

Farklı Cam Türleri ve Yönlere Göre Pencere/Duvar Alanı Oranının Bina Enerji Performansına Etkisi: Eğitim Binası, İzmir

Impact of Window-to-Wall Surface Area for Different Window Glass Types and Wall Orientations on Building Energy Performance: A Case Study for a School Building Located in Izmir, Turkey

Yusuf YILDIZ,¹ Türkan GÖKSAL ÖZBALTA,² Zeynep DURMUŞ ARSAN¹

Binaların opak ve saydam yüzeyleri enerji kayıp ve kazançları açısından önemli bir role sahiptir. Binalarda, pencerelerden kaynaklanan güneş enerjisi kazanç ve ısı kayıp miktarları, pencere/duvar alanı oranı, cam tipi ve çerçeve gibi özelliklere bağlıdır. Enerji etkin tasarım bağlamında ısıtma ve soğutma amaçlı enerji tüketimine olan etkisi nedeni ile pencerelerden kazanılan güneş enerjisi ve kaybedilen ısı miktarının, erken tasarım aşamasında yerel iklim koşullarına göre analiz edilmesi gereklidir. Bu çalışmada, sıcak-nemli iklim koşullarına sahip İzmir ilinde bulunan bir eğitim binası incelenmiştir. Farklı cam türleri için farklı yönlerdeki pencere/duvar alanı oranı değişiminin enerji tüketimine olan etkisi, enerji analiz programı EnergyPlus kullanılarak karşılaştırılmıştır. Elde edilen simülasyon sonuçlarına göre binalarda pencere/duvar alanı oranı, yön ve cam tipinin enerji tüketimi üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Farklı yönlerdeki pencere/duvar alanı oranının %10'dan %60'a artırılması durumunda ısıtma amaçlı enerji tüketimindeki azalma, güney cephedeki değişime bağlı olarak maksimum, doğu cephesinde ise minimum düzeydedir. Soğutma yükü açısından ise güney cephedeki değişimin yine en yüksek değere, kuzey cephedeki değişimin ise en düşük değere neden olduğu saptanmıştır. Toplam enerji tüketimi açısından (ısıtma + soğutma) doğu ve batı cephele- rin en etkili, kuzey cephenin ise en az etkiye sahip olduğu hesaplanmıştır. Çift cam (mevcut) yerine low-e kaplamalı cam kullanıldığında ise yönlere göre sıralamanın değişmediği görülmüştür. Kısacası bina enerji performansına etkisi olan parametrelerin, mimari tasarım sürecinin erken aşamalarında veya mevcut binaların enerji etkin iyileştirilmelerinde, enerji analiz programları aracılığı ile değerlendirilmesi, enerji etkin çözüm önerilerinin oluşturulmasına önemli katkılar sağlayacaktır.

Anahtar sözcükler: Pencere/duvar alanı oranı, cam tipi, yön, enerji tüketimi, sıcak-nemli iklim.

¹İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İzmir;
²Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir
Yapı Fiziyi ve Sürdürülebilir Tasarım Kongresi'nde sözlü olarak sunulmuştur (4-5 Mart 2010, İstanbul).

The opaque and transparent surfaces of buildings have an important role in the total percentage of energy loss or gain. Heat loss or gain from windows are dependent on the window-to-wall area ratio, the window glass type, and the type of window frame used. In the concept of energy efficient design, heat loss or gain from windows should be analyzed in detail in the early stages of building design by considering local climatic conditions. This study investigates a school building located in Izmir in Turkey, a city with a hot and humid climate. Various glass types with different glazing characteristics and number of layers, located in different parts of the buildings and with different window-to-wall ratios are analyzed and compared using building the energy analysis program "EnergyPlus". Results indicate that window-to-wall area ratios, wall orientation and glass types are important factors in the building's total energy consumption. When the window-to-wall area ratio is increased from 10% to 60%, the winter heating load of the building decreases in maximum amount on the south side of the building and reduces in minimum amount on the east side of the building. When summer cooling load is investigated the highest increase in energy consumption is found on the south side of the building. On the eastern and western sides of the building the effect of increased energy consumption value remains low. When the total energy consumption (cooling + heating) is considered, it is calculated that the east and west sides have the biggest total effect and the northern wall has the smallest total effect. When low emissivity glass is used instead of double layer glass, in terms of energy consumption the building side order of effect remains the same, although actual values differ. It is therefore clear that using energy analysis programs to analyse different factors within the energy consumption of buildings will be beneficial in creating energy efficient solutions. This can be carried out in the earlier stages of the architectural design of the buildings or at the renovation stages of existing buildings.

Key words: Window to external wall ratio, glazing type, orientation, energy consumption, hot-humid climate.

¹Department of Architecture, Izmir Institute of Technology Faculty of Architecture, Izmir;
²Department of Civil Engineering, Ege University, Faculty of Engineering, Izmir, Turkey
Presented at the Building Physics and Sustainable Design Congress (March 4-5, 2010, Istanbul, Turkey).

MEGARON 2011;6(1):30-38

Başvuru tarihi: 15 Eylül 2010 (Article arrival date: September 15, 2010) - Kabul tarihi: 13 Ocak 2011 (Accepted for publication: January 13, 2011)

İletişim (Correspondence): Ar. Gör. Yusuf YILDIZ. e-posta (e-mail): yusufyildiz@gmail.com

© 2011 Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi - © 2011 Yıldız Technical University, Faculty of Architecture

Giriş

Türkiye'deki mevcut bina stoğu incelendiğinde, enerji korunumu açısından yetersiz olan binalarda fosil kökenli enerji kaynaklarına olan bağımlılığının yüksek düzeyde olduğu görülmektedir. Bu nedenle, ülkemizde bina sektörünün toplam enerji tüketimi içindeki payı %40 düzeylerine ulaşmaktadır. Aynı zamanda, bina üretimindeki artış ve kullanıcı odaklı konfor gereksiniminin artması, bina sektöründe enerji tüketimini arttırmaktadır. Ayrıca fosil kökenli enerji kaynaklarının azalması, enerji fiyatlarındaki artışlar, küresel ısınmaya bağlı çevresel sorunlar, enerjinin sanayi ve ulaşım sektörleri gibi binalarda da verimli kullanılmasını zorunlu kılmaktadır.

Güneş enerjisi binalarda enerji tüketimini etkileyen en önemli etkenlerden biridir. Binalarda güneş enerjisi kazancı taşınım, iletim ve ışınım yolu ile gerçekleşir. Bu yüzden bina kabuğunu oluşturan opak ve saydam yüzeyler enerji gereksiniminde önemli role sahiptir. Enerji tüketiminin azaltılmasında pencere/duvar alanı oranı, cam tipi ve yön gibi tasarım parametrelerinin incelenmesi gerekir. Mimari proje sürecinin erken aşamasında simülasyon programlarının kullanılması ile iklimle dayalı analizler yapılarak enerji verimliliği açısından amaçlanan değerlerin elde edilmesi olanaklıdır. Isı kayıp/kazançları açısından bina kabuğunu oluşturan elemanların ısı geçirgenlik katsayısı en etkili parametrelerden biridir. Bu bağlamda pencereler, duvar, çatı ve döşeme elemanlarına göre daha az direnç göstermekte olup, ısı kayıp/kazançları önemli ölçüde pencerelerden gerçekleşir. Bilindiği üzere özellikle sıcak iklim bölgelerinde yüksek oranda güneş ışınımına maruz kalan pencereler, iç ısı konfor koşullarını olumsuz etkiler. Bunlar:^[1]

- İç ortam sıcaklığının yükselmesi ve bu nedenle insanlar üzerindeki stresi arttırması,
- İnsanların çalışma verimini düşürmesi,
- İç ortamdaki elektrikli aletlerin çalışma verimini azaltması,
- Direkt güneş ışınımının yansımaya neden olması şeklinde sıralanabilir.

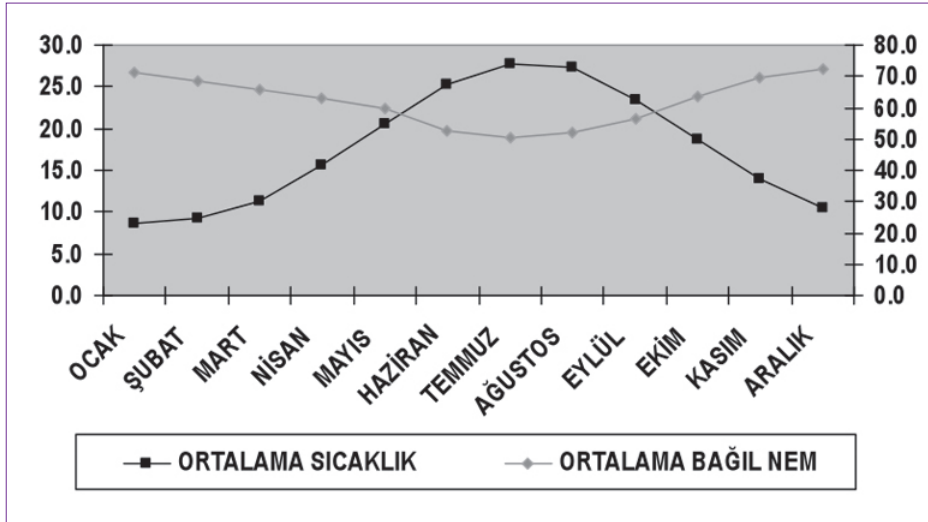
Belirtilen olumsuzluklar cam kaplama türleri, camlar arasındaki boşluk miktarı, boşlukta kullanılan gaz türleri ve çerçevelerin ısı özelliklerine bağlı olarak değişkenlik gösterir. Bu parametrelerin iklim bölgelerine özgü kombinasyonların seçimi ile pencerelerin enerji performansının arttırılması olanaklıdır. Bu konuda yapılan araştırmalardan birine göre; Hong Kong'da bulunan bir apartman binasında, farklı cam seçeneklerinin yıllık soğutma enerjisi gereksinimine olan etkisi ince-

lenmiştir. Sonuç olarak, soğutma amaçlı harcamalardan elde edilebilecek tasarruf miktarı low-e kaplamalı tek camda %4,2, çift yönlü low-e kaplamalı tek camda %1,9, çift camda %3,7 ve low-e kaplamalı çift camda %6,6 olarak hesaplanmıştır.^[1] Kontoleon ve Bikas tarafından yapılan çalışmada ise aşırı ısınma ve buna bağlı olarak enerji tüketiminin azaltılmasının optimum pencere/duvar alanı oranı, uygun cam türü seçimi ve döşemede yalıtım uygulanmasına bağlı olduğu bulunmuştur.^[2] Enerji tüketiminin yanı sıra uygun cam tipi kullanımının ısı konfor üzerinde de etkisi vardır. İklim bölgelerinin karakteristik özelliklerine göre yapılacak cam seçimi ile uygun ısı konfor şartlarına ulaşılabilir. Singh ve diğ. yaptıkları çalışmada 15 farklı cam tipinin ısı konfor şartlarına etkisini araştırmışlardır. Değerlendirme kriteri olarak ise *Predicted Mean Vote* (PMV) ve *Predicted Percentage of Dissatisfied* (PPD) değerleri kullanılmıştır. Sonuç olarak, karma iklim kış koşullarında güneş kontrol camları dışında kalan cam türleri, yaz koşullarında ise yansıtıcı kaplamalı camların uygun olduğu saptanmıştır. Çöl ikliminde ise yansıtıcı kaplamalı güneş kontrollü çift cam kullanımının uygun, ılıman iklimde oda sıcaklığının 25°C istendiği koşullarda yansıtıcı ve emici kaplamalı güneş kontrol camları kullanımı ile ısı konfor koşullarının sağlanabildiği ortaya konmuştur.^[3] Bektaş ve Aksoy tarafından yapılan bir çalışmada, konutlarda pencere yönleri ile farklı cam ünitelerinin ısıtma enerjisi gereksinimi üzerindeki etkisi değerlendirilmiş olup, soğuk iklim bölgesi için %20-30 arasında ısıtma enerjisi tasarrufu sağlanabileceği belirtilmiştir.^[4]

Bu çalışmada İzmir'de bulunan bir eğitim binasında low-e kaplamalı cam tipi ile birlikte yönlere göre pencere/duvar alanı oranı değişiminin ısıtma ve soğutma yüklerine olan etkisi incelenmiştir. Böylece sıcak-nemli iklim koşullarında, yönlere uygun pencere alanı ve cam tipinin belirlenmesi ile bina enerji performansının arttırılması amaçlanmaktadır. Kontrol edilebilen tasarım parametrelerinin etkili kullanımı ile iç ortam ısı konforunun arttırılması, enerji tüketimi dolayısıyla çevreye olan olumsuz etkinin azaltılması olanaklıdır.

İzmir İklimi ve İncelenen Binanın Genel Özellikleri

İzmir, Türkiye'nin batı kıyı şeridinde 38° 25' Kuzey Enlemi ve 27° 09' Doğu Boylamı'nda yer alır. İklim özellikleri bakımından, kış ayları ılıman ve yağışlı, yaz ayları ise sıcak ve kurak geçer. Sıcak-nemli iklim bölgesinde yer alan İzmir ilinde Ekim ve Mayıs ayları arasında ısıtmaya gereksinim duyulmakta olup, en soğuk dönem Ocak ayında yaşanmaktadır. Yılın geri kalan zamanında ise önemli ölçüde soğutmaya gereksinim vardır. Şekil 1'de İzmir için yıllık ortalama aylık sıcaklık değerleri ve bağıl nem oranları gösterilmiştir.^[5] Ortalama sıcaklık kış



Şekil 1. İzmir aylık ortalama dış hava sıcaklık ve bağıl nem değişimleri (1938-2003).

aylarında yaklaşık olarak 8°C, yaz aylarında ise 28°C'dir. Bağıl nem ise kış aylarında ortalama %70 iken yaz aylarında %52 düzeylerine düşmektedir.

Çalışmaya söz konusu olan eğitim binası Ege Üniversitesi Kampüsü'nde yer almakta olup, 2002-2003 yılları arasında inşa edilmiştir (Şekil 2).

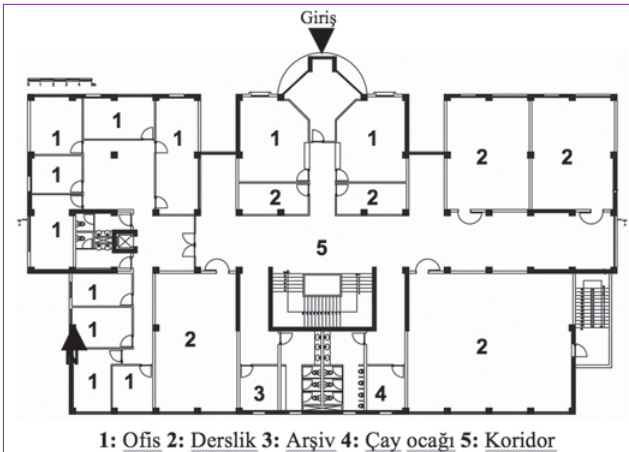


Şekil 2. Ege Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü binası.

Şekil 3'de plan şeması verilen 4 katlı, dikdörtgen formu, bünyesinde öğretim üyesi odaları ve derslikleri barındıran binanın, doğu/batı doğrultusunda konumlanması ile ana cepheleri kuzey/güney yönünde yer almaktadır. Derslikler ve öğretim üyesi odalarının ağırlıklı olarak kuzey ve güney cephede konumlandığı binanın taban alanı yaklaşık 1150 m², toplam hacmi ise 19090 m³'dür.

Binaya ait genel bilgiler Tablo 1'de özetlenmiştir.

Binayı oluşturan yapı bileşenleri incelendiğinde, taşıyıcı sistemin betonarme iskelet, duvar kuruluşunun büyük bir bölümünün 30 cm kalınlığında, toplam ısı geçirgenlik değeri (U) 2,856 W/m²K olan betonarme per-



Şekil 3. Ege Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü normal kat planı.

Tablo 1. Ege Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü binası genel özellikleri

Binanın konumu	38° 27' 20" Kuzey; 27° 13' 43" Doğu
Rakım	27 m
Bina inşa yılı	2002-2003
Bina kullanım amacı	Eğitim binası
Bina kullanım alanı	1150 m ² (46 x 25 m)
Bina toplam hacmi	19090 m ³ (46 x 25 x 16,6 m)
Binanın yalıtım durumu	Dış duvarlar: yalıtımsız; Çatı: 5 cm XPS ısı yalıtımı
Bina ısıtma/soğutma sistemi	Fan coil (doğal gaz) + Split klima (ısıtma ve soğutma amaçlı kullanılmakta)

Tablo 2. Yapı kabuğunu oluşturan katmanlar ve termofiziksel özellikleri		
Dış duvar 1	Kalınlık (cm)	Isıl iletkenlik katsayısı (W/mK)
Sıva	2	0,87
Betonarme perde	30	2,1
Sıva	2	1,4
U-değeri (W/m ² K)	2,856 (mevcut)	
U-değeri (W/m ² K)	0.7 (TS 825'de önerilen)	
Dış duvar 2	Kalınlık (cm)	Isıl iletkenlik katsayısı (W/mK)
Sıva	2	0,87
Bimsblok	20	0,27
Sıva	2	1,4
U-değeri W/m ² K	1,054 (mevcut)	
U-değeri W/m ² K	0.7 (TS 825'de önerilen)	
Pencere	Kalınlık (cm)	Isıl iletkenlik katsayısı (W/mK)
Alüminyum çerçeve: çift cam	4mm-12mm-4mm	2,7
U-değeri W/m ² K	2,4 (TS 825'de önerilen)	
Zemine oturan döşeme	Kalınlık (cm)	Isıl iletkenlik katsayısı (W/mK)
Betonarme döşeme	20	2,1
Çimento harçlı şap	4	1,4
Su yalıtımı	0,2	-
Çimento harçlı şap	3	1,4
Yapıştırma harcı	1,5	1,4
Kaplama malzemesi	1	2,3
U-değeri W/m ² K	2,9 (mevcut)	
U-değeri W/m ² K	0,7 (TS 825'de önerilen)	
Yürünebilen teras çatı	Kalınlık (cm)	Isıl iletkenlik katsayısı (W/mK)
Sıva	1,5	0,87
Betonarme döşeme	15	2,1
Çimento harçlı şap	4	1,4
Su yalıtımı	0,5	-
Buhar kesici	-	-
Çimento harçlı şap	3	1,4
XPS ısı yalıtımı	5	0,035
Çimento harçlı şap	2	1,4
Seramik kaplama	1,5	2,3
U-değeri W/m ² K	0,45 (mevcut)	
U-değeri W/m ² K	0,45 (TS 825'de önerilen)	

de olduğu görülür. Duvarların çok az bir bölümü ise 20 cm kalınlığında bimsblok malzemeden oluşmaktadır ve U-değeri 1,054 W/m²K'dir. İncelenen binadaki dış duvarların U-değeri, TS 825 Isı Yalıtım Yönetmeliği'nde İzmir ilinin bulunduğu 1. Derece-Gün Bölgesi için önerilen U=0,70 W/m²K değerinden oldukça yüksektir. Binanın pencereleri yalıtımsız alüminyum doğramalardan üretilmiş ve saydam yüzeylerde çift cam (4 mm - 12 mm - 4 mm) kullanılmıştır. Pencere sistemi ortalama 2,7 W/m²K ısı geçirgenlik değerine sahip olup, TS 825 Isı Yalıtım Yönetmeliği'nde önerilen değer

rindedir (2,4 W/m²K). Ayrıca montaj hataları nedeniyle istenmeyen hava kaçakları da söz konusudur. Toplam saydam yüzeyler dış duvar alanının %29'unu oluşturmakta olup, yönlere göre pencere/duvar alanı oranı değişkenlik göstermektedir. Kuzey cephede pencere/duvar alanı oranı %37,2, güney cephede %27,18, doğu cephede %12, batı cephede ise %12,4'dür. Tablo 2'de yapı kabuğunu oluşturan katmanlar ve termofiziksel özellikleri verilmiştir.^[6] Ayrıca projede kullanılan malzemelere ilişkin bilgiler Ege Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölüm Başkanlığı'ndan alınmıştır.

Tablo 3. İncelenen cam seçeneklerinin termofiziksel özellikleri

Cam tipi	Isı geçirgenlik katsayısı U-değeri W/m ² K	Güneş ısı kazanç katsayısı- SHGC	Serinlik indeksi-Dx	Kalınlık (mm)	Çerçeve
Çift cam (mevcut)	2,7	0,74	0,8	4+12+4	Alüminyum (U: 5,1 W/m ² K)
Low-e kaplamalı çift cam	1,7	0,56	0,74	6+12+6*	Ahşap (U: 3,6 W/m ² K)

*Low-e kaplama dıştaki camın ikinci yüzeyine yerleştirilmiştir.

Gereç ve Yöntem

Çalışmada ele alınan binanın kuzey, güney, doğu ve batı cephelerindeki pencere/duvar alanı oranları %10, %20, %30, %40, %50 ve %60 olacak şekilde arttırılarak ısıtma/soğutma enerjisi tüketimine etkisi, binalarda enerji analiz programı, EnergyPlus kullanılarak hesaplanmıştır. Ayrıca, bu etkinin cam tipine göre değişimini değerlendirmek için mevcut cam ve çerçeve tipi, low-e kaplamalı cam ve ahşap çerçeve sistemi ile değiştirilerek simülasyon tekrarlanmıştır. Tablo 3’de kullanılan camların termofiziksel özellikleri gösterilmiştir.^[7]

EnergyPlus USA Enerji Bakanlığı tarafından geliştirilmiş enerji performansı açısından bina tasarımında ve yapı fiziği konularında araştırma amaçlı yaygın kullanılan ücretsiz bir simülasyon programıdır.^[8] Programın hesaplama yöntemleri onaylanmış olup, sürekli geliştirilen bir yapıya sahiptir.

EnergyPlus analiz programının simülasyon süresini kısaltmak için eğitim binasında aynı ısı özelliklerine sahip mekanlar gruplandırılarak, 3 ana ısı bölge tanımlanmıştır. Isıl bölgeleme oluşturulurken aynı yönlerdeki, ısıtma ve soğutma gereksinimi benzer, aynı kullanım amacına sahip mekanlar tek bir ısı bölge olarak modellenmiştir. Binanın enerji tüketim değerlerini etkileyen tüm parametreler (malzemelerin termofiziksel özellikleri, ısıtma soğutma sistemi, bina kullanım özellikleri, vb.) model içinde aslına uygun olarak tanımlanmış ve hesaplamalar İzmir ili için hazırlanmış tipik iklim verileri (TMY2) kullanılarak EnergyPlus aracılığı ile yapılmıştır. TMY bina enerji analiz programlarında en yaygın kullanılan iklim verilerinden biri olup, yıl bazında saatlik iklim verilerini kapsamakta ve genel olarak sekiz ana parametreden oluşmaktadır. Bu parametreler, ortalama kuru ve yaş termometre sıcaklığı, bağıl nem, rüzgar hızı ve yönü, global direkt ve yayılı güneş ışınımı şeklinde sıralanabilir.

İncelenen eğitim binasında ısıtma/soğutma için fan coil sistemi mevcut olup, çalışma saatleri 7.00-

17.30’dur. Bina ısı modellemesinde, ısıtma ve soğutma için termostat değerleri 20°C ve 26°C olarak belirlenmiş ve binanın yıllık ısıtma/soğutma yükü incelenmiştir. Yukarıda da açıklandığı üzere söz konusu bina eğitim/öğretim amacı yanı sıra öğretim üyesi bürolarını da kapsamaktadır. Dolayısı ile kullanım süresi kesintisizdir, ayrıca yaz okulu nedeni ile yıl boyunca eğitim/öğretime açıktır. Bunun dışında hafta sonlarında da ÖSYM tarafından gerçekleştirilen sınavlar nedeniyle binada ısıtma/soğutma sistemi aktif olarak çalışmaktadır. Görüldüğü üzere tüm yıl boyunca, hatta hafta sonu tatil günleri de dahil olmak üzere tüm mekanlarda ısıtma ve soğutma gereksiniminin gün içinde 7.00-17.30 saatleri arasında kesintisiz olacağı kabul edilmiştir. Binada kullanıcı profili ve sayısının mekanlara göre değişkenlik göstermesi ve her dönem farklılaşması nedeni ile ısı modelleme yapılırken iç ısı kazanç faktörü olarak dikkate alınmamıştır. İstenmeyen hava kaçak değeri olarak ise mevcut durum gözlemlenerek 1 ach değeri kullanılmıştır.

BESTEST Prosedürünün Uygulanması: EnergyPlus

Çalışmada kullanılan simülasyon programının güvenilirliğini test etmek için BESTEST prosedürü uygulanmıştır; çünkü mevcut birçok enerji analiz programı arasında ısıtma/soğutma yüklerini doğru hesaplayan enerji analiz programının seçimi önem kazanmaktadır. BESTEST prosedürü bina enerji analiz programlarının iç performansını değerlendirmeye izin veren önceden tanımlanmış bir dizi senaryodan oluşmaktadır. Bu çalışmada EnergyPlus programının performansını değerlendirmek için BESTEST senaryo 600 seçilmiştir.^[9] Senaryo 600 hafif ısı kütleye sahip tek bir hacimden oluşmakta ve güney cephesinde iki adet pencere bulunmaktadır. 200 W iç kazanç olduğu kabul edilir. Isıtma için termostat sıcaklığı 18°C, soğutma için ise 27°C’dir. Günde 24 saat haftada 7 gün bu değerler geçerlidir. EnergyPlus programında BESTEST senaryo 600 prosedürü tamamlandıktan sonra yıllık ısıtma ve so-

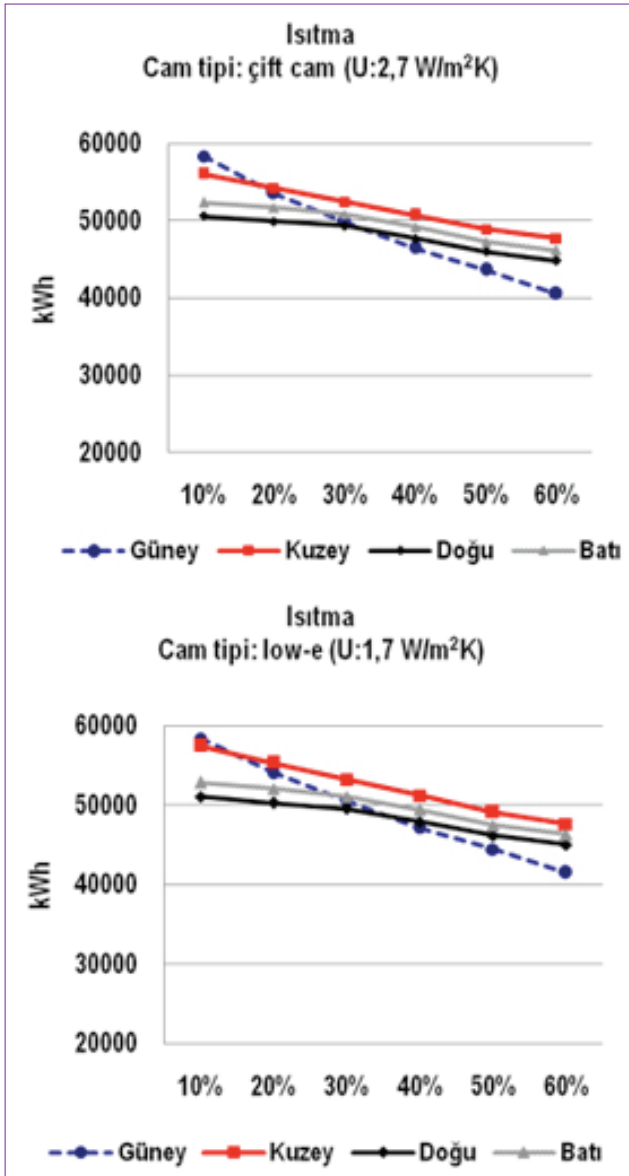
ğütma yükleri, ayrıca zirve ısıtma soğütma yükleri hesaplanarak, senaryo 600 için önceden hesaplanmış değerlerle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucuna göre programdan elde edilen tüm değerler BESTEST raporunda belirtilen limitler içinde kalmaktadır ve bu nedenle seçilen EnergyPlus programı kullanılmıştır.

Simülasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Simülasyon sonuçları ısıtma, soğütma ve yıllık toplam enerji gereksinimi (ısıtma + soğütma) açısından ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Isıtma Amaçlı Enerji Tüketimi

Seçilen eğitim binasının dört cephesinin açık olma-

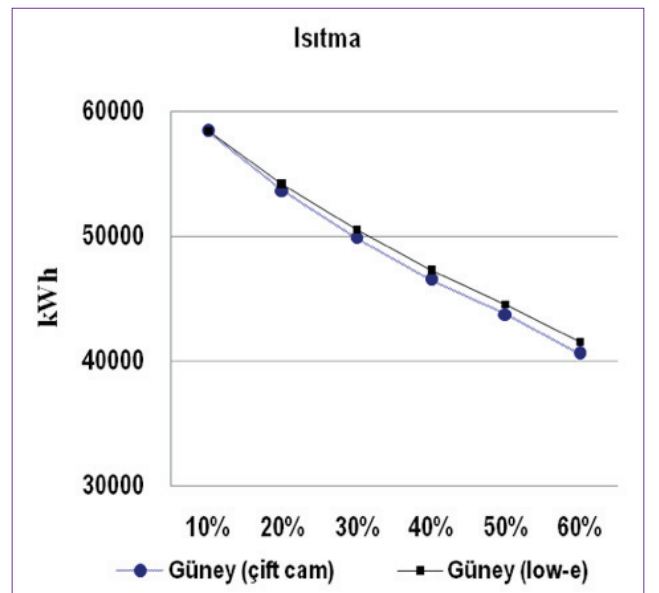


Şekil 4. Pencere/Duvar alanı değişiminin enerji tüketimine etkisi (ısıtma): çift ve low-e cam.

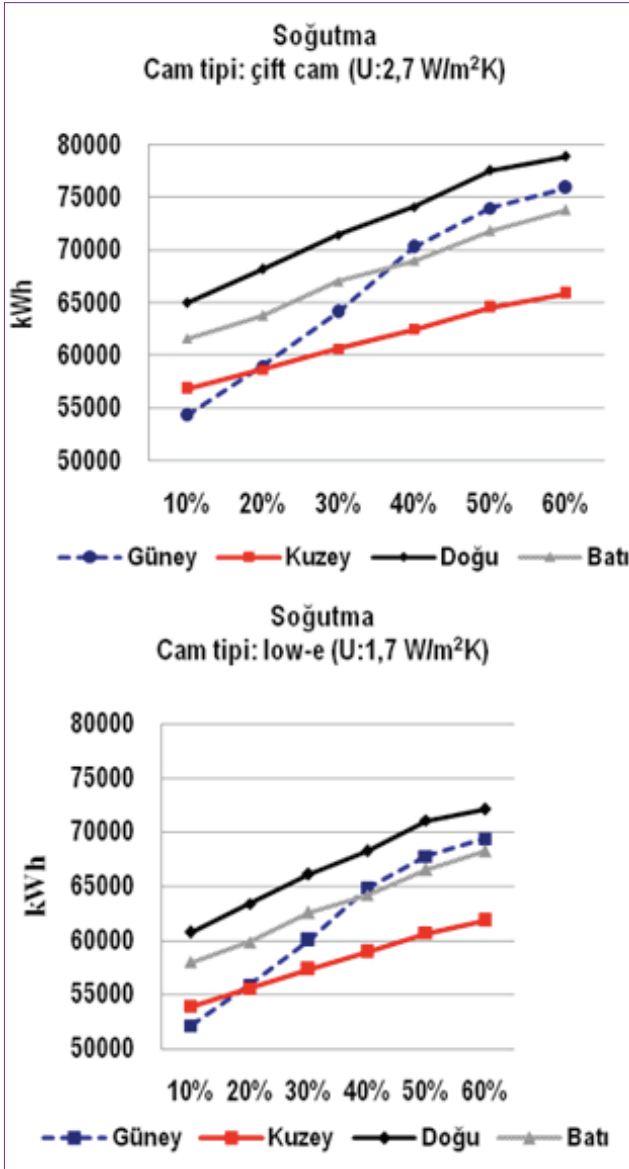
sından yararlanılarak modellemede diğer cephelerdeki pencere oranları sabit tutularak incelenen cephedeki pencere oranı %10'dan başlayarak %20, %30, %40, %50 ve %60'a kadar arttırılmıştır. Bu durum sırasıyla her cephe için tekrarlanarak farklı yönleri bakan cephelerde değişen pencere/duvar alanı oranlarının ısıtma ve soğütma amaçlı enerji gereksinimine etkisi incelenmiştir (Şekil 4). Aynı zamanda pencerelerde kullanılan cam tipinin etkisini görmek için mevcut çift cam uygulamasının dışında low-e kaplamalı cam tipi için analizler tekrarlanmıştır.

Şekil 4'de görüldüğü gibi güney cephedeki pencere/duvar alanı oranı değişiminin enerji tüketimine olan etkisi en fazladır. Pencere oranının güney cephede %10 olması durumunda ısıtma amaçlı enerji gereksinimi yaklaşık olarak 58408 kWh iken, %60'a arttırılması durumunda enerji tüketimi %30 azalarak 40588 kWh değerine ulaşmaktadır. Kuzey, Doğu ve Batı cephelerindeki pencere oranlarının %10'dan %60'a arttırılması durumunda ısıtma amaçlı enerji tüketimi sırasıyla %14, %11,4 ve %11,9 oranında azalmaktadır. Dolayısıyla ile pencere alanının %10'dan %60'a çıkarılması ile enerji tüketiminde en fazla değişime neden olan (en etkin/etkinlik) cephenin Güney, en az etkin cephenin ise Doğu cephesi olduğu dikkat çekmektedir.

Mevcut cam tipi olan çift cam uygulamasının, low-e kaplamalı cam ile değiştirilmesi durumunda Güney, Kuzey, Doğu ve Batı cephelerindeki pencere oranının %10'dan %60'a yükseltilmesiyle ısıtma amaçlı enerji gereksiniminde sırasıyla %29, %17, %11,8 ve %12,47



Şekil 5. Çift cam ve low-e kaplamalı camın ısıtma amaçlı enerji tüketimine etkisi.



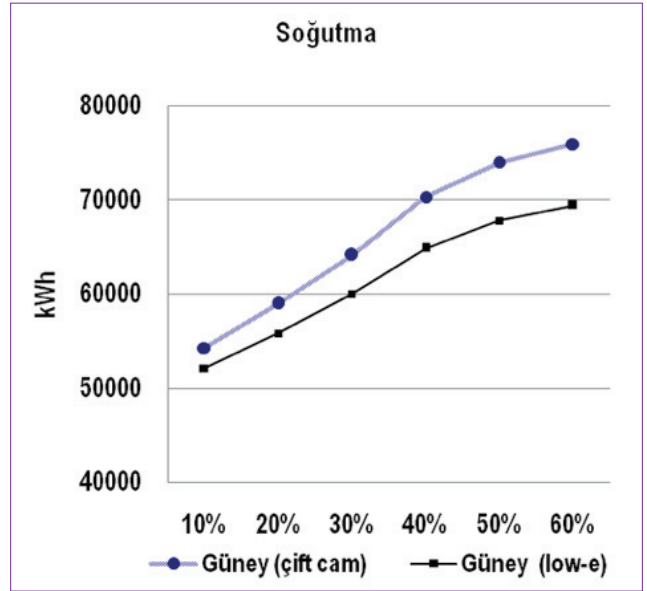
Şekil 6. Pencere/Duvar alanı değişiminin enerji tüketimine etkisi (soğutma): çift ve low-e cam.

oranında tasarruf etmek olanaklıdır. Etkinlik açısından karşılaştırıldığında cam tipindeki farklılık yön sıralamasını değiştirmemektedir.

Cam tipinin sadece ısıtma amaçlı enerji tüketimi üzerindeki etkisi incelendiğinde seçilen low-e kaplamalı camın özelliklerine bağlı olarak çok fazla bir değişimin olmadığı görülmüştür (Şekil 5). Ancak pencere alanı oranı arttıkça enerji tüketimi üzerindeki etkisinin az da olsa arttığı dikkat çekmektedir.

Soğutma Amaçlı Enerji Tüketimi

Cephedeki pencere/duvar alanı oranı değişiminin soğutma amaçlı enerji tüketimine olan etkisi ısıtma



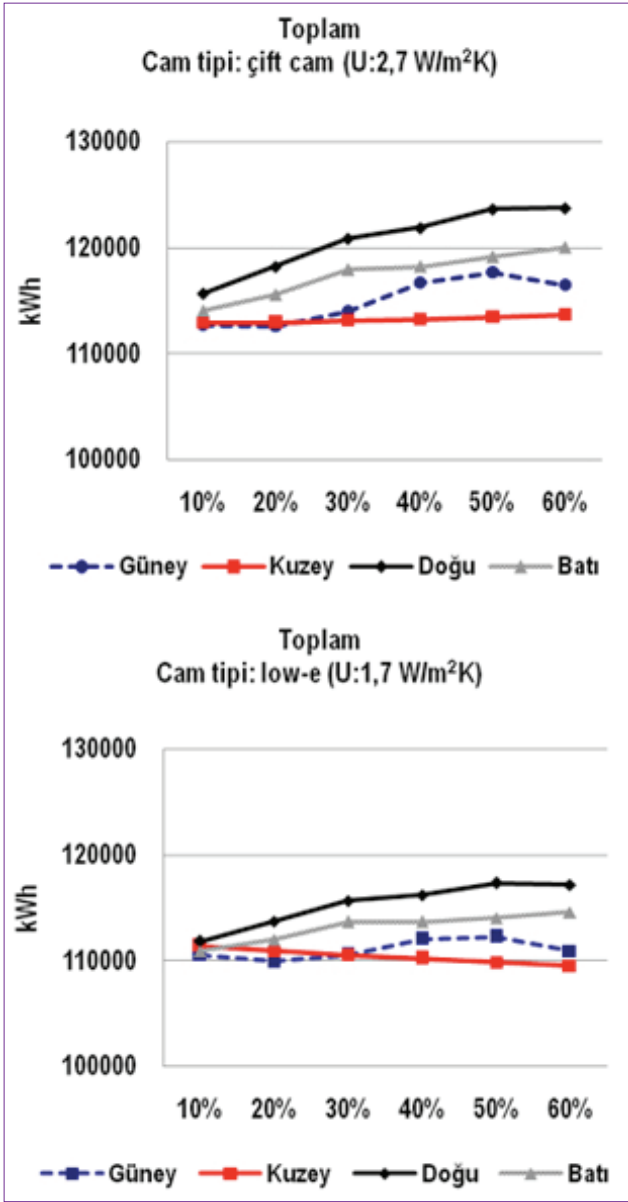
Şekil 7. Çift cam ve low-e kaplamalı camın soğutma amaçlı enerji tüketimine etkisi.

amaçlı enerji tüketiminde olduğu gibi en fazla güney cephede görülmektedir. Pencere/duvar alanı oranı güney cephede %10 olması durumunda soğutma amaçlı enerji gereksinimi yaklaşık olarak 54312 kWh iken, bu oranın %60'a artırılması ile enerji tüketimi %28,4 artarak 75926 kWh'e yükselmiştir. Diğer cephelerde (Kuzey, Doğu ve Batı) ise soğutma amaçlı enerji tüketimi sırasıyla %13,7, %17,5 ve %16,5 oranında artmaktadır (Şekil 6).

Buradan da anlaşıldığı üzere soğutma açısından en etkin cephe Güney cephesidir. Isıtma amaçlı enerji tüketiminde cephelerin etkinlik sırası Güney, Kuzey, Batı, Doğu iken soğutma amaçlı enerji tüketiminde Güney, Doğu, Batı ve Kuzey şeklinde sıralanmaktadır.

Çift cam uygulamasının low-e kaplamalı cam ile değiştirilmesi durumunda Güney, Kuzey, Doğu ve Batı cephelerindeki pencere oranının %10'dan %60'a yükseltilmesi ile enerji tüketimi sırası ile %24,8, %12,8, %15,7 ve %15 oranında artmaktadır.

Cam tipinin soğutma amaçlı enerji tüketimi üzerindeki etkisine bakıldığında, seçilen low-e kaplamalı camın özelliklerine bağlı olarak soğutma yükünde azalmanın olduğu dikkat çeker (Şekil 7). Çift camın güneş ısı kazanç katsayısı (SHGC) 0,74 iken, low-e kaplamalı camda SHGC değeri 0,56'ya düşmektedir. SHGC değerinin soğutma yükünde önemli bir parametre olduğu unutulmamalıdır. Pencere/duvar alanı oranındaki artış ile soğutma yükündeki azalma oranı da artmaktadır. Sadece çift cam yerine low-e kaplamalı cam kulla-



Şekil 8. Pencere alanı değişiminin enerji tüketimine etkisi (toplam): çift ve low-e cam.

nımı ile güney cephede pencere/duvar alanı oranının %10 olması durumunda soğutma amaçlı enerji tüketiminden %4 tasarruf sağlanabilir. Pencere/duvar alanı oranı %60 olduğunda ise tasarruf oranı %8,6'ya yükselmektedir.

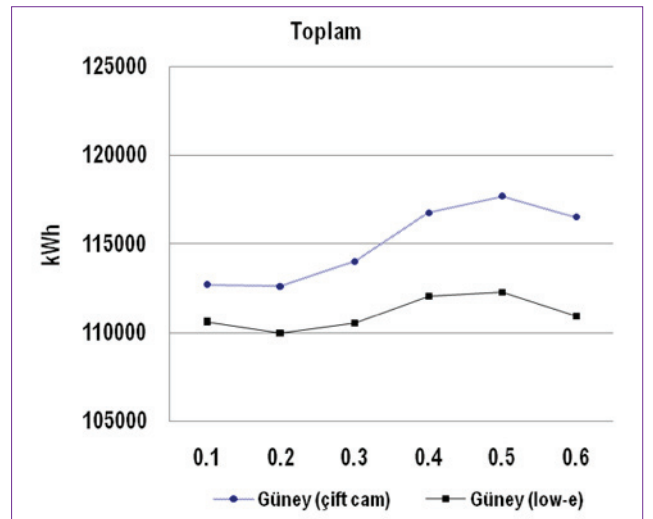
Toplam Enerji Tüketimi (Isıtma + Soğutma)

Cephedeki pencere/duvar alanı oranı değişiminin toplam yıllık enerji tüketimine olan etkisi, ısıtma ve soğutma amaçlı enerji tüketimlerinden farklıdır. Toplam enerji tüketiminde Doğu cephesi en etkin cephe. Bu cephede pencere/duvar alanı oranının %10 olması durumunda yıllık toplam enerji gereksinimi yak-

laşık 115700 kWh iken, %60'a artırılması durumunda enerji tüketimi %6,5 artarak 123759 kWh'a yükselmektedir. Güney, Kuzey ve Batı cephelerindeki pencere/duvar alanı oranının %10'dan %60'a artırılması durumunda toplam enerji tüketimi sırası ile %3,2, %0,6 ve %4,9 oranında artmaktadır (Şekil 8). Buradan da anlaşıldığı üzere etkinlik açısından cepheler Doğu, Batı, Güney ve Kuzey olarak sıralanmaktadır. Doğu cephesi sabah erken saatlerde ve batı cephesi ise akşam saatlerinde yüksek güneş ışınımına maruz kalmaktadır. Bu durum söz konusu cephelerin hassasiyetini artırmaktadır.

Çift cam uygulamasının low-e kaplamalı cam ile değiştirilmesi durumunda cephelerdeki pencere/duvar alanı oranının enerji tüketimine olan etkisi azalmaktadır. Çift cam kullanıldığında Doğu, Batı ve Güney cephedeki pencere/duvar alanı oranının %10'dan %60'a yükseltilmesiyle toplam enerji tüketimi %6,5, %4,9 ve %3,2 oranında artarken, low-e kaplamalı cam kullanılması durumunda bu oranlar sırasıyla azalarak %4,5, %3,2 ve %0,2'ye ulaşmaktadır. Low-e kaplamalı cam kullanılması durumunda Kuzey cephede pencere/duvar alanı oranının %10'dan %60'a artırılması ile toplam enerji tüketimi %1,7 azalmaktadır. Bunun nedeni ise mevcut yapının dış duvar U-değerinin (2,7 W/m²K) low-e kaplamalı cama (1,7 W/m²K) göre daha yüksek olmasıdır.

Cam tipinin toplam enerji tüketimi üzerindeki etkisi değerlendirildiğinde, seçilen low-e kaplamalı camın özelliklerine bağlı olarak soğutma yükünde azalmanın olduğu dikkat çeker (Şekil 9). Sadece çift cam yerine low-e kaplamalı cam kullanımı ile güney cephe-



Şekil 9. Çift cam ve low-e kaplamalı cam uygulamasının toplam enerji tüketimine etkisi.

de pencere/duvar alanı oranı %10 olduğunda toplam enerji tüketiminden %1,8 tasarruf sağlanabilir. Pencere/duvar alanı oranı %60 olduğunda ise tasarruf oranı %4,7'ye yükselmektedir.

Sonuç

Bu çalışmada, incelenen binanın özelliklerine bağlı olarak, yıllık ısıtma, soğutma amaçlı enerji gereksinimi EnergyPlus programı kullanılarak hesaplanmıştır. Bina'nın farklı yönlerdeki cephelerinde pencere/duvar alanı oranı %10 - %60 arasında kademeli olarak artırılarak, cephelerdeki pencere/duvar alanı oranının bina'nın kış ve yaz dönemlerindeki enerji performansına etkisi incelenmiştir. Böylece cephelerin yönlere bağlı olarak enerji tüketimi üzerindeki etkinliği belirlenerek erken mimari tasarım aşamasında veya mevcut binaların enerji etkin yenilenmesinde karar sürecinin desteklenmesi amaçlanmaktadır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Kış döneminde pencerelerde çift cam kullanıldığında cephelerin yönlere göre etkinliği en yüksek değer Güney olmak üzere, Kuzey, Batı ve Doğu şeklinde sıralanmaktadır. Örneğin sadece güney cephedeki pencere/duvar alanı oranının %10'dan %60'a çıkarılması ile ısıtma amaçlı enerjiden %30 düzeyinde tasarruf sağlamak olanaklıdır.
- Soğutma amaçlı enerji tüketiminde cephelerin yönlerine bağlı enerji etkinlik değerleri Güney, Doğu, Batı ve Kuzey şeklindedir. Her yöndeki pencere/duvar alanı oranındaki artış binanın soğutma yükünü arttırmaktadır. Soğutma açısından en kritik yön güney cephe iken ez az etkili olan yön ise kuzey cephedir; çünkü kuzey cepheye gelen güneş ışınımı miktarı diğer cephelerle kıyaslandığında daha azdır.
- Toplam enerji yükü açısından cephelerin enerji etkinlik sıralaması Doğu, Batı, Güney ve Kuzey olarak saptanmıştır.
- Çift cam yerine low-e kaplamalı camların kullanı-

mıyla cephelerdeki pencere/duvar alanı oranlarının değişimi enerji tüketimini daha az etkilemektedir. Yani toplam enerji tüketimi açısından değerlendirildiğinde, çift cam kullanımı ile Doğu, Batı ve Güney cephedeki cam oranının %10'dan %60'a yükseltilmesiyle toplam enerji tüketimi %6,5, %4,9 ve %3,2 oranında artarken, low-e kaplamalı cam kullanılmasıyla bu oran azalarak sırasıyla %4,5, %3,2 ve %0,3 düzeylerine inmektedir. Kısacası, low-e kaplamalı cam kullanılması durumunda cephelerdeki pencere/duvar alanı oranının artırılması, enerji tüketimi olumsuz yönde daha az etkilemektedir.

- İklim koşullarına özgü pencere seçimi yaparken ısı geçiş katsayısı (U-değeri) ve SHGC değeri dikkate alınmalıdır.

Kaynaklar

1. Bojic, M., Yik, F., (2007), "Application of advanced glazing to high-rise residential buildings in Hong Kong", Building and Environment, Sayı 42, s. 820-8.
2. Kontoleon, KJ., Bikas, D.K., (2002), "Modeling the influence of glazed openings percentage and type of glazing on the thermal zone behavior", Energy and Buildings, Sayı 34, s. 389-399.
3. Singh, MC., Garg, SN., Jha, R., (2008), "Different glazing systems and their impact on human thermal comfort-Indian scenario", Building and Environment, Sayı 43, s. 1596-602.
4. Bektaş, B., Aksoy, TU., (2005), "Soğuk iklimlerdeki binalarda pencere sistemlerinin enerji performansı" Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi, Sayı 17 (3), s. 499-508.
5. İzmir Adnan Menderes Havaalanı Meteoroloji İstasyonu.
6. TS 825 Binalarda ısı yalıtımı yönetmeliği, Resmi Gazete [27019], 9 Ekim 2008.
7. EnergyPlus 3.1.0, <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/> [Erişim tarihi: 9 Temmuz 2009].
8. EnergyPlus 3.1.0 programı malzeme kütüphanesi.
9. Judkoff, R., Neymark, J., (1995), International Energy Agency Building Energy Simulation Test (BESTEST) and Diagnostic Method, USA, National Renewable Energy Laboratory.