Q_{S_W} + Q_{I_LW} - Q_{c_i} + Q_{cond,in} = 0 \quad (5)$$

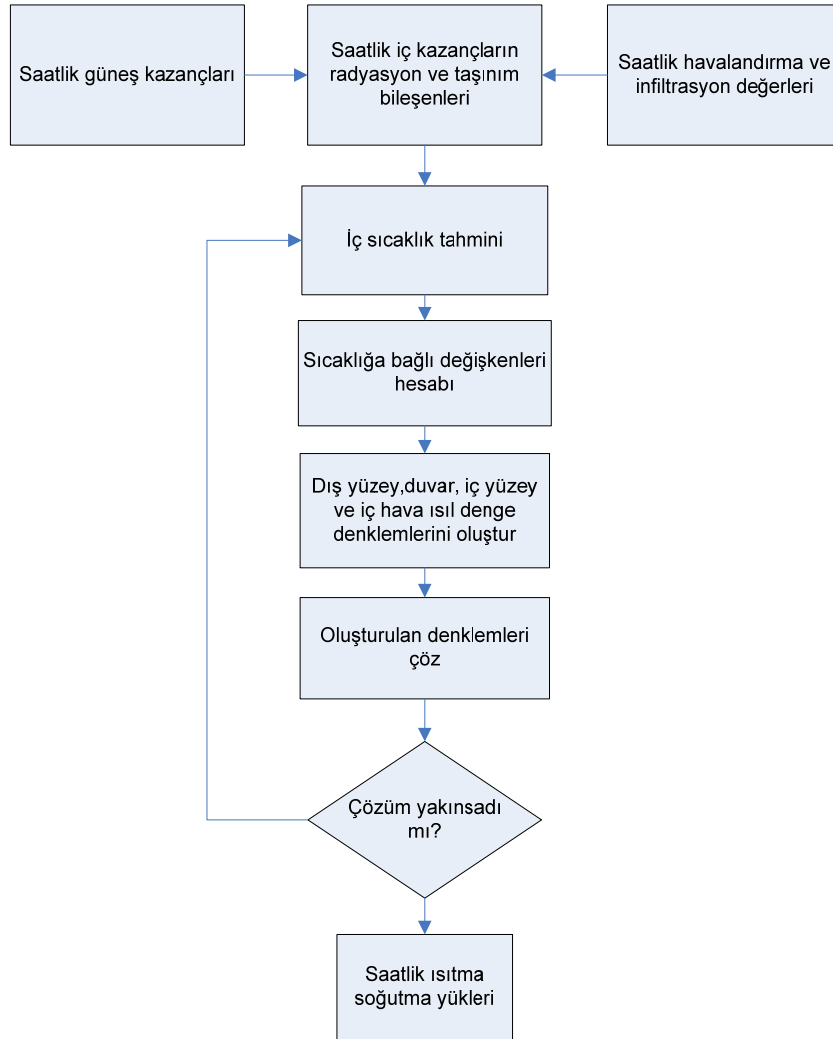
İç yüzeyin ısı dengesi oluşturulurken; aydınlatma, iç bileşenlerin radyasyon kazancı, yansımaya sonucu gerçekleşen güneş kazancı, taşınım ve radyasyon dirençleri gözönüne alınmaktadır.

İç ortamda hava için ısı denge denklemi (Q_{Pa} HVAC sistem yükü dahil):

$$Q_{c_i} + Q_{i_a} + Q_{inf} + Q_{Pa} = 0 \quad (6)$$

ASHRAE Isıl Denge Metodu'nda kullanılan dört denklem birbirine iletim ve taşınım parametreleri bakımından bağlıdır, bu nedenle denklem seti eşzamanlı olarak çözülmelidir. Hem saatlik hesaplama hem de denklemlerin eşzamanlı çözümü gerekliliği, bu metodun uygulanabilmesi için yazılım kullanmayı zorunlu kılmaktadır. Metodun akış şeması Şekil 9'da verilmiştir.

Bu çalışmada, tanıtılan üç metot için geliştirilmiş yazılımlardan; TS 825 için İZODER TS 825 Hesap Programı [27], CIBSE Isıl Girişkenlik Metodu için Ecotect [28] ve ASHRAE Isıl Denge Metodu için ise EnergyPlus [29] yazılımları kullanılmıştır. Yazılımlara ait özellikler Tablo 4'de özetlenmiştir.



Şekil 9. ASHRAE Isıl Denge Metodu Akış Şeması.

4. BULGULAR

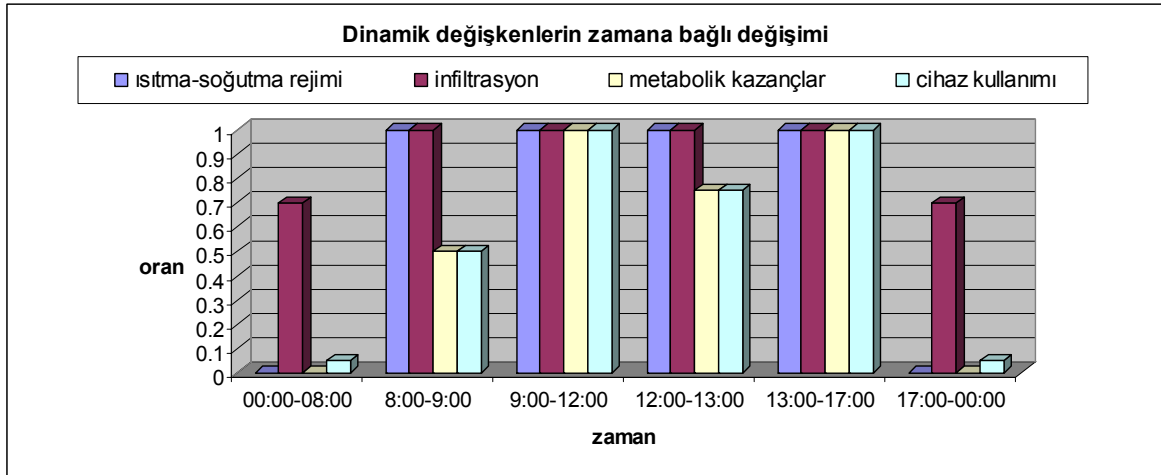
İdari Bina'nın enerji performans analizi, Bölüm 3'de verilen üç metoda ait yazılımlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu yazılımlarda yapılan kabuller;

1. Ecotect ve EnergyPlus yazılımları ile bina simüle edilirken, zamana bağlı dinamik değişkenler (cihaz kullanım kazançları, metabolik kazançlar, ısıtma rejimi, infiltrasyon oranı) ya ölçüm verilerinden ya da ASHRAE ve EN standardlarından alınmıştır.
2. Isıtma-soğutma yapılan alanlardaki elektrik tüketimi (ofis cihazları, bilgisayar, faks, aydınlatma vb.) o alana iç kazanç olarak geri dönmektedir. Güç analizöründen toplanan veriler, mesai saatleri içinde toplam iç kazançların ortalama 15 W/m^2 olduğunu göstermiştir. EN ISO 13791 [30] standardına da uygun olan bu değer dinamik simülasyonlarda kullanılmıştır.

Tablo 4. Kullanılan Hesap Metodları ve Yazılımların Özellikleri.

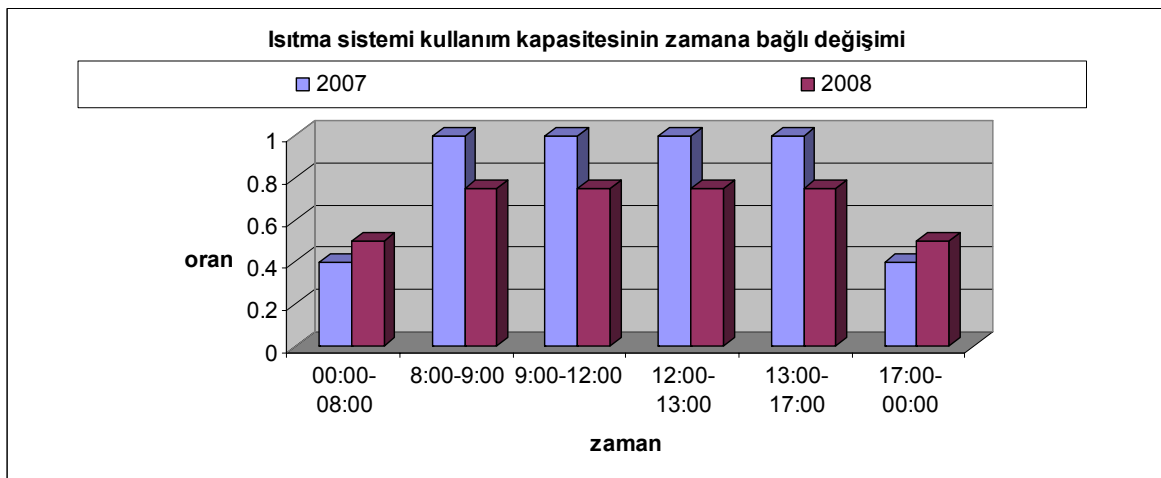
	TS 825 (İZODER TS 825 Hesap Programı)	CIBSE Isıl Girişkenlik Metodu (Ecotect)	ASHRAE Isıl Denge Metodu (EnergyPlus)
Hesaplama aralığı	Aylık	Günlük	Saatlik
Zonlama	Tüm yapı tek zon	Ayrı zonlama yapılabilmekte	Ayrı zonlama yapılabilmekte
Isıtma	Sürekli	Kesikli	Kesikli
Isıtma sezonu iç sıcaklık kabulü	19°C	Opsiyonel	Opsiyonel
Soğutma hesabı	Yok	Yarı dinamik	Dinamik
İç kazançlar	Aylık ortalama	Günlük ortalama	Saatlik hesaplama
İklim verileri	Aylık iklim bölgesi ortalamaları	Yerel veri girişi mümkün	Yerel veri girişi mümkün
HVAC ekipmanları	Sadece cihaz verimi hesaplamaya dahil	Sadece cihaz verimi hesaplamaya dahil	Isıtma tipi(konveksiyon, radyasyon...) pompa, fan tüketimleri hesaplamaya dahil
Termal kütle	Hesaplamaya dahil değil	Hesaplamaya dahil	Hesaplamaya dahil
Isı köprüleri	Hesaplamaya dahil	Hesaplamaya dahil değil	Hesaplamaya dahil
Yüzey sıcaklıkları	Hesaplanmıyor	Ortalama yüzey sıcaklığı	Her yüzey sıcaklığı hesaplanmakta
İnfiltrasyon	Hava değişim sayısı(kullanıcıya bağlı)	Hava değişim sayısı(kullanıcıya bağlı)	Basınç farkı ve yapı malzemelerine göre hesaplanabilir
Mekanik havalandırma	Hesaplamaya dahil	Hesaplamaya dahil değil	Hesaplamaya dahil

3. İnfiltrasyon için TS 825, Ecotect ve EnergyPlus yazılımlarında saatlik hava değişim sayısı olarak EN ISO 13789 [31]'a uygun olarak 1/saat değeri kullanılmıştır. Isıtılan zonların ofis zonu olması kabulüyle ASHRAE 55 [32] ve EN ISO 13791 [30] standardından yararlanılarak; metabolik kazançlar 70 W/kişi (met), clo değeri kış sezonu için 1, yaz sezonu için 0.5, m^2 başına düşen kişi sayısı ise 0.11kişi olarak alınmıştır.
4. İnfiltrasyon, metabolik kazanç, cihaz kullanımının gün içindeki değişimi, EN ISO 15232 [33] ve ASHRAE 90 [34] standardlarındaki ofis binaları yaklaşımı kullanılarak Şekil 10'da verilmiş, oluşturulan zaman çizelgesi Ecotect ve EnergyPlus yazılımında kullanılmıştır.



Şekil 10. Dinamik Değişkenlerin Gün İçindeki Salınımları.

- Isıtma-soğutma iç sıcaklık set değerleri, 2006 yıllarında mesai saatleri içerisinde ölçüm yapılan ofislerin sıcaklık ortalaması bulunarak belirlenmiştir. Buna göre iki yazılımda da ısıtma set değeri 24°C soğutma set değeri 25°C alınmıştır.
- 2007 yılında İdari Bina'da gerçekleşen taşınmalar sonucu mevcut çalışan sayısı azalmıştır. Buna paralel olarak düşen cihaz kullanımı kaynaklı iç kazançlar ölçümler sonucu 12 W/m², m² başına düşen kişi sayısı ise 0.09 kişi olarak alınmıştır. Kış sıcaklık set değeri de ölçümler gözden geçirilerek 23°C alınmıştır.
- 2007 ve 2008 yıllarında kazanlarda baca gazı emisyon ölçümleri yapılmıştır. 2007 yılındaki ölçümlerden birinci kazanın veriminin %78, ikinci kazanın veriminin ise %82 olduğu belirlenmiştir. Simülasyonlarda kazan verimi ortalama %80 alınmıştır.
- 2007 ve 2008 yıllarında 2006 yılından farklı bir ısıtma rejimi kullanılmıştır. 2007-2008 kış sezonunda kazanlar geceleri kapatılmayıp 40 sabit sıcaklıkta tutulmuştur. 2008-2009 kış sezonunda ise kazanlara eklenen dış hava kompanzasyonu ile tam otomasyona geçilmiştir. Bu bilgiler ışığında ısıtma sisteminin kullanım oranı Şekil 11'deki gibi değiştirilmiştir.
- Enerji performans hesaplamalarında, iklim verileri yerel konuma en yakın şekilde tanımlanmıştır. TS 825 ülkemizde dört iklim bölgesinin aylık ortalama değerlerini kullanırken, CIBSE Isıl Girişkenlik Metodu'nu uygulayan Ecotect yazılımıyla hem İzmir Merkez hem de İYTE Meteoroloji İstasyonu'ndan alınan verileri kullanabilmektedir. EnergyPlus yazılımında ise İzmir Merkeze ait iklim verilerinin İYTE koordinatlarına indirgenmiş hali kullanılmıştır.

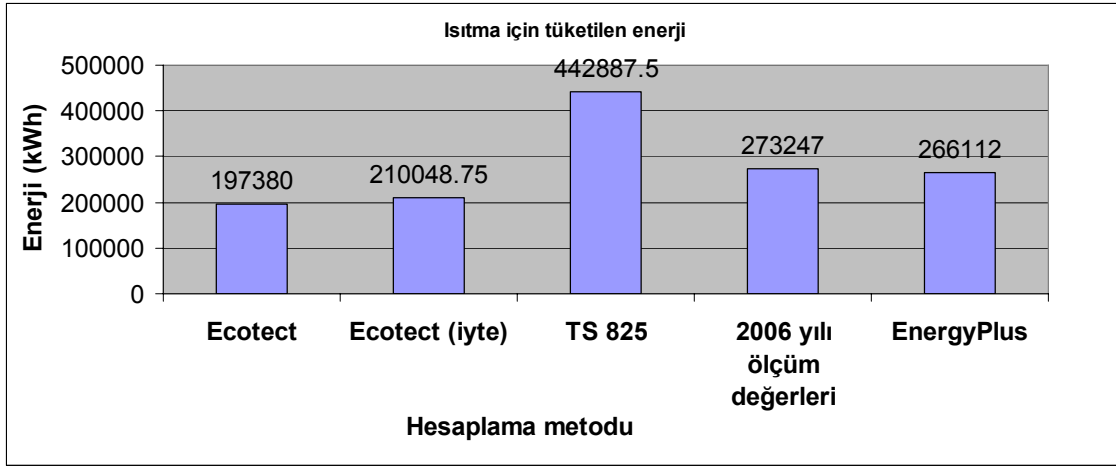


Şekil 11. 2007-2008 Yılları Isıtma Sistemi Kullanım Oranları.

Yukarıda verilen kabullere göre İdari Bina, her üç metot kullanılarak 2006-2008 yılları için simüle edilmiştir. Ecotect yazılımının hem kendi veritabanındaki meteorolojik verileri hem de bulunulan konuma ait verileri kullanabilmesi, İzmir Merkez ile İYTE meteorolojik verileri arasındaki farkın enerji tüketimine olan etkisinin görülmesini sağlamıştır. Simülasyon sonuçları; ısıtma, soğutma, genel (aydınlatma+cihaz kullanımı) elektrik tüketimi değerleri için ayrı ayrı verilmiştir.

Sonuçlar değerlendirilirken üç farklı hesaplama metodunun aynı ölçekte karşılaştırılabilmesi için, sadece ısıtma-soğutma enerji ihtiyaçlarını veren TS 825 ve Ecotect yazılımları ile gerçekleştirilen simülasyon sonuçlarına; kazan verimi, ısıtma sisteminin kullandığı pompa ve fanların tüketimi eklenmiştir. EnergyPlus yazılımı bu özellikleri hesaplamaya dahil ettiği için sonuçlar değişiklik yapılmadan verilmiştir.

Şekil 12'de 2006 yılı için; Ecotect (İzmir Merkez), Ecotect (İYTE), TS 825 ve EnergyPlus simülasyon sonuçlarından elde edilen ısıtma enerjisi tüketim değerleri ve 2006 yılına ait ölçüm değerleri verilmiştir.

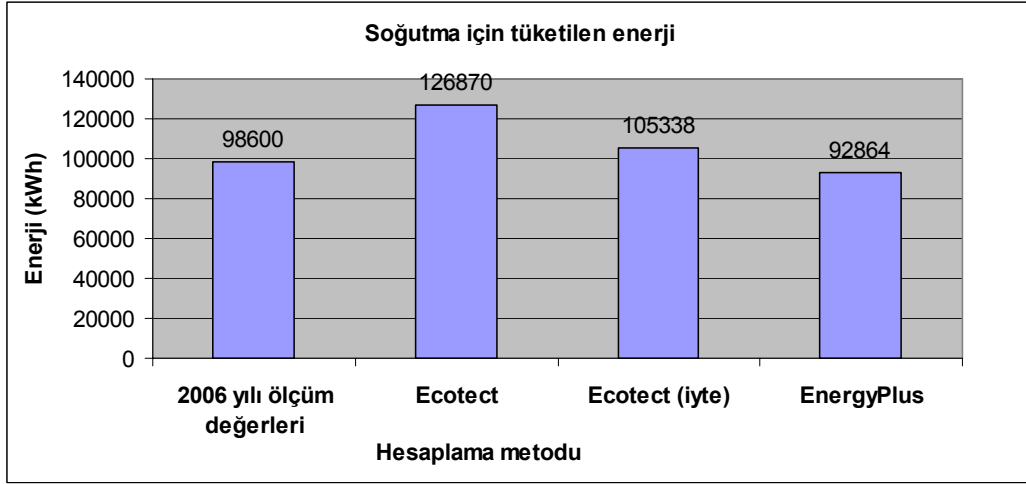


Şekil 12. 2006 Yılı Isıtma Enerji Tüketimi.

2006 yılı ısıtma enerjisi tüketimi 273247 kWh olarak ölçülmüştür. TS 825 sürekli ısıtma rejimini ve binayı tek zon olarak kabul etmesi nedeniyle ölçüm değerlerinden en çok sapan metot olup, enerji tüketimini %62 fazla tahmin etmektedir. Ecotect yazılımda ise, İYTE ve İzmir Merkez meteorolojik verileri kullanılarak belirlenen ısıtma enerjisi tüketim değerleri karşılaştırıldığında, İzmir Merkez'e göre yapılan simülasyon İYTE'ye göre %6.5 daha düşük ısıtma enerjisi tüketimi tahmin etmiştir. Ölçüm değerleri ile karşılaştırıldığında ise İYTE verilerine göre yapılan simülasyon %23 daha düşük enerji tüketimi değeri vermiştir. ASHRAE Isıl Denge yaklaşımı, fan coil cihazının simülasyona dahil edilmesi, ısıl kazançların diğer metodlara göre gerçeğe daha yakın şekilde değerlendirmesi sayesinde ölçüm sonuçlarına yaklaşmıştır.

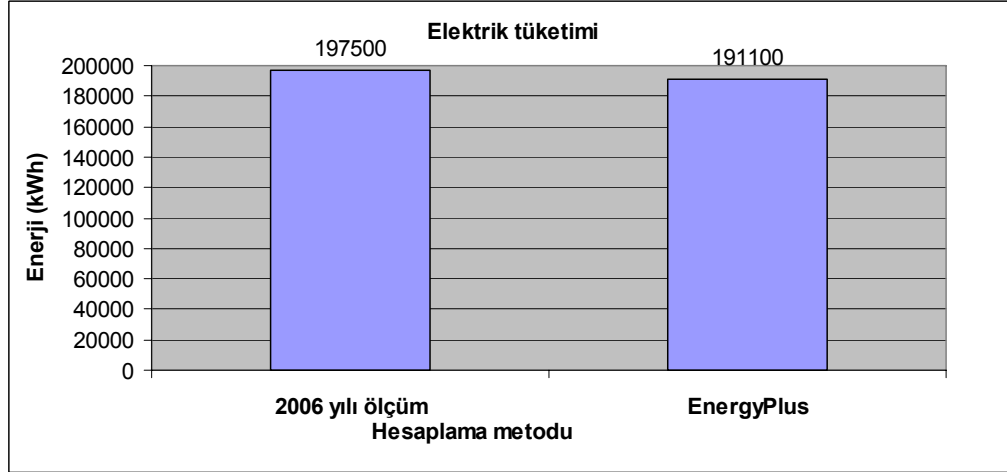
Şekil 13, 2006 yılı için; Ecotect(İzmir Merkez), Ecotect(İYTE), EnergyPlus simülasyon sonuçlarından elde edilen soğutma enerjisi tüketim ve ölçüm değerlerini vermektedir.

2006 yılında soğutma enerjisi tüketimi 98600 kWh olarak ölçülmüştür. Soğutma için tüketilen enerjinin hesaplanmasında CIBSE Isıl Girişkenlik Metodu, ölçüm değerlerinin üzerinde (%7.2) tahminlemede bulunmuştur. Bunun nedeni iç kazançların radyasyon ağırlıklı değerlendirilmesidir. EnergyPlus yazılımı gölge sağlayan jaluzi elemanlarının ve doğal havalandırmanın etkisini göze alması sayesinde ölçüm değerlerine yakın sonuçlar (%5.9) oluşturmuştur.



Şekil 13. 2006 Yılı Soğutma Enerji Tüketimi.

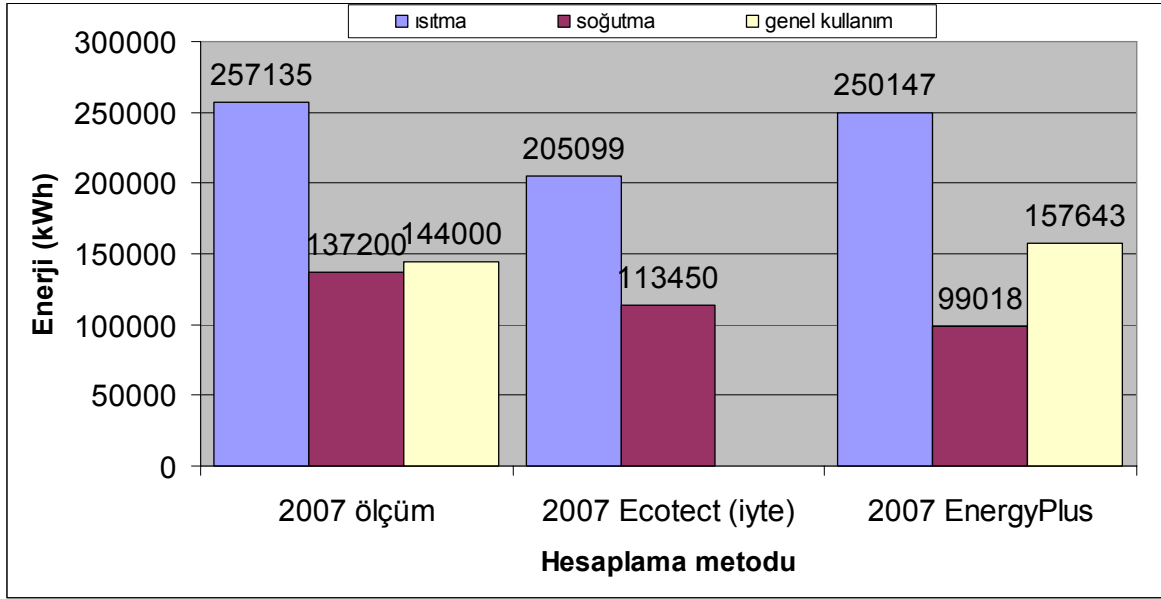
Şekil 14'de 2006 yılı için; EnergyPlus simülasyonundan elde edilen genel elektrik enerjisi tüketim değerleri ve ölçüm değerleri verilmiştir.



Şekil 14. 2006 Yılı Elektrik Tüketimi.

2006 yılında aydınlatma ve cihaz kullanımında tüketilen elektrik enerjisi toplam 197500 kWh olarak ölçülmüştür. EnergyPlus yazılımı ise elektrik tüketimini; 128800 kWh cihaz kullanımı, 62300 kWh aydınlatma olmak üzere toplam 191100 kWh olarak %3.3 hata payıyla tahmin etmiştir.

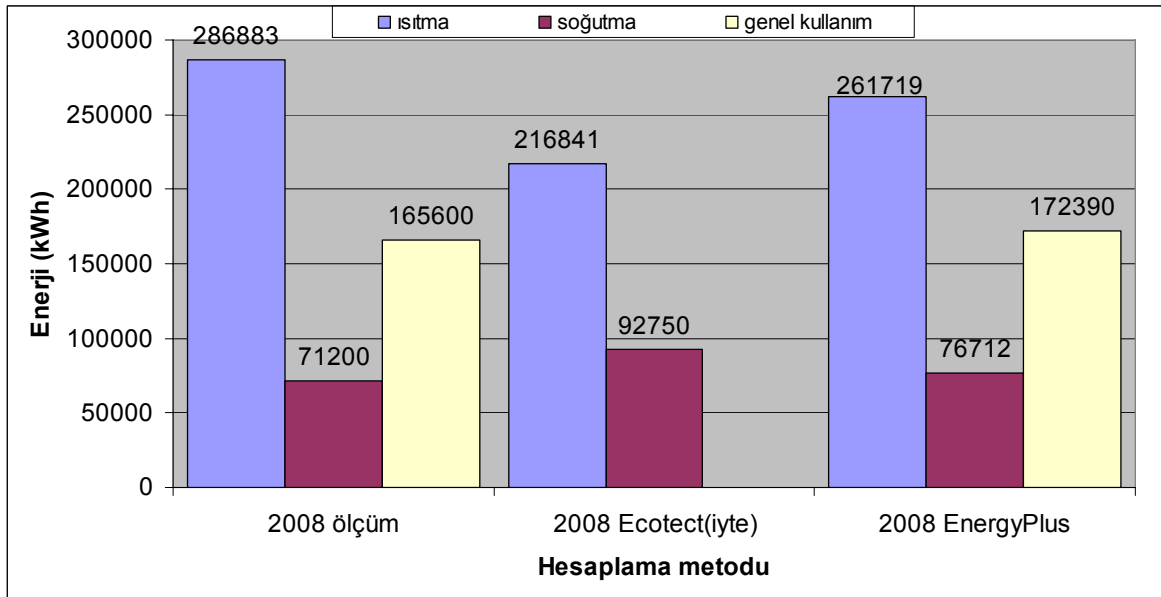
Şekil 15'de 2007 yılına ait ısıtma, soğutma enerji ve genel kullanım elektrik enerji tüketimleri verilmiştir. TS 825 ile hesaplanan enerji tüketimleri yıl bazında değişiklik göstermediği ve ölçüm değerlerinden çok saptığı için 2007 ve 2008 yıllarında TS 825 hesabı tekrarlanmamıştır. Ecotect yazılımı İYTE meteorolojik verilerinde İzmir Merkez'e göre daha iyi tahminleme yaptığı için 2007 ve 2008 yıllarında sadece İYTE meteorolojik verileri kullanılmıştır.



Şekil 15. 2007 Yılı Enerji Tüketim Dağılımı.

2007 yılında kabuller kısmında bahsedildiği gibi binanın kullanımındaki değişikliklerden dolayı ısıtma enerji tüketiminde azalma görülmüştür. EnergyPlus yazılımı 2006 yılındaki sonuçlara benzer şekilde ısıtma enerji tüketimini %2.8, elektrik tüketimini %9.4 hata payıyla simüle etmiştir. Ecotect yazılımı ise %20.3'lük bir hata vermiştir. Soğutma enerji tüketimindeki %18.3'lük Ecotect ve %28.1'lik EnergyPlus yanılma payları; binanın kullanımındaki değişiklikler, ölçülemeyen hava değişim oranları vb. Sebeplerden dolayı oluşmaktadır.

Şekil 16'da 2008 yılına ait ısıtma, soğutma ve genel kullanım elektrik enerji tüketimleri verilmiştir. 2008 yılında da enerji tüketimi simülasyonlarında EnergyPlus yazılımı %8.8'lik ısıtma enerjisi, %7.7'lik soğutma enerjisi ve %4.4'lük genel elektrik kullanımı sapmalarıyla ölçümlere yakın sonuçlar vermiştir. Ecotect yazılımı ise ısıtma enerji tüketimini ölçümlerden düşük (%24.4), soğutma enerji tüketimini ölçümlerden yüksek (%18.2) olarak tahmin etmiştir.



Şekil 16. 2008 Yılı Enerji Tüketim Dağılımı.

SONUÇ

İYTE İdari Bina'nın, 2006-2008 yıllarını kapsayan üç yıl için enerji performans simülasyonları gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Tablo 5'de ölçüm değerleri ile karşılaştırılmıştır. Tablo'da görülen pozitif değerler simülasyon sonuçlarının ölçüm değerlerinin üzerinde, negatif değerleri ise altında olduğunu gösterir. TS 825, sürekli ısıtma ve tek zon kabulü yapması nedenleriyle enerji tüketim değerlerini ölçüm değerlerine göre %62 daha yüksek tahmin etmektedir. CIBSE Isıl Girişkenlik Metodu (Ecotect) ise ASHRAE Isıl Denge Metodu'na (EnergyPlus) göre ısıtma tüketimlerini düşük, soğutma tüketimlerini yüksek tahminlemektedir. Buradaki fark, iç kazançların farklı yaklaşımlarla hesaplamaya dahil edilmesinden kaynaklanmaktadır.

Tablo 5. Hesaplama Metodlarının Ölçüm Değerlerinden Sapmaları.

	Isıtma tüketim tahmini (%)	Soğutma tüketim tahmini (%)	Elektrik tüketim tahmini (%)
2006			
TS 825	+62	-	-
Ecotect	-28	+28.7	-
Ecotect(iyte)	-23	+7.2	-
EnergyPlus	-2.5	-5.9	-3.3
2007			
Ecotect(iyte)	-20.3	-18.3	-
EnergyPlus	-2.8	-28.1	+9.4
2008			
Ecotect(iyte)	-24.4	+18.2	-
EnergyPlus	-8.2	-7.7	+4.1

2007 yılı soğutma tüketimi değeri hariç EnergyPlus yazılımı ölçümlere en yakın sonuçları vermiştir. Isıtma enerji tüketimi tahmini üç yıl için soğutma enerji tüketimine oranla daha hassas şekilde gerçekleştirilebilmiştir. Bunun nedeni olarak soğutma sisteminin gün içindeki çalışma programındaki değişiklikler, sisteme kullanıcı müdahalesi, ölçülemeyen ve standartlar çerçevesinden simülasyonlara dahil edilen doğal havalandırma ve infiltrasyon değerleri görülmektedir. İç ortam set değeri sıcaklıklarının daha stabil olduğu, infiltrasyonun ve havalandırmanın en aza indirildiği ısıtma sezonu için, EnergyPlus yazılımı ile yapılan tahminler ortalama %4.5 sapmayla ölçüm sonuçlarına yaklaşmıştır.

Ecotect yazılımında alınan İYTE Meteoroloji İstasyonu'ndan alınan Kampüs yerel verileri ile İzmir Merkez verilerinin sonuçlara etkisi karşılaştırıldığında, İYTE verilerinin İzmir Merkez'e göre ısıtmada %6.5 daha yüksek, soğutma da ise %17 daha düşük bir tahminle ölçüm değerlerine daha çok yaklaşmaktadır. Bu da bulunan yere ait meteorolojik verilerin kullanımının önemini göstermektedir.

2008 Aralık ayında yürürlüğe giren Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği'ndeki [5] değerler ele alınarak İYTE İdari Bina'nın sera gazı emisyon sınıfı "D" olarak belirlenmiştir. Birincil enerji dönüşüm katsayıları yönetmelikte verilmediği için SAP [19] metodundaki değerler kullanıldığında bina, birincil enerji tüketimine göre "C" sınıfı olarak sınıflandırılabilir.

SEMBOLLER

A	yüzey alanı	(m ²)
C _p	özgül ısı	(kJ/kgK)
F _{au}	günlük ortalama değerler için oda faktörü	(-)
F _{ay}	saatlik sapmalar için oda faktörü	(-)
H	ısı taşınım katsayısı	(W/m ² K)
P	yoğunluk	(kg/m ³)
T	sıcaklık	(°C)
Q	ısıtmasoğutma yükü	(W)
U	ısı geçiş katsayısı	(W/m ² K)
v	hacim	(m ³)
Y	Isıl girişkenlik (admittance)	(W/m ² K)

ALT İNDİSLER

a	iç hava
ao	dış hava
c	taşıma
cond	iletim
e	çevresel
i	iç
inf	infiltrasyon
lw	uzun dalga radyasyonu
MR	iç hava ortalama radyasyon
o	dış
Pa	sistem
r	radyasyon
rol	dış hava radyasyon
S	depolama
si	iç yüzey
sol	güneş
so	dış yüzey
SW	aydınlatma

KAYNAKLAR

- [1] European Energy Performance of Buildings Directive, 2002.
- [2] CEN/TR 15615, "Explanation of General relationship between various European Standards and the Energy Performance of Buildings Directive(EPBD)-Umbrella Document", 2007.
- [3] EN ISO 13790, "Energy Performance of buildings-Calculation of energy use for space heating and cooling", 2008.
- [4] TS 825, "Binalarda Isı Yalıtım Kuralları", 1999.
- [5] BİNALARDA ENERJİ PERFORMANSI YÖNETMELİĞİ, Sayı: 27075, Resmi Gazete, Aralık 2008.
- [6] CORGNATI S. P. , FABRIZIO E. , FILIPPI M.,The impact of indoor thermal conditions, system controls and building types on the building energy Demand, Energy and Buildings 40 627-636 2008.
- [7] PAPADAPOULOS A.M., OXIZIDIS S., PAPANDRITSAS G., Energy,economic and environmental performance of heating systems in Greek buildings, Energy and Buildings 40 224-230, 2008.
- [8] KESKİN N., TURKMEN H., Analysis of annual heating and cooling energy requirements for office buildings in different climates in Turkey, Energy and Buildings 40 763–773, 2008.
- [9] TRONCHIN L., FABBRI K., Energy performance building evaluation in Mediterranean countries: Comparison between software simulations and operating rating simulation, Energy and Buildings 40 1176–1187, 2008.
- [10] NETO A.H.,FIORELLI F. A., Comparison between detailed model simulation and artificial neuralnetwork for forecasting building energy consumption, Energy and Buildings 40 2169–2176, 2008.
- [11] MASOSO O.T., GROBLER L.J., A new and innovative look at anti-insulation behaviour in building energy consumption, Energy and Buildings 40 1889–1894, 2008.
- [12] CONCEICAO E.Z.E., M.M.J.R. LUCIO,Thermal study of school buildings in winter conditions, Building and Environment 43 782–792, 2008.
- [13] FLORIDES G.A., TASSO S.A., KALOGIROU S.A., WROBEL L.C., Measures used to lower building energy consumption and their cost effectiveness, Applied Energy 73 299–328, 2002.
- [14] FUMO N., MAGO P. J., CHAMRA L. M., Energy and economic evaluation of cooling, heating, and power systems based on primary energy, corrected proof, Applied Thermal Engineering, 2009.
- [15] SJÖGREN J.U., ANDERSSON S., OLOFSSON T., An approach to evaluate the energy performance of buildings based on incomplete monthly data, Energy and Buildings 39 945–953, 2007.

- [16] GHIAUS C., Experimental estimation of building energy performance by robust regression, *Energy and Buildings* 38 582–587, 2007.
- [17] CALDERA M., CORGNATI S. P., FILIPPI M., Energy demand for space heating through a statistical approach: application to residential buildings, *Energy and Buildings* 40 1972–1983, 2008.
- [18] UCAR A., BALO F., Effect of fuel type on the optimum thickness of selected insulation materials for the four different climatic regions of Turkey, *Applied Energy* 86 730–736, 2009.
- [19] AKTACIR M. A., BÜYÜKALACA O., BULUT H., YILMAZ T., Influence of different outdoor design conditions on design cooling load and design capacities of air conditioning equipments, *Energy Conversion and Management* 49 1766-1773, 2008.
- [20] Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı 2008 Faaliyet Raporu.
- [21] SAP2005. “The Government's Standard Assessment Procedure for Energy Rating of Dwellings”, 2005 Ed., Revision 1, Version 9.81, 2008.
- [22] DEAP “Dwelling Energy Assessment Procedure”, Procedure for Energy Rating of Irish Dwellings, Version 2.2, 2006.
- [23] Méthode de Calcul Th-C-Ex, 2008.
- [24] CIBSE Environmental Design, Guide A, 7th edition The Chartered Institution of Building Services Engineers, London, 2006.
- [25] Qualitative Comparison of North American and U.K. Cooling Load Calculation Methods, REES S. J., SPITLER J.D., DAVIES M.G., HAVES P., HVAC&R RESEARCH Volume 6 No.1, 2000.
- [26] EnergyPlus Engineering Reference, US Department of Energy, 2008.
- [27] İZODER TS 825 Hesap Programı, İZODER Isı Su ve Ses Yalıtımcıları Derneği, Sürüm 1.0.0, 2008.
- [28] Ecotect, Dr. Andrew J. Marsh & SQUARE ONE Research, Version 5.5.0, 2008.
- [29] EnergyPlus, U.S. Department of Energy, Version 3.0, 2008.
- [30] EN ISO 13791 “ Thermal Performance of buildings- Calculation of internal temperatures of a room in summer without mechanical cooling- General criteria and validation processes”, 2007.
- [31] EN ISO 13789 “ Thermal Performance of Buildings-Transmission and ventilation heat transfer coefficients, 2007.
- [32] ASHRAE Standart 55 “ Thermal environmental conditions for human occupancy”, 2004.
- [33] EN 15232 “ Energy Performance of Buildings- Impact of Building Automation, Controls and Building Management”, 2007.
- [34] ASHRAE Transactions 90 “ Estimates of recommended heat gain due to commercial appliances and equipment”, 2001.

ÖZGEÇMİŞ

Mustafa Can YAMAN

1984 yılı İzmir doğumludur. 2006 yılında İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Makina Mühendisliği Bölümü'nden mezun olmuştur. Aynı yıl İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Enerji Mühendisliği Programı'nda Yüksek Lisans eğitimine başlamıştır. 2007 yılı başından buyana aynı programda Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır. Binalarda ve sanayide enerji verimliliği konusunda çalışmaktadır. 2008 yılı itibarıyla “Binalarda Enerji Yöneticisi” ünvanını kazanmıştır.

Gülden GÖKÇEN

1968 yılı İzmir doğumludur. 1990 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü'nden 1992 yılında Yüksek Mühendis, 2000 yılında da Doktor ünvanı almıştır. 1996 yılında Auckland Üniversitesi Jeotermal Enstitüsü'nde “Jeotermal Enerji Teknolojisi Diploma Kursu”na katılmıştır. 1997 yılında NATO A2 bursu ile ABD'de “Jeotermal Elektrik Santralleri'nde Reboiler Teknolojisi” üzerine dört aylık bir çalışma yapmıştır. 1991-2000 yılları arasında Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmıştır. 2000 yılından bu yana İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Makina Mühendisliği Bölümü'nde görev yapmaktadır. Jeotermal elektrik santrallerinde verim artırma metodları, jeotermal enerji teknolojileri, jeotermal uygulamaların çevresel etkileri ve binalarda enerji performansı konularında çalışmaktadır.