

Türkiye’de farklı iklim bölgelerindeki konut birimleri için enerji ve maliyet etkin pencere seçim modeli – HiPerWin

Aslıhan TAVİL*, Hakan YAMAN, İkbal ÇETİNER, Kevser COŞKUN

İTÜ Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 34437, Taşkışla, Taksim, İstanbul

Özet

Bu çalışmada, Türkiye’de ılımlı-nemli, ılımlı-kuru ve sıcak-nemli iklim bölgelerindeki konut binaları için enerji etkin ve uygun maliyetli pencere sistemlerinin seçimine yardımcı olacak dinamik bir modelin alt yapısı anlatılmakta ve modelin işleyişine ilişkin değerlendirmeler sunulmaktadır. Modelin ana amacı, konut binalarının kullanıcıları, tasarımcıları ve yüklenicilerinin pencere ürünlerinin enerji ve maliyet performans değerlendirmeleri ışığında uygun pencere seçimi yapmalarını sağlamaktır. Bu amaca yönelik olarak konut binaları ile ilgili kullanıcı gereksinimleri, sınırlamalar ve yönetmeliklere göre farklı konut binaları tasarlanarak Türkiye’deki konut binalarını temsil eden bir konut tipolojisi oluşturulmuştur. Konut binalarında pencerenin enerji ve maliyet performansını etkileyen parametreler, iklimsel özellikler, pencere alanı, yön, güneş kontrol araçları, farklı özelliklere sahip çift cam üniteleri ve bina tipleri olarak belirlenmiştir. Öngörülen parametrelerin kombinasyonu ile oluşturulan seçeneklerin yıllık ısıtma ve soğutma enerjileri ile yaşam dönemi maliyetleri hesaplanmıştır. Çalışmada değerlendirilen binalar, parametreler, pencere özelliklerine ilişkin veriler ile parametrik çalışma sonucunda belirlenen yıllık ısıtma ve soğutma enerji tüketimleri ile maliyet sonuçları bir veritabanına kaydedilmiş ve sorgular yardımıyla birbirleriyle ilişkilendirilmiştir. Geliştirilen bir ara yüz yardımıyla kullanıcılar veritabanından kendi binalarına ilişkin dış çevre ve yapma çevre verilerini tanımlayabilmektedir. Sonuç olarak, pencere seçim modeli (HiPerWin) yardımıyla belirli bir duruma ilişkin iklimsel özellikler, konut birimi, saydamlık oranı, güneş kontrol aracı gibi özellikler tanımlanabilmekte; söz konusu durum için geçerli pencere seçeneklerinin enerji etkinliği ve yaşam dönemi maliyetleri karşılaştırılarak, maliyeti en düşük ve enerji etkinliği en yüksek olan pencereler belirlenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Konut binaları, pencere sistemleri, ısıtma/soğutma enerjisi kullanımı, maliyet etkinlik, parametrik çalışma, ilişkisel veritabanı.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Aslıhan TAVİL. tavil@itu.edu.tr; Tel: (212) 293 13 00 dahili:2356.

Bu makale İTÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenen “Türkiye’de farklı iklim bölgelerindeki konut birimleri için enerji ve maliyet etkin pencere seçim modeli” başlıklı araştırma projesinden hazırlanmıştır. Makale metni 29.09.2009 tarihinde dergiye ulaştırılmış, 07.01.2010 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.08.2010 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Energy and cost efficient window selection model for residential buildings in different climatic regions of Turkey

Extended abstract

Windows are the most complex and interesting elements in residential design and owners are often confused about how to decide the most efficient window for their residence since there are many complex issues that are difficult to balance. Understanding the energy and associated cost implications of different window systems will help the users, owners or contractors to make the best decision for their particular case, whether it is a new building or a window replacement. However up-to-date, reliable and accurate, time and cost data can be provided from various sources such as manufacturers, contractors, and research institutions, time and cost data regarding the residential window systems are not well-organised in Turkey.

A research project was completed to develop a dynamic model to select energy and cost efficient windows for residential buildings, namely "Energy and cost efficient window selection model for residential buildings in different climatic regions of Turkey - HiPerWin". The challenge was to attain a basic source which supports the user to provide the energy and cost data required for the decision making in the selection of the residential window systems. The ultimate objective of the research project was to develop a Relational Database Management System (RDBMS) which incorporated the whole data and processed data into information regarding the window systems and helped the comparison of the alternatives. Hence query parameters were presented for helping the users to define the built environment and housing unit characteristics of their own case to find out the appropriate window alternatives by comparing the total annual heating/cooling energy consumption and associated capital and ownership costs.

In the context of the research project, the alternatives of the Insulated Glazing Units (IGU) with different optical and physical properties were generated. The performance values which demonstrate the insulation and solar control capabilities of the IGU's were calculated by using Window5 software. In accordance with having many parameters such as climate, building type, orientation, window area,

shading devices and window components, a comprehensive parametric study was conducted for providing the energy use and associated cost data of each case by using a powerful whole building simulation tool EnergyPlus. The analysis was performed for the biggest cities; Ankara, Istanbul and Izmir having the highest degree of mass housing potential and representing temperate-arid, temperate-humid and hot-humid climates, respectively. Standard representations of buildings (i.e. building model) required for simulations, involving geometrical and semantic properties were stored in the HiPerWin data base and with the help of the query parameters which were associated with the entire data of the building model a particular case can be defined. The present value of future cost of window systems was calculated by using the factors and indices, both operational energy costs calculated from the energy simulations and the capital and operating unit costs of window systems. The capital unit cost includes purchase, installation and finance costs, while operating unit cost includes ownership, maintenance and energy consumption costs and salvage value if applicable.

Lastly, window selection model which uses the building model, the energy data provided by the simulation results and the cost information calculated using the energy and related data was developed. The RDBMS and query parameters allow users to define their particular cases and compare the energy and cost performances of appropriate window systems in consideration. The HiPerWin model provides the user to select the most energy and cost efficient window system for their own case by considering the issues which have influence on the residential window performance.

The results of the research project is critically important for the purposes of satisfying the requirement of comparative information pertaining to heating/cooling and total energy consumption and particularly present value cost data of window systems in Turkey. Making the energy and cost efficient window system selection prevalent will contribute to the national economy by enabling the usage of the limited resources which supports the sustainable design on country base.

Keywords: Residential buildings, window systems, heating/cooling energy use, cost efficiency, parametric study, relational database.

Giriş

Pencereler, fiziksel özelliklerinin binanın enerji dengesine ve konfor koşullarına etkileri açısından dış duvar sisteminin kuşkusuz en karmaşık ve en ilginç bileşenidir. Günümüzde yüksek performanslı pencereler, kullanıcı konforunu artırırken, ısıtma ve soğutma yüklerini azaltarak yıllık enerji tüketim maliyetlerinde önemli düşüşler sağlamaktadır. Son yıllarda pencere teknolojilerinde gerçekleşen gelişmeler, konut ve ofis binaları için yeni pencere seçenekleri sunmaktadır (Carmody vd., 2000). Ancak pencere seçeneklerinin farklı özellikleri nedeniyle ısıtma, soğutma ve aydınlatma performansları açısından birbirleri ile çelişen ilişkiler içermesi, kullanıcıların ve tasarımcıların belirli bina tipleri ve iklim bölgeleri için uygun pencere seçimlerini zorlaştırmaktadır. Pencerelerin bina tipi ve iklim bölgesinin özelliklerine uygun olmaması, iç ortam konfor koşullarını etkilemesinin yanında ısıtma, soğutma ve aydınlatma için gerekli enerji kullanımlarını da artırarak maliyet açısından uygun olmayan sonuçlara neden olmaktadır. Bu nedenle, ülkemizde farklı iklim bölgelerindeki konut binaları için uygun pencere seçimini sağlayabilmek amacıyla, İstanbul Teknik Üniversitesi tarafından desteklenen “Türkiye’de farklı iklim bölgelerindeki konut birimleri için enerji ve maliyet etkin pencere seçim modeli” başlıklı bir araştırma projesi yürütülmüştür. Farklı pencere tiplerinin, farklı iklim bölgelerinde, belirli dış ve yapma çevre koşullarına bağlı olarak ısıtma/soğutma enerjisi kullanımı ve maliyet ilişkilerinin anlaşılması, tasarımcı, yapımcı ve kullanıcıların belirli bina tipleri için uygun pencere seçiminde karar vermelerine yardımcı olacaktır. Bu makalede, sözü edilen araştırma projesi ve pencere seçim modeli tanımlanarak, elde edilen bazı sonuçlar verilmektedir.

Pencere performansını etkileyen faktörlerin karmaşık ilişkiler içermesi nedeniyle, çalışma kapsamındaki tüm işlevler/eylemler, girdiler/çıktılar, işlevleri kontrol eden iç/dış mekanizmalar, kontrol araçları ve eylemler arasındaki tüm ilişkiler IDEF0 (Integrated Definition For Function Modeling – İşlev Modellemede Bütünlük Tanımlama) yöntemi kullanılarak açıklanmıştır (Tavil vd., 2006; 2007).

Araştırma projesi kapsamında öncelikle piyasa verileri kullanılarak konut binaları için uygun, farklı optik ve fiziksel özelliklere sahip Yalıtımlı Cam Ünite (YCU) seçenekleri oluşturulmuştur. YCU’lerin ısı yalıtımı ve güneş kontrol özelliklerini gösteren performans değerleri Window5 yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır. YCU seçeneklerinin farklı konut binaları için enerji etkinliklerinin ve maliyet performanslarının değerlendirilmesi amacıyla kapsamlı bir parametrik çalışma yürütülmüştür. Parametrik çalışmada güçlü ve çok yönlü bir simülasyon aracı olan, ve güncel teknolojilerin modellenmesine olanak sağlayan EnergyPlus yazılımı kullanılarak enerji hesaplamaları yapılmıştır (Anon, 2005).

Simülasyonlar için oluşturulan bina modeline ve parametrik çalışmaya ilişkin tüm veriler, enerji simülasyon sonuçları ile birlikte, daha sonra uygun pencere sistemi seçim modelinde kullanılmak üzere HiPerWin veritabanında saklanmaktadır. Enerji simülasyonlarından elde edilen veriler ve maliyete ilişkin enformasyon yardımıyla pencere sistem seçeneklerinin yaşam dönemine ilişkin maliyetlerin Güncel Değerleri (GD) hesaplanmıştır. Elde edilen enerji ve maliyet verilerine ilişkin sonuçlar kullanılarak, çalışmada kabul edilmiş parametrelerin pencere sistemlerinin performanslarına etkileri irdelenmiştir. Son olarak, veritabanında saklanan bina modeline, parametrik çalışmaya, enerji kullanımı ve yaşam dönemi maliyetine ilişkin enformasyonun kullanıldığı pencere seçim modeli oluşturulmuştur. Pencere bileşenleri, bina işletim istemi, enerji verileri, maliyet hesapları ve sürece ilişkin tüm enformasyonu kapsayan HiPerWin ilişkisel veri tabanı yönetim sisteminin (RDBMS) kullanımı ve sorgu parametreleri yardımı ile pencere sistem seçenekleri karşılaştırılabilmektedir. Modelde iklimsel bölge, konut tipi ve pencereye ilişkin özellikler, sorgu parametreleri yardımıyla kullanıcı tarafından tanımlanmaktadır. Sorgu parametreleri ile tanımlanan duruma ilişkin ısıtma/soğutma enerji tüketimleri ile yıllık toplam enerji, ilk yatırım ve yaşam dönemi maliyetleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilebilmekte ve söz konusu durum için en uygun pencere seçilebilmektedir.

Metodoloji

Farklı iklim bölgelerindeki konut binaları için enerji ve maliyet etkin pencere seçimini sağlayacak bir model oluşturma amacına yönelik olarak, çalışma kapsamında enerji simülasyonu için bina modelinin oluşturulması ve yaşam dönemi maliyetlerinin hesaplanmasına ilişkin süreç aşağıda açıklanmıştır.

Enerji simülasyonu için bina modelinin oluşturulması

Enerji simülasyonlarının gerçekleştirilebilmesi için oluşturulan bina modelinin belirli sınırlamalara, yönetmelik ve standartlara bağlı olarak tanımlanan koşullar, senaryolar ve kabullere ilişkin özellikler aşağıda açıklanmıştır.

Dış çevreye ilişkin özellikler- Pencerelerin binanın enerji kullanımına olan etkileri iklimsel farklılıklara bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Araştırma kapsamında, Türkiye'nin nüfus ve konut stoku açısından en büyük üç şehri olan Ankara, İstanbul ve İzmir illerinde bulunan konut pencereleri değerlendirmeye alınmıştır. İzmir sıcak-nemli, İstanbul ılımlı-nemli ve Ankara ise ılımlı-kuru iklim bölgelerini temsil etmektedir. Dış iklimsel faktörlere ilişkin veriler "International Weather for Energy Calculations (IWEC)" dosyalarından alınmış ve hesaplarda "Tipik Meteorolojik Yıl (TMY)" dosyası kullanılmıştır. Söz konusu veriler U.S. National Climatic Data Center'da arşivlenmiş 18 yıllık DATSAV3 saatlik iklim verilerinden elde edilmiştir (Anon, 2001).

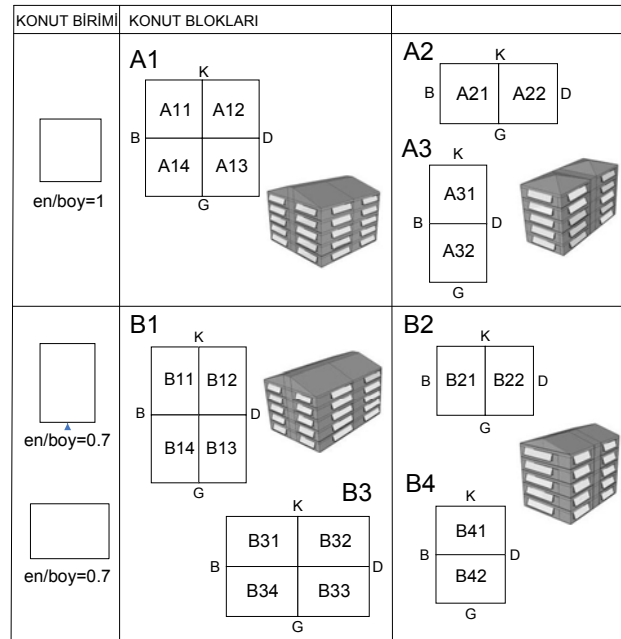
Yapma çevreye ilişkin özellikler- Yapma çevrenin belirlenmesi; konut istatistikleri, yönetmelikler, imar durumu, sınırlamalar ve kullanıcı gereksinimlerine bağlı olarak konut birimlerinin, konut bloklarının ve bina yerleşiminin tanımlanması alt süreçlerinden oluşmaktadır. Buna göre yapma çevrenin oluşturulması aşamasında verilen temel kararlar aşağıda özetlenmiştir:

Konut birimine ilişkin verilen temel kararlar: Konut alanı: $100m^2$. Kullanıcı sayısı: 4. Konut kullanım şekli: *gün içinde belirli zamanlarda*. Isıtma/soğutma sistemi: *bireysel*. Konut birimi biçim faktörü (BF): 1 ve 0.7. Saydamlık oranı

(SO): 0.15, 0.30, 0.45. Güneş kontrol araçları: *panjur, perde*.

Konut bloğuna ilişkin verilen temel kararlar: Kat sayısı: 5. Bir katta yer alan konut birimi sayısı: 2 ve 4. Blok biçimi: *kare ve dikdörtgen*. Taşıyıcı sistem: *betonarme iskelet*. Yapım tekniği: *yerinde yapım* (Anon, 2003; Anon, 2007). Konut bloklarının boyutları, imar yönetmeliklerine uygun ve kabul edilmiş sınır değerleri geçmeyecek şekilde belirlenmiş, cepheleri farklı yönlere bakan 20 farklı konut birimi oluşturulmuştur (Şekil 1).

Bina yerleşimine ilişkin verilen temel kararlar: Konut bloklarının şehir ölçeğinde imar yönetmeliklerine uygun olarak tasarlanmaları gereğine bağlı olarak bina aralıkları ve yol genişlikleri: 15m.



Şekil 1. Konut birimleri ve konut blokları

Konut biriminin yapısal özellikleri: Konut binalarındaki opak yapı elemanları (dış duvar, zemine oturan döşeme, çatı) dıştan 5cm *extrüde polistren* ($U=0.5569W/m^2K$) ısı yalıtım malzemesi ile yalıtılmıştır. Konut binalarının, opak yapı elemanlarının, pencere sistemlerinin (yalıtımlı cam üniteleri, doğrama sistemi), iç ve dış güneş kontrol araçlarının geometrik ve boyutsal

özellikleri ile yapısal ve fiziksel özellikleri, bina modelinde ayrıntılı olarak tanımlanmıştır. İç ve dış güneş kontrol araçlarının gün ve mevsimlere bağlı kontrolleri modellenmiştir.

Konut biriminin iç ortam özellikleri: Kullanıcı şeması: 4 kullanıcı gün içinde belli saatlerde konutta bulunmaktadır (Anon, 1993).

Kullanıcı aktivite düzeyi: 131.8W/kşi

Kullanıcı giysi tipi: 1clo (ısıtma dönemi), 0.5clo (soğutma dönemi)

İç ortam hava hızı: 0.137m/sn

Kontrolsüz hava sızması: 0.01m³/s.

Doğal havalandırma: 0.02m³/sn.

Aydınlatma sistemi: Maksimum aydınlık düzeyi olarak 1000W ve aydınlatma aygıtları kullanıcının konutta bulunma durumuna uygun olarak çalıştırılmaktadır.

Güneş kontrol araçları: Tül perdeler ($t_{sol}=0.8$) sürekli kapalı; pencerede eğimli olarak konumlandırılan plastik panjurlar yazın kapalı, kışın ise açıktır.

Isıtma sistemi: Bireysel (kombine) doğalgazlı ısıtma sistemi, 8.00 – 23.00 saatlerinde 22°C, 24.00 – 7.00 saatlerinde 18°C iç ortam sıcaklık değerlerini sağlamaktadır.

Soğutma sistemi: Bireysel duvar tipi split klimalar, 08.00 – 18.00 saatlerinde 28°C, 18.00 – 24.00 saatlerinde 25°C ve 24.00 – 07.00 saatlerinde 28°C sıcaklık değerlerini sağlamaktadır.

Konut biriminin pencere sistem özellikleri: YCÜ’lerin ısıl iletkenlik (U değeri), güneş ısı kazanç katsayısı (SHGC) ve gün ışığı geçirgenlik (T_{vis}) değerleri, enerji performansları ile ilgili bilgi vermekte ve camlama seçenekleri arasında karşılaştırma yapılmasına olanak sağlamaktadır (Carmody, 2000). Çalışmada kullanılan YCÜ’lerin performans değerleri Window5 bilgisayar programı ile hesaplanmış ve (Mitchell vd., 2003) Tablo 1’ de verilmiştir. YCÜ’lerin performans değerleri, EnergyPlus yazılımında pencere sistemine ilişkin fiziksel özelliklerin tanımlanması aşamasında girdi olarak kullanılmaktadır.

Pencerelerde 60mm kalınlığında plastik doğramalar ($U=1.8 \text{ W/m}^2\text{K}$) modellenmiştir. EnergyPlus yazılımında doğramanın boyutsal

özelliklerinin (genişlik, dış/iç çıkıntı değerleri, iç eşik derinliği, iç pervaz derinliği vb.) ve güneş ışınım optik özelliklerinin (güneş geçirgenlik, gün ışığı geçirgenliği vb.) etkileri ayrıntılı olarak hesaplara katılabilmektedir.

Yaşam dönemi maliyet hesaplarının yapılması

Yaşam dönemi maliyeti inşaat sektöründe yapı veya yapı bileşeni seçeneklerinin, hem ilk yatırım hem de gelecekteki maliyetlerinin belirli bir dönem için değerlendirilmesine ilişkin bir teknik olarak anılmaktadır. Çalışmada bir nakit akışı çıkarılmakta ve bir indirgeme oranı kullanılarak, nakit akışının güncel değeri hesaplanmaktadır. Elde edilen güncel değer de yapı veya yapı elemanının yaşam dönemi maliyeti olarak adlandırılmaktadır (Ellingham ve Fawcett, 2006). Yaşam dönemi maliyeti tekniğinde seçenekler arasındaki karşılaştırmalar belirli bir zaman dilimi için yapılmaktadır. Çalışmada pencere sistemlerinin hizmet ömrü dikkate alınarak analiz periyodu 25 yıl olarak öngörülmüş ve herhangi bir yenileme maliyeti nakit akışına dâhil edilmemiştir. Pencere sistemlerinin indirgenmiş nakit akışı yöntemi kullanılarak ortak bir temele oturtulması gerekmektedir. İndirgenmiş nakit akışı yöntemi, analiz periyodu boyunca meydana gelecek farklı işlemleri hesaba katmak için faiz oranları ve enflasyonu bir arada ele almaktadır. Pencere sistemlerinin gelecekteki maliyetlerinin bugünkü değeri, özellikle işletmeden dolayı ortaya çıkan enerji maliyetleri ile ilişkili olanlar, faktör ve endeksler aracılığıyla hesaplanabilmektedir.

Pencere sistemlerinin yaşam dönemi maliyeti hesaplamalarında göz önüne alınan maliyet ve gelir türleri; sermaye, işletme ve finansman maliyetleri ile ikinci el satış gelirleri ve/veya hurda değeridir. Bu bağlamda, konut birimlerinde kullanılmakta olan pencere sistemlerinin satın alma ve işletme birim maliyetleri hesaplanmıştır. Sermaye maliyeti hesabında; PVC pencere profili, PVC pervaz, pencere aksamı (kanat aksamı, 3 adet menteşe ve ispanyolet), çift cam ünitesi, denizlik mermeri, silikon, köpük ve montaj işçiliği birim fiyatları kullanılmıştır. 3 farklı saydamlık oranına göre hesaplanan pencere siste-

Tablo 1. YCÜ'lerin performans değerleri

YCÜ Kod	Tanım	Özellik	Dış yüzey cam tipi	İç yüzey cam tipi	Ara dolgu (mm)	Isı geçirgenlik katsayısı ($U_{kış}$)	Görünür geçirgenlik (T_{vis})	Güneş ışınım kazanç katsayısı (SHGC)		
A	P1	Kaplamasız	Berrak çift cam	Berrak	Berrak	12	hava	2.800	0.779	0.710
	P2			kaplamasız	kaplamasız	16	hava	2.695	0.779	0.711
	P3			10000	10000	12	argon	2.636	0.779	0.711
	P4					16	argon	2.565	0.779	0.711
B	P13	Isı kontrol	Renksiz üzeri	Berrak	Renksiz üzeri	12	hava	1.622	0.788	0.567
	P14	kaplamalı	Low-E+	kaplamasız	Low-E+	16	hava	1.452	0.788	0.566
	P15		($e3=0.04$)	10000	10002	12	argon	1.269	0.788	0.566
	P16					16	argon	1.187	0.788	0.565
C	P17	Isı kontrol	Renksiz üzeri	Renksiz üzeri	Berrak	12	hava	1.642	0.788	0.573
	P18	kaplamalı	Low-E+	Low-E+	kaplamasız	16	hava	1.472	0.788	0.574
	P19		($e2=0.04$)	10006	10000	12	argon	1.292	0.788	0.574
	P20					16	argon	1.210	0.788	0.574
D	P25	Isı ve güneş kontrol	Renksiz üzeri		Berrak	12	hava	1.615	0.696	0.413
	P26		SSLow-E	SSLow-E+	kaplamasız	16	hava	1.445	0.696	0.410
	P27	kaplamalı		10004	10000	12	argon	1.260	0.696	0.409
	P28					16	argon	1.178	0.696	0.406
E	P29	ısı ve güneş kontrol	Renksiz üzeri		Renksiz üzeri	12	hava	1.572	0.705	0.358
	P30		SSLow-E	SSLow-E+	Low-E+	16	hava	1.400	0.705	0.407
	P31	kaplamalı	($e2=0.04$)+ LowE	10004	10002	12	argon	1.208	0.705	0.352
	P32		($e3=0.04$)			16	argon	1.128	0.705	0.309

minde kullanılmakta olan malzeme metrajları ile, yüklenici firmalardan elde edilen birim fiyatlar çarpılarak, söz konusu kalem için toplam tutar hesaplanmıştır. Yüklenici kârı ve tüm vergiler fiyatlara dâhil edilmiştir. Yüklenici firmalar tarafından pencere projelendirmesi için ayrı bir fiyat talep edilmemiştir. Pencerenin peşin satın alınması durumuna göre fiyat hesabı yapılmıştır. Pencere sistemlerinde kullanılmakta olan malzeme ve montaj işçiliğine ilişkin birim fiyatlar, Türkiye'de faaliyet göstermekte olan ve piyasa payı en yüksek olan 4 ayrı firmadan alınan tekliflerden elde edilen fiyatların ortalaması alınarak hesaplanmıştır.

Değerlendirme

Yukarıda tanımlanan bina modeline göre EnergyPlus yazılımı ile gerçekleştirilen parametrik çalışma sonucu, Yıllık Toplam Enerji tüketim (YTE) verileri ve bu değerlere bağlı olarak Güncel Değerler (GD) hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara dayanarak aşağıda yer verilen değerlendirmeler yapılmıştır.

Yıllık toplam enerji tüketimi (YTE)

Konut birimlerinde gerçekleşen yıllık toplam ısıtma/soğutma enerji tüketiminin (YTE), yalıtımlı cam ünitelerine (YCÜ) göre değişimi; İstanbul'da doğu, batı, güneye yönelmiş, ara kat yer alan Şekil 1'de tanımlanan A32 konut biriminde değerlendirilmiştir. YCÜ'lerin yıllık enerji gereksinmelerine yönelik performansları farklı saydamlık oranlarına göre araştırılmış ve güneş kontrol araçlarının etkileri irdelenmiştir. Simülasyonlar sonunda hesaplanan ve bu çalışma kapsamında değerlendirmeye alınan panjurlu ve panjursuz YCÜ'lerin yıllık toplam enerji kullanımı (YTE) Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Yıllık toplam enerji kullanımı– kWh/m²

	SO	A	B	C	D	E
panjursuz	0.15	49.89	43.00	42.92	42.51	42.31
	0.30	59.63	48.85	48.52	45.65	44.76
	0.45	71.51	58.10	57.45	51.33	49.50
panjurlu	0.15	45.63	38.85	38.89	39.88	40.04
	0.30	49.94	38.41	38.41	39.63	39.79
	0.45	56.42	40.88	40.88	40.85	40.71

A: 6/12/6 mm kaplamasız berrak çift cam, B: 6/16/6 mm Low-E kaplamalı (kaplama 3. yüzeyde), C: 6/16/6 mm Low-E kaplamalı (kaplama 2. yüzeyde), D: 6/16/6 mm SSLow-E, E: 6/16/6 mm SSLow-E + Low-E, SO: Saydamlık oranı

Yıllık toplam enerji tüketimi en fazla hava dolgulu kaplamasız berrak çift cam üniteli (A) YCÜ’lerin kullanımıyla gerçekleşirken; argon dolgulu Low-E kaplamalı YCÜ’ler YTE tüketimini azaltmaktadır. Low-E kaplamalı (B, C) YCÜ’ler enerji tüketimini küçük, orta ve büyük alanlı pencerelerde sırasıyla %9-14, %13-19 ve %15-20; SSLow-E (D) ise %10-15, %17-23 ve %22-28 oranlarında azaltmaktadır. Ilımlı-nemli iklim bölgesinde hem ısıtma hem de soğutma amaçlı enerji gereksinimleri konutların toplam enerji performansını etkilemektedir. Isıtma döneminde ısı kayıplarını, soğutma döneminde güneş ısı kazançlarını azaltarak, en az enerji tüketimi sağlayan SSLow-E+Low-E (E) çift cam seçeneği; küçük, orta ve büyük alanlı pencerelerde YTE kullanımını sırasıyla %10-15, %18-25 ve %23-31 oranlarında azaltarak ısıtma ve soğutma dönemlerinde yüksek performans sağlamaktadır (Şekil 2). Yaz aylarında pencerelere panjur eklenmesiyle tüm seçeneklerin yıllık toplam enerji kullanımı azalmaktadır. Panjurlu seçenekler içinde enerji tüketimi en fazla olan seçenek, hava dolgulu kaplamasız berrak çift cam ünitesidir. Pencere alanının artması, panjurlu seçeneklerde kaplamalı YCÜ’lerin YTE tüketimini çok fazla değiştirmemektedir (Tablo 2). Kaplamasız (A) YCÜ’lere panjur eklenmesiyle, enerji kullanımında küçük, orta ve büyük alanlı pencereler için sırasıyla %10, %18, %23 oranında azalma gerçekleşirken, diğer kaplamalı YCÜ’lerde (B, C, D, E) %15-22, %25-36 ve %34-43 oranları arasında azalma görülmektedir. Low-E kaplamalı YCÜ’ler ısıtma enerjisini, SSLow-E kaplamalı YCÜ’ler ise soğutma enerjisini düşürerek toplam enerji kullanımında önemli azalmalar sağlamaktadır. Low-E ve SSLow-E kaplamalı YCÜ’lerin etkisi özellikle büyük alanlı pencerelerde görülmekte; Low-E kaplamalı YCÜ’lerde pencere alanının artmasıyla ısıtma enerji gereksiniminde artış olmaktadır (Şekil 3).

Güncel değer (GD)

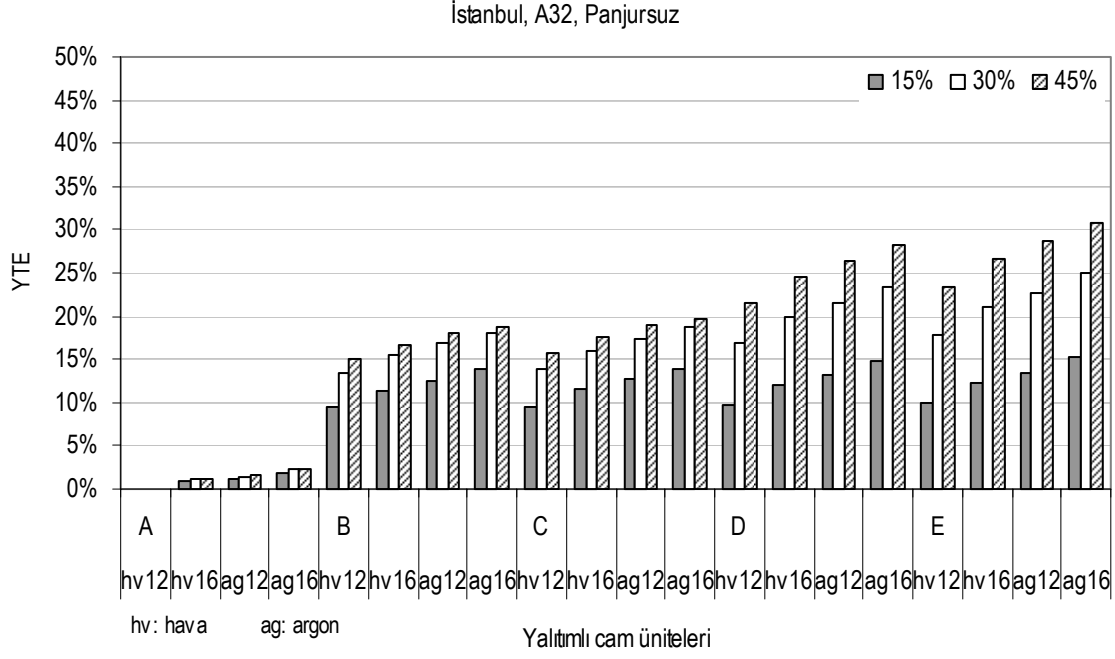
Pencere sistemlerinin maliyet etkinliklerinin karşılaştırılarak en uygun seçeneğin belirlenmesi için; pencere sisteminin ve pencere sistemini oluşturan bileşenlerin hizmet vermesi beklenen süreye bağlı değerlendirilmelerini öngören;

pencerelerin satın alma, montaj, ısıtma/soğutma işletme maliyetleri ile birlikte piyasalara ilişkin temel enformasyonu da hesaba katan, pencerelerin tüm yaşam dönemini içeren güncel değerlere göre değerlendirmeler yapılmıştır. İstanbul’da A32 konut biriminde değerlendirmeye alınan farklı büyüklüklerdeki panjurlu ve panjursuz pencere seçeneklerinin güncel maliyetleri Tablo 3’te verilmiştir.

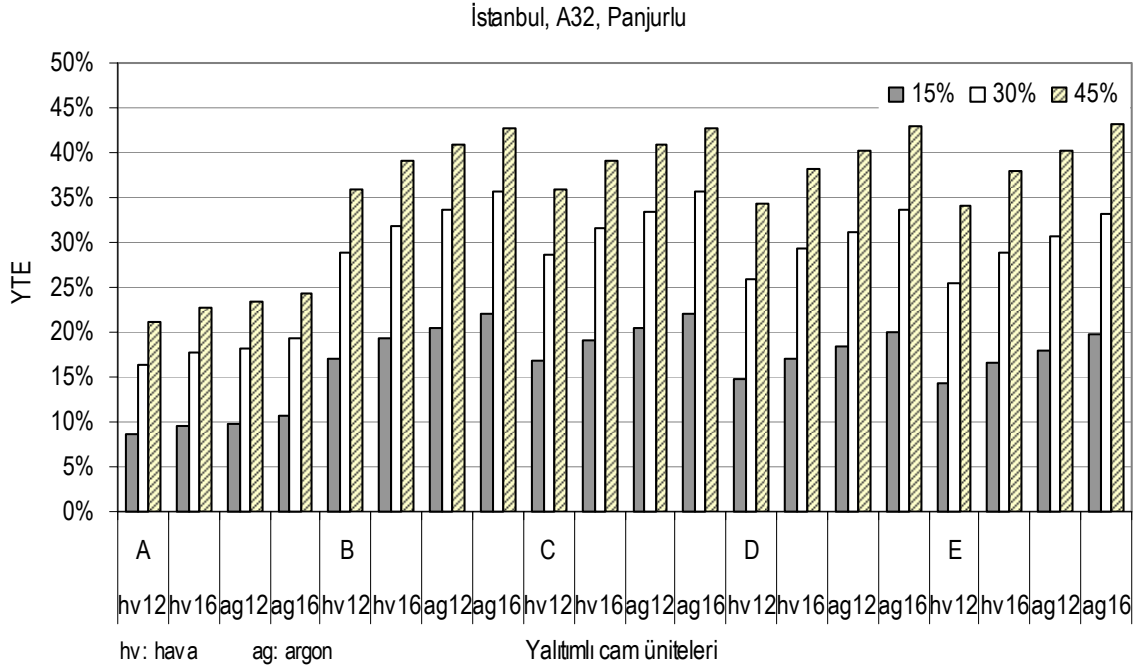
Değerlendirmeye alınan panjursuz seçenekler arasında, bütün saydamlık oranları için argon dolgulu SSLow-E+Low-E (E) seçeneği, güncel değeri en düşük olan seçenektir. Güncel değeri en yüksek olan YCÜ ise hava dolgulu kaplamasız berrak çift cam ünitesidir (A).

İlk yatırım maliyetleri diğer YCÜ’lere göre daha düşük olan kaplamasız YCÜ’lerin, işletme maliyetlerindeki artışa bağlı olarak güncel değerlerinin de daha yüksek olduğu görülmektedir. Low-E kaplamalı seçeneklerin (B, C), kaplamasız (A) hava dolgulu seçeneğe göre güncel değerleri %0-5 oranları arasında daha düşük; SSLow-E (D) ve SSLow-E+Low-E (E) seçeneklerinin ise %9-15 oranları arasında daha düşüktür. Panjur eklenmesiyle kaplamasız çift cam ünitelerinin güncel değerlerinde değişiklik olmazken, özellikle SSLow-E kaplamalı YCÜ’lerin güncel değerlerinde artış görülmektedir. Aynı zamanda Low-E kaplamalı YCÜ’lerin güncel maliyetlerinde bir miktar azalma gözlenmektedir. Panjursuz YCÜ’lere panjur ilavesi ile, güncel maliyetler farklı pencere büyüklükleri ve YCÜ türlerine göre %1 ile %10 oranları arasında artmaktadır. Ancak, panjurlu seçenekler panjursuz hava dolgulu kaplamasız çift cam ünitesi (A) ile karşılaştırıldığında, SSLow-E (D) ve SSLow-E+Low-E (E) seçeneklerinin güncel maliyetlerindeki azalma oranının yüksek olduğu görülmektedir. Panjurlu SSLow-E (D) ve SSLow-E+Low-E (E) seçeneklerinin güncel değerleri, panjursuz kaplamasız berrak camlı seçeneğe göre %3 ile %6 oranları arasında daha düşüktür (Tablo 3). Pencere büyüklükleri hem enerji kayıp ve kazançları açısından enerji tüketimini, hem de enerji tüketimine bağlı toplam ve ilk yatırım maliyetlerini doğrudan etkilemektedir. Özellikle büyük alanlı

A. Tavil ve diğerleri



Şekil 2. Panjursuz YCÜ'lerin 6/12/6mm hava dolgulu berrak çift cama göre toplam enerji kullanımında sağladığı azalma miktarı (%)



Şekil 3. Panjurlu YCÜ'lerin, panjursuz 6/12/6mm hava dolgulu berrak çift cama göre toplam enerji kullanımında sağladığı azalma miktarı (%)

pencerelerin panjur ilk yatırım maliyetlerinin GD üzerinde etkili olduğu anlaşılmaktadır. Bu nedenle, GD'nin azaltılması bağlamında, güneş

kontrolü sağlayan camların kullanıldığı durumlarda panjur eklenmesinin enerji ve maliyet açısından irdelenmesi gereklidir.

Tablo 3. Güncel değerler (TL/m²)

	SO	A	B	C	D	E
pan-jursuz	0.15	103.34	98.57	98.12	94.21	93.65
	0.30	142.34	138.01	136.79	125.51	123.61
	0.45	181.96	181.22	179.08	159.14	155.41
pan-jurlu	0.15	103.39	100.22	100.12	100.11	100.59
	0.30	142.25	136.60	136.38	135.96	136.90
	0.45	181.20	176.52	175.85	171.67	172.44

A: 6/12/6 mm hava dolgulu kaplamasız berrak çift cam

B: 6/16/6 mm argon Low-E kaplamalı (kaplama 3. yüzeyde)

C: 6/16/6 mm argon Low-E kaplamalı (kaplama 2. yüzeyde)

D: 6/16/6 mm argon SSLow-E

E: 6/16/6 mm argon SSLow-E + Low-E

SO: Saydamlık oranı

Farklı büyüklüklerdeki pencerelerin GD ve YTE kullanımları, cam ünitelerinin özelliklerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Saydamlık oranı 0.15, hava dolgulu berrak çift cam ünitesi (A) yerine Low-E kaplamalı (B, C) ve SSLow-E+Low-E kaplamalı (D, E) çift cam ünitelerinin kullanımı toplam enerji tüketiminde %13, güncel değerlerde de sırasıyla %5 ve %10 oranlarında azalma sağlamaktadır. Orta büyüklükteki pencerelerde (SO=0.30) Low-E (B, C) ve SSLow-E (D, E) kaplamalı YCÜ’ler toplam enerji kullanımında %17 ve %22 oranlarında azalma sağlamaktadır. Küçük alanlı camlara göre enerji tüketimindeki azalma oranı daha yüksek olmaktadır. Ancak güncel maliyetlerde çok büyük değişiklik olmamakta; Low-E kaplamalı (B, C) camlarla %4, SSLow-E kaplamalı (D, E) camlarla %13 oranında azalma sağlanmaktadır (Şekil 4).

Panjurun ilk yatırım maliyetinin fazla olması nedeniyle, panjurlu seçeneklerde hava dolgulu berrak çift cam ünitesi (A) yerine Low-E kaplamalı (B,C) ve SSLow-E+Low-E kaplamalı (D, E) YCÜ’lerin kullanılması ile tüm saydamlık oranları için güncel maliyetlerde yaklaşık %4 oranında azalma gerçekleşmektedir. Panjurlu seçeneklerde kaplamasız çift cam üniteleri yerine kaplamalı çift cam ünitelerinin kullanılması tüm saydamlık oranları için toplam enerji tüketiminde yaklaşık olarak sırasıyla %11, %18 ve %24 arası oranlarında azalma sağlamaktadır (Şekil 5).

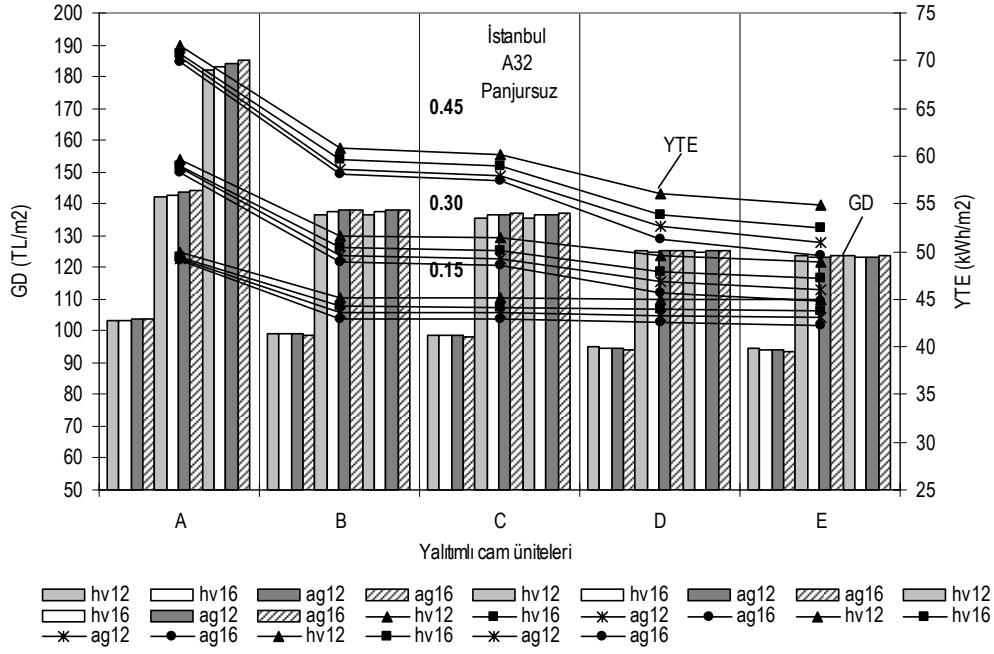
Pencere seçim modeli – HiPerWin

Araştırma kapsamında öngörülen kararların, önceden edinilmiş bilgi ve deneyimin, parametrik çalışmaya ve bina modeline ilişkin verilerin ve elde edilen enformasyonun saklanması, gerek duyulduğu anda ve formatta geri çağırılması, yeniden işlenmesi, kullanıcılardan elde edilen geri beslemeler ile gerekli düzeltmelerin yapılabilmesi ve mevcut pencere seçeneklerinin karşılaştırılabilmesi için dinamik bir model gerekmektedir. Temel hareket noktası, ortaya konmuş olan pencere seçeneklerine ilişkin olarak araştırma sonucunda elde edilmiş olan enerji tüketimi ve maliyet enformasyonunun kullanıcıya sunulması amacıyla ilişkisel bir veritabanının geliştirilmesidir. Kullanıcı, ilişkisel veritabanı aracılığı ile Türkiye’deki belirli iklim bölgeleri için, belirli bir binanın özelliklerine göre enerji ve maliyet etkin pencere sistemi seçebilmektedir. HiPerWin veri tabanı yönetim sisteminin (RDBMS) kullanımına ilişkin akış diyagramı Şekil 6’da verilmiştir. Buna göre, kullanıcı öncelikle bulunduğu iklim bölgesini seçerek, araştırma kapsamında öngörülen 20 konut birimini kapsayan konut tipolojisi içinden kendi konut birimini temsil eden seçeneği belirlemektedir.

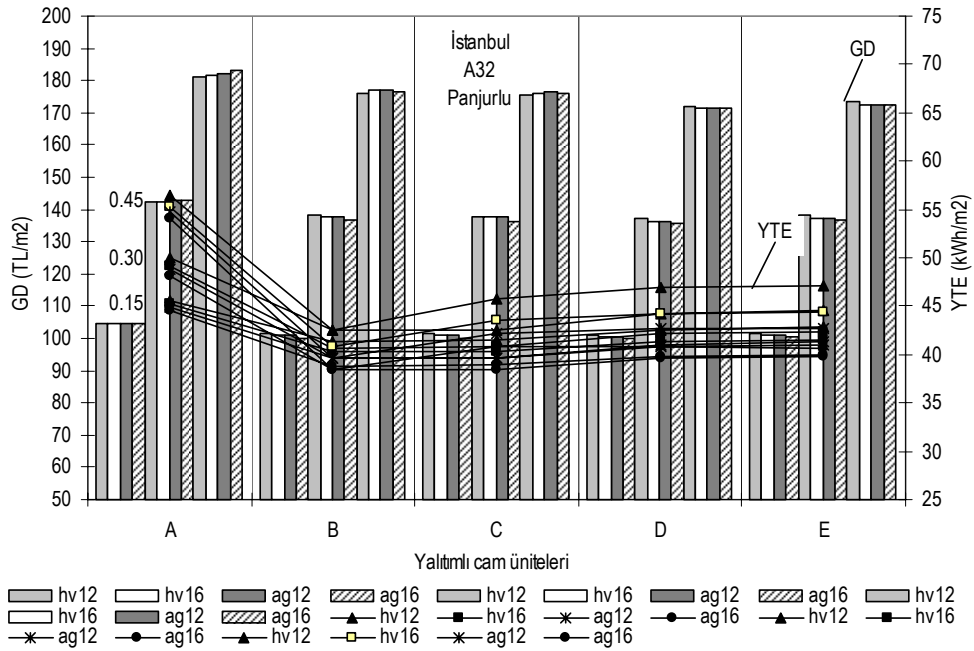
Daha sonraki adım ise, belirlenen konut biriminde bulunan pencere alanının tanımlanmasıdır. Veritabanı kapsamında belirlenmiş olan konut biriminin cephelerine ilişkin 0.15, 0.30 ve 0.45 saydamlık oranları, sırasıyla küçük, orta ve büyük pencere alanlarını temsil etmektedir. İklim bölgesi, konut birimi ve saydamlık oranı seçimi yapıldıktan sonra, belirlenen seçeneğe ilişkin enerji tüketimi (ısıtma enerjisi, soğutma enerjisi, toplam enerji) ve maliyet (ilk yatırım maliyeti, ısıtma maliyeti, soğutma maliyeti, toplam maliyet ve güncel değer) tabloları HiPerWin veritabanı ile oluşturulmaktadır.

Değerlendirmelerde, seçilen iklim bölgesi ılımlı-nemli iklim bölgesi ise, ısıtma ve soğutma enerjisi kullanımları önem kazanmaktadır. Bu nedenle, toplam enerji tüketimi ile güncel değerlere ilişkin tablolar kullanılmaktadır. Benzer

A. Tavil ve diğerleri



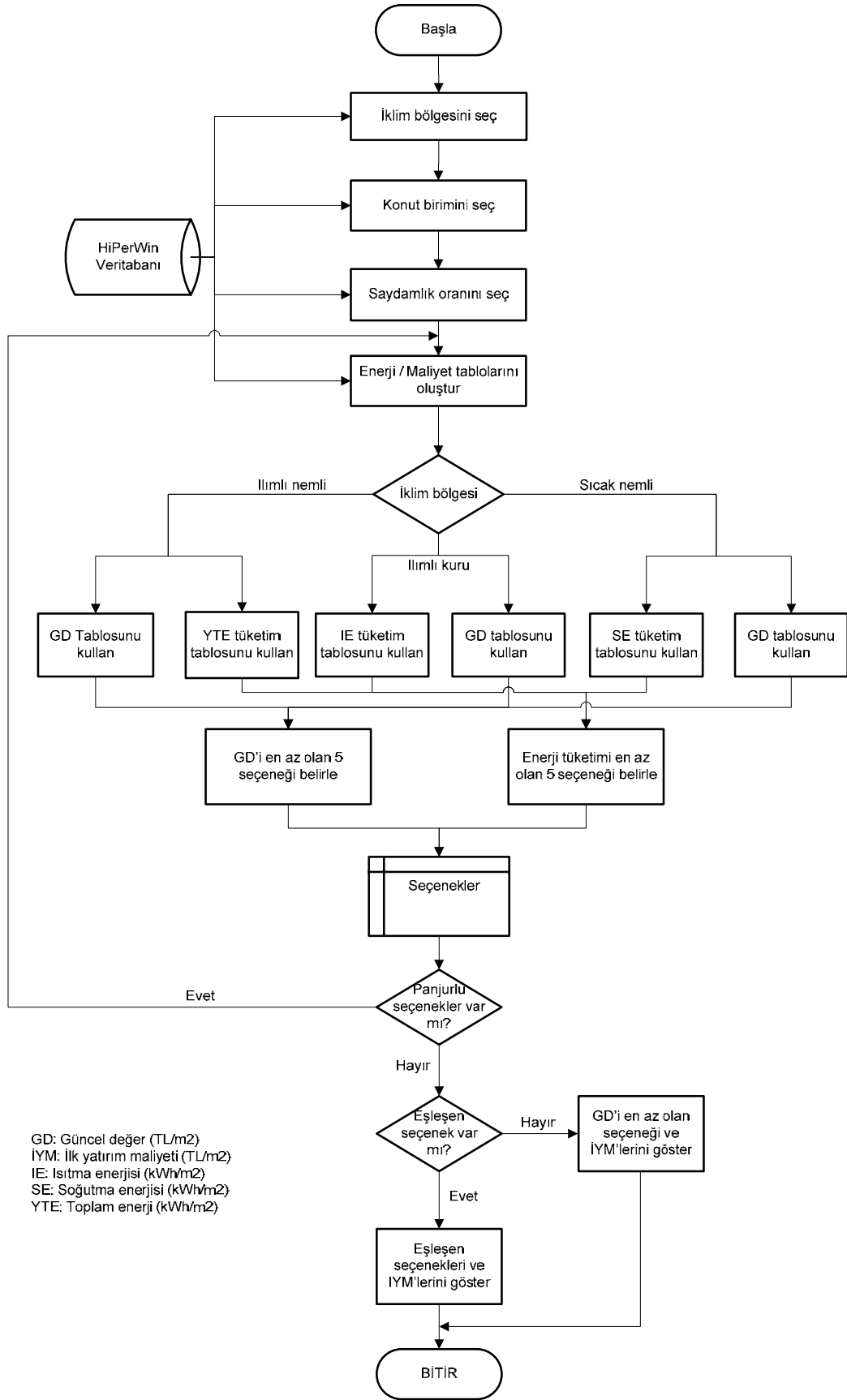
Şekil 4. Panjursuz pencere seçeneklerinin YTE kullanımı (kWh/m^2) ve GD (TL/m^2)



Şekil 5. Panjurlu pencere seçeneklerinin YTE kullanımı (kWh/m^2) ve GD (TL/m^2)

şekilde, ılımlı-kuru iklim bölgeleri için ısıtma enerjisi kullanımı ve güncel değer tabloları; sıcak nemli iklim bölgeleri için ise, soğutma enerjisi ve güncel değer tabloları kullanılmaktadır. Oluşturulan tablolar yardımıyla YTE ve GD' i en az olan 5 seçenek belirlenmektedir. Panjur kullanılması durumunda ise, panjurlu seçeneklere ilişkin enerji ve maliyet tabloları oluşturul-

maktadır. Konut biriminde en az enerji kullanımı ve güncel değere sahip 5'er seçenek arasında eşleşme olup olmadığına bakılmaktadır. Eğer eşleşen seçenekler var ise ve güncel değerleri aynı veya çok yakın ise, ilk yatırım maliyeti (İYM) en düşük olan seçenek, enerji ve maliyet açısından en etkin seçenek olarak belirlenmektedir. Buna göre, A32 konut biriminde



Şekil 6. HiPerWin - Enerji ve maliyet etkin pencere sistem seçim modeli

panjursuz seçenekler arasında eşleşen seçeneklerin GD ve İYM değerleri en düşük olan 16mm hava dolgulu SSLow-E (E); panjurlu seçenekler arasında da YTE ve İYM değerleri en düşük olan 16mm argon dolgulu Low-E (B) kaplamalı YCÜ'ler enerji ve maliyet etkin seçenekler olarak belirlenmiştir.

Sonuç

Türkiye'de farklı iklim bölgelerinde enerji etkin ve düşük maliyetli pencere seçimi için geliştirilen model kapsamında; 3 iklim bölgesi, 20 farklı konut birimi, 3 farklı pencere alanı, 42 yalıtımlı cam ünitesi, panjurlu ve panjursuz pencere sistemlerine ilişkin 15120 seçenek türetilmiştir. Parametrik çalışma sonucunda tüm seçeneklere ilişkin enerji verileri ve hesaplanan güncel maliyet verileri HiPerWin veritabanında saklanmakta ve veriler ile ilişkilendirilen sorgu parametreleri yardımıyla belirli bir durum tanımlanabilmektedir. Tanımlanan durum için belirlenen pencere seçeneklerinin yıllık ısıtma/soğutma ve toplam enerji kullanımları ile, ilk yatırım, işletme maliyetleri, güncel değerleri karşılaştırılarak en uygun pencere seçeneği belirlenebilmektedir. Araştırma sonuçları ülkemizde pencere seçeneklerinin ısıtma/soğutma ve toplam enerji tüketim ve ilk yatırım, işletme ve özellikle yaşam dönemi maliyet verilerine yönelik, karşılaştırmalı enformasyon eksikliğinin giderilmesi açısından önem taşımaktadır. Pencere seçeneklerinin enerji ve maliyet performanslarına ilişkin yapılan değerlendirmeler göstermiştir ki, iklimsel özellikler, bina tipolojisi, yönlenme, saydamlık oranı, güneş kontrol araçları pencere sistemlerinin enerji ve maliyet performansları üzerinde etkili olmaktadır.

Kaynaklar

- Carmody, J., Selkowitz, S., Arasteh, D. ve Heschong, L., (2000). *Residential windows – a guide to new technologies and energy performance*, W.W. Norton & Company, New York.
- Anon, (2005). *EnergyPlus version 2.1.03 help manual*, Lawrence Berkeley National Laboratory.
- Anon, (2001). *International Weather for Energy Calculations (IWEC Weather Files) users manual and CD-ROM*, Atlanta: ASHRAE.
- Anon, (2003). Bina inşaatı istatistikleri, T.C. Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsü, Ankara, Türkiye, Haziran 2005, 222 (ISBN: 975-19-3687-X).
- Anon, (2007). Türkiye istatistik yılı, Bölüm 14: Bina inşaatı, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), Ankara, Türkiye, Mayıs 2008, 211 (ISBN: 978-975-19-4238-8).
- Anon, (1993) *ASHRAE handbook of fundamentals ASHRAE*, Atlanta, USA.
- Mitchell, R., Kohler, C. ve Arasteh, D., (2003). *WINDOW 5.2 user manual for analyzing window thermal performance*, LBNL-44789, Lawrence Berkeley National Laboratory.
- Ellingham, I. ve Fawcett, W., (2006). *New generation whole-life costing: Property and construction decision-making under uncertainty*, Taylor & Francis, Londra.
- Tavil, A., Çetiner, İ., Yaman, H. ve Coşkun, K., (2007). Residential window selection model for different climates of Turkey, *Proceedings*, CIB World Building Congress, Construction for Development, Cape Town, South Africa, 950-963 (ISBN: 1-920-01704-6).
- Tavil A., Yaman H. ve Çetiner İ., (2006). Performance based window selection model for residential buildings, *Proceedings*, 23rd International Conference on Passive and Low Energy Architecture, in Compagnon, R., Haefeli, P. ve Weber, W., eds, Geneva, Switzerland, 2, 237-243.