



**Bu bir MMO
yayıdır**

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

KONUTLARIN FARKLI CAM VE DOĞRAMA ÖZELLİĞİNDEKİ PENCERELERE BAĞLI ISITMA VE SOĞUTMA ENERJİ GEREKSİNİMİ

**OKAN KON
HÜSEYİN BULGURCU
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ**

KONUTLARIN FARKLI CAM VE DOĞRAMA ÖZELLİĞİNDEKİ PENCERELERE BAĞLI ISITMA VE SOĞUTMA ENERJİ GEREKSİNİMİ

Okan KON
Hüseyin BULGURCU

ÖZET

Çalışmada, TS 825 'e göre 2. Bölgede bulunan Balıkesir ilindeki tek katlı üstü çatılı bir konut için; farklı cam ile doğrama özelliğindeki pencerelere bağlı ısıtma ve soğutma enerji gereksinimi hesaplanmıştır. Bunun için ilk olarak, 2. Bölgede 21 yıllık iklim verileri için günlük maksimum, minimum ve temel sıcaklık verilerine bağlı ısıtma ve soğutma derece-gün değerleri hesaplanmıştır. İkinci olarak, örnek bina için ısıtma ve soğutma yükleri göz önüne alınarak ısıtma+soğutma için dış duvar, çatı ve döşeme için farklı yalıtım malzemelerine göre optimum yalıtım kalınlıkları tespit edilmiştir. Üçüncü olarak, tek cam, kaplamalı cam, low-e'li ve konfor camları ile farklı doğramalı çok sayıdaki pencere türüne bağlı olarak örnek bina için ısıtma ve soğutma enerji gereksinimi ile yakıt tüketimi miktarları bulunmuştur. Ek olarak, pencerelerde panjur, perde, jaluzi kullanılmasıyla ısıtma ve soğutma enerji ihtiyacı ile yakıt tüketimi değişimi incelenmiştir. Son olarak, ısıtma ve soğutma döneminde en düşük ısı geçirgenlik katsayılı pencere ile en yüksek ısı geçirgenlik katsayılı pencere için yıllık enerji ve yakıt tasarrufu farkı hesaplanmıştır. Yakıt olarak ısıtma döneminde doğal gaz, soğutma döneminde elektrik kullanıldığı düşünülmüştür. Hesaplamalar derece-gün metodu göre yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Derece-gün hesabı, ısıtma+soğutma optimum yalıtım kalınlığı, binalarda enerji tüketimi, pencere özellikleri

ABSTRACT

In this study, heating and cooling energy requirements due to the structural feature of woodwork window and different glasses are calculated for a single storey roof-top housing in Balıkesir province where locates in the second region according to TS 825. Hence, initially daily maximum, minimum, and heating and cooling degree-days that depend on primary temperature data were calculated for twenty one year climate data in the second region. Second, optimum insulation thickness was determined according to different insulation materials for heating+cooling for the outer walls, roofs and floors considering heating and cooling loads of the building. Thirdly, energy consumption requirements and fuel consumption of the building for both heating and cooling were found depending on single glass, coated glass, low-e glass and comfort glass with different types of woodwork window. In addition, the change of energy demand and fuel consumption for heating and cooling were examined with the usage of curtains, blinds and jalouse. Finally, the difference of annual energy and fuel savings during the heating and cooling periods were calculated for the windows that have the lowest and the highest heat transmission coefficient. Fuel natural gas during the heating, and the electricity during the cooling period are considered to be used. Calculations are performed by degree-day basis.

Keywords: Degree-day calculation, heating+cooling optimum insulation thickness, energy consumption in buildings, window features

1.GİRİŞ

Özellikle bina tasarımı ve inşası sırasında uygun olmayan yapı malzemelerinin seçimi ve göz ardı edilen basit karar ve uygulamalar binanın kullanım ömrü süresince, hem konut sahiplerini hem de fazla enerji tüketimi ile çevreyi olumsuz yönde etkiler. Görevi iç hacimlerin yeterli ölçüde aydınlatılması ve iç ortam ile dış ortam arasındaki görsel bağı sağlamak olan ve bu yüzden de saydam bir eleman olması gereken pencereler yapı kabuğunda ısı kaybının en çok gerçekleştiği bileşenlerdir. Büyük ısı kayıplarına sebep olan bu yüzeyler güneşli kış günlerinde ışınlama ısı kazancı sağlamalarına karşı, kapalı kış günlerinde kazanç çok az olduğu için dışarıya olan ısı kayıpları nedeniyle toplamda binanın ısı ihtiyacının artmasına neden olurlar. Isıtma ihtiyacını belirleyen önemli bir parametre pencerelerde kullanılan cam türüdür. Tek satırlı cam yüzeylerin ısı iletim değeri duvarların yaklaşık 5 katı kadardır. Pencerelerden kaybedilen enerjinin % 70'i ışınlama, % 30'u ise iletimle gerçekleşmektedir. Low-e kaplamalar ısı kaçışının % 70'lik büyük bölümünü denetleyebildiği için ısı kontrolünde etkili olabilmektedir [1].

Yapının yer aldığı enlem, iklim kuşağı ve topografyaya bağlı olarak: bazen ısınmak için güneş ısını binanın içine alarak içte tutmak; bazen de sıcaktan korunmak için güneş ısını dışta tutmak gerekir. Çoğunlukla soğuk veya çoğunlukla sıcak iklimlerde bu konudaki seçim kolay olmakla birlikte Türkiye'nin de içinde yer aldığı iklim kuşağında hem yaz hem de kış koşulları geçerlidir. Böyle çok iklimli yerlerde değişken dış koşullara göre tavır değiştirebilen "akıllı camlar" bu yüzyılın bir döneminde fizibl hale gelene kadar, 12 aylık yıl ortalamasını optimumda dengeleyebilmek bilgi ve özen gerektirmektedir [2].

Çalışmada amaç, TS 825 'e göre 2. Bölgede bulunan Balıkesir ilindeki tek katlı üstü çatılı bir konut için; farklı cam ile doğrama özelliğindeki pencerelere bağlı ısıtma ve soğutma enerji gereksinimi hesaplamaktır. Bunun için, 2. Bölgede ısıtma döneminde 19.5 °C ve 22 °C temel sıcaklık için 21 yıllık dış ortam sıcaklıklarına bağlı ısıtma ve soğutma derece-gün değerleri hesaplanmıştır. Isıtma ve soğutma yükleri birlikte düşünülerek ısıtma+soğutma optimum yalıtım kalınlıkları, tavan için cam yünü, dış duvar için ekstrüde polistiren (XPS), döşeme için taş yünü yalıtım malzemelerine bağlı olarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda saatlik hava değişim oranı 1 olarak alınmıştır. Tek cam, kaplamalı cam, low-e'li camlar, konfor camı ile farklı doğrama çerçeveli pençelere bağlı olarak örnek bina için ısıtma ve soğutma enerji gereksinimi ile yakıt tüketimi miktarları bulunmuştur. Ek olarak, pencerelerde panjur, perde, jaluzi kullanılmasıyla ısıtma ve soğutma enerji gereksinimi ile yakıt tüketimi değişimi incelenmiştir. Isıtma ve soğutma döneminde en düşük ısı geçirgenlik katsayılı pencere ile en yüksek ısı geçirgenlik katsayılı pencere için yakıt tüketimi farkı hesaplanmıştır.

2.MATERYAL VE METOD

2.1 Derece-Gün Hesabı

TS 825'e göre 2. bölgede bulunan Balıkesir ili için derece gün hesabında 21 yıllık dış ortam hava sıcaklıkları kullanılmıştır. Günlük maksimum (t_{max}), günlük minimum (t_{min}) ve temel sıcaklık (t_b) kullanılarak aşağıda verilen hesaplama yöntemine göre ısıtma ve soğutma derece-gün değerleri tespit edilmiştir. 19.5 °C temel sıcaklık için ısıtma derece-gün değeri 2312 ve 22 °C temel sıcaklık için soğutma derece-gün değeri 369 olarak bulunmuştur [3]. Isıtma derece-gün değeri;

$$\text{Eğer } t_{max} > t_b, t_{min} < t_b \text{ ve } (t_{max} - t_b) < (t_b - t_{min}) \text{ ise } IDG_{gün} = 0.5(t_b - t_{min}) - 0.25(t_{max} - t_b) \quad (1)$$

$$\text{Eğer } t_{max} > t_b, t_{min} < t_b \text{ ve } (t_{max} - t_b) > (t_b - t_{min}) \text{ ise } IDG_{gün} = 0.5(t_b - t_{min}) - 0.25(t_{max} - t_b) \quad (2)$$

$$\text{Eğer } t_{max} < t_b, t_{min} < t_b \text{ ise } IDG_{gün} = t_b - 0.5(t_b + t_{min}) \quad (3)$$

$$IDG_{yıl} = \sum_{günler} IDG_{gün} \quad (4)$$

$$IDG = \frac{\sum_{21 \text{ yıl}} IDD_{\text{yıl}}}{21} \quad (5)$$

bulunur. Soğutma derece-gün değeri ise;

$$\text{Eğer } t_{\max} > t_b, t_{\min} < t_b \text{ ve } (t_{\max} - t_b) < (t_b - t_{\min}) \text{ ise } SDG_{\text{gün}} = 0.25(t_{\max} - t_b) \quad (6)$$

$$\text{Eğer } t_{\max} > t_b, t_{\min} < t_b \text{ ve } (t_{\max} - t_b) > (t_b - t_{\min}) \text{ ise } SDG_{\text{gün}} = 0.5(t_{\max} - t_b) - 0.25(t_b - t_{\min}) \quad (7)$$

$$\text{Eğer } t_{\max} > t_b, t_{\min} > t_b \text{ ise } SDG_{\text{gün}} = 0.5(t_{\max} + t_{\min}) - t_b \quad (8)$$

$$SDG_{\text{yıl}} = \sum_{\text{günler}} SDG_{\text{gün}} \quad (9)$$

$$SDG = \frac{\sum_{21 \text{ yıl}} SDD_{\text{yıl}}}{21} \quad (10)$$

bulunur [3].

2.2. Çatı, Dış Duvarlar ve Döşeme için Optimum Yalıtım Kalınlığı Hesabı

Isıtma yakıt maliyeti:

$$C_{A,H} = \left(\frac{86400.PWF.C_y.a.IDG}{(R_{t,w} + x/k).H_u.\eta} \right) \quad (11)$$

Isıtma yakıt maliyetine yalıtım maliyetinin eklenmesi ile toplam ısıtma maliyeti:

$$C_{t,H} = \left(\frac{86400.PWF.C_y.a.IDG}{(R_{t,w} + x/k).H_u.\eta} \right) + (C_{\text{yıl}}.x) \quad (12)$$

dir. Soğutma yakıt maliyeti:

$$C_{A,C} = \left(\frac{86400.PWF.C_e.a.SDG}{(R_{t,w} + x/k).COP} \right) \quad (13)$$

soğutma yakıt maliyetine yalıtım maliyetinin eklenmesi ile toplam soğutma maliyeti:

$$C_{t,C} = \left(\frac{86400.PWF.C_e.a.SDG}{(R_{t,w} + x/k).COP} \right) + (C_{\text{yıl}}.x) \quad (14)$$

dir. Isıtma+soğutma için toplam yakıt maliyeti, ısıtma ve soğutma yakıt maliyetlerinin toplamıdır:

$$C_{A,H,C} = \left(\frac{86400.PWF.C_y.a.IDG}{(R_{t,w} + x/k).H_u.\eta} + \frac{86400.PWF.C_e.a.SDG}{(R_{t,w} + x/k).COP} \right) \quad (15)$$

toplam maliyet ise, ısıtma ve soğutma maliyetleri ile yalıtım maliyetinin toplamıdır.

$$C_{t,H,C} = \left(\frac{86400.PWF.C_y.a.IDG}{(R_{t,w} + x/k).H_u.\eta} + \frac{86400.PWF.C_e.a.SDG}{(R_{t,w} + x/k).COP} \right) + (C_{\text{yıl}}.x) \quad (16)$$

toplam maliyet denkleminin (yalıtım kalınlığına) x 'e göre türevi alınıp sıfıra eşitlerse aşağıda verilen ısıtma+soğutma için optimum yalıtım kalınlığı denklemi elde edilir [4,5,6,7,8].

$$x_{opt,H.C} = 293.94 \cdot \left(\frac{IDG \cdot C_y \cdot k.a.PWF}{H_u \cdot C_{ytl} \cdot \eta} + \frac{SDG \cdot C_e \cdot k.a.PWF}{C_{ytl} \cdot COP} \right)^{1/2} - k \cdot R_{t,w} \quad (17)$$

Optimum yalıtım kalınlığı hesaplanırken ömür maliyet analizi yapılmaktadır. Toplam ısıtma maliyeti N yıllık ömür için bugünkü değer faktörü (PWF-Present Worth Factor) ile değerlendirilir [9]. Bugünkü değer faktörü ve aşağıdaki gibi hesaplanır [9,10];

eğer $i > g$ ise gerçek faiz oranı,

$$r = \frac{i - g}{1 + g} \quad (18)$$

eğer $i < g$ ise

$$r = \frac{g - i}{1 + i} \quad (19)$$

dir. O zaman $PWF = \frac{(1+r)^N - 1}{r \cdot (1+r)^N}$ olur. (20)

Eğer $i = g$ ise

$$PWF = \frac{N}{1 + i} \quad (21)$$

ile bulunur.

Isıtma+soğutma için; optimum yalıtım kalınlığı hesaplamalarında, dış ortamla temas eden dış duvar ve çatı için a katsayısı 1 olarak alınır. Dış ortamla temas etmeyen döşeme için a katsayısı 0.5 ve çatı için 0.8 olarak alınmaktadır [7,8].

2.3. Isıtma ile Soğutma Dönemi Yakıt Tüketimi ve Enerji İhtiyacı

Havalandırma ısı kaybına bağlı olarak, ısıtma ve soğutma enerji tüketimi için bina için toplam ısı kaybı [7,11];

$$K_T = \sum_{i=1}^M UA + I(\rho C_p)_{Hava} V / 3600 \quad (22)$$

bulunur. Burada havanın hacimsel ısı kapasitesi $\rho(C_p)_{hava}$ değeri $1200 \text{ J/m}^3 \cdot \text{K}$ olarak alınarak toplam ısı kaybı [7,11];

$$K_T = U_{dd} \cdot (A_{dd} - A_p) + U_p \cdot A_p + 0.5 U_{dö} A_{dö} + 0.8 U_{tv} A_{tv} + U_k \cdot A_k + IV/3 \quad (23)$$

bulunmuştur. Burada; U_{dd} dış duvar, U_p pencere, $U_{dö}$ döşeme (taban), U_{tv} tavan, U_k kapı için ısı geçirgenlik katsayısını ve A_{dd} dış duvar, A_p pencere, $A_{dö}$ döşeme (taban), A_{tv} tavan, A_k kapı için alan değerlerini göstermektedir. Buna göre binanın ısıtma enerji gereksinimi ile yakıt tüketimi, ısıtma derece-gün (IDG) değerine ve binanın toplam ısı kaybına bağlı olarak;

$$Q_H = 86400 \cdot K_T \cdot IDG \quad (24)$$



$$M_{fH} = \frac{86400 \cdot K_T \cdot JDG}{\eta \cdot H_u} \quad (25)$$

hesaplanır. Burada η ısıtma sistemi verimi ve H_u ise kullanılan yakıtın alt ısı değeri. Soğutma enerji gereksinimi ise soğutma derece-gün (SDG) değerine ve binanın toplam ısı kaybına bağlı olarak;

$$Q_c = 86400 \cdot K_T \cdot SDG \quad (26)$$

$$M_{fC} = \frac{86400 \cdot K_T \cdot SDG}{COP} \quad (27)$$

hesaplanır. Burada COP soğutma sistemi performans katsayısı değeridir [11].

2.4. Örnek Bina Yapı Özellikleri

Örnek konutun ölçüleri 12×10×3 boyutlarındadır. Çatı alanı 120 m², dış duvar 132 m², 120 m² döşeme alanına sahiptir. Toplam hacim ise V=360 m³ tür. Dış duvar alanının %30 (39.6 m²) cam alanı bulunmaktadır. Saatlik hava değişim oranı 1'dir. Kapı alanı 3 m²'dir. Tablo 1'de örnek binanın tavan, dış duvar, kapı ve döşeme yapı bileşenlerinin ısı iletkenlik ve ısı geçirgenlik katsayıları verilmiştir. Tablo 2'de tavan, dış duvar ve döşemede kullanılan yalıtım malzemeleri ve özellikleri gösterilmiştir. Tablo 3'de hesaplamalarda kullanılan doğal gaz ve elektrik için yakıt özellikleri ve mali değerler verilmiştir. Tablo 4'de çatı, dış duvar ve döşeme için hesaplanan ısıtma+soğutma optimum yalıtım kalınlıkları gösterilmiştir. Tablo 5'de cam, panjur ve perde özelliğine göre pencerelerin ısı geçirgenlik katsayısı, Tablo 6'da konfor camlı pencerelerin ve Tablo 7'de ise cam ve doğrama özelliğine bağlı pencerelerin ısı geçirgenlik katsayısı görülmektedir.

Tablo 1. Örnek binanın yapı bileşenlerinin ısı iletkenlik ve ısı geçirgenlik katsayıları [7,8,11,12,13]

Parametre	Bileşen	Değer
Tavan		
	R _i	0.130 m ² .K/W
0.020 m	Alçı harcı sıva	0.700 W/m.K
0.120 m	Donatılı Beton	2.500 W/m.K
x _{opt} m	Isı Yalıtımı (cam yünü)	0.043 W/m.K
	R _d	0.080 m ² .K/W
	U_{Tv}	0.245 W/m².K
Dış Duvar		
	R _i	0.130 m ² .K/W
0.020 m	Kireç –çimento harcı iç sıva	1.000 W/m.K
0.190 m	Yatay delikli tuğla	0.360 W/m.K
x _{opt} m	Isı Yalıtımı (XPS)	0.028 W/m.K
0.030 m	Çimento harcı sıva	1.600 W/m.K
	R _d	0.040 m ² .K/W
	U_{dd}	0.347 W/m².K
Kapı		
		U_k=5.8 W/m².K
Döşeme (Taban)		
	R _i	0.170 m ² .K/W
0.005 m	Sert odun lifli levha	0.130 W/m.K
0.030 m	Çimento harçlı şap	1.400 W/m.K
x _{opt} m	Isı yalıtım (taş yünü)	0.040 W/m.K
0.020 m	Çimento harçlı şap	1.400 W/m.K
0.100 m	Donatısız beton	1.650 W/m.K
	R _d	0 m ² .K/W
	U_{dö}	0.298 W/m².K

Tablo 2. Yalıtım Malzemeleri ve Özellikleri [8,13]

Yalıtım Malzemesi	Isı İletkenlik (W/mK)	Fiyat (\$/m ³)
Ekstrüde Polistiren (XPS)	0.028	144
Cam Yünü	0.043	37
Taş yünü	0.040	36.98

Tablo 3. Hesaplamalara kullanılan yakıtların özellikleri ve mali değerler [14,15,16,17,18]

Parametre	Değer
Yakıt	
Doğal Gaz	
Fiyat, C _y	0.502 \$/m ³
Verim, η	0.93
Alt Isıl Değer, H _u	34.645 10 ⁶ J/m ³
Elektrik	
Fiyat	0.174 \$/kWh
Soğutma COP	2.5
Mali Değerler	
Faiz Oranı, (i)	% 11.8
Enflasyon Oranı, (g)	% 9.4
Ömür, N	10 yıl
PWF	8.89

Tablo 4. Tavan, dış duvar ve döşeme (taban) için optimum yalıtım kalınlıkları

Yapı Elemanı	Optimum Yalıtım Kalınlığı (m)
Tavan	0.163
Dış Duvar	0.060
Döşeme (Taban)	0.122

Tablo 5. Cam, panjur ve perde özelliğine göre pencerelerin ısı geçirgenlik katsayısı [19].

Açıklama	U _p (W/m ² .K)
Çift Cam	3.0
Çift Cam ve Perde	2.2
Çift Cam ve Plastik Panjur	1.9
Çift Cam, Plastik Panjur ve Perde	1.5
Çift Cam ve Alüminyum Panjur	2.1
Çift Cam ve Alüminyum Tekli Panjur	2.7
Çift cam ve Alüminyum Jaluzi	2.7

Tablo 6. Konfor camlı pencerelerin ısı geçirenlik katsayısı (W/m^2K) [20]

Cam Kalınlığı	Gün Işığı		Güneş Enerjisi				12 mm Ara Boşluklu		16 mm Ara Boşluklu		
	Geçirgenlik (%)	Dışa Yansıt (%)	Dışa Yansıt (%)	Soğur (%)	Direkt Geçir. (%)	Toplam Geçir. (%)	Gölge. Katsayısı	Hava	Argon	Hava	Argon
4+4	71	10	28	32	40	44	0.51	1.6	1.3	1.3	1.1
6+6	69	10	25	38	37	43	0.49	1.6	1.3	1.3	1.1

Tablo 7. Cam ve doğrama özelliğine bağlı pencerelerin ısı geçirenlik katsayısı (W/m^2K) [7].

Isıl Geçirgenlik Katsayısı ($W/m^2.K$)	Tek Camlı Pencere	Kaplamaşız Çift Camlı Pencere		Çift Camlı Low-e Kaplamalı Pencere	
		6 mm Ara Boşluğu	16 mm Ara Boşluğu	6 mm Ara Boşluğu	16 mm Ara Boşluğu
Doğramasız	5.7	3.3	2.7	2.6	1.6
Ahşap Doğrama (meşe, dişbudak/ sert ağaçlar)	5.1	3.3	2.8	2.8	2.0
Ahşap Doğrama (iğne yapraklı yumuşak ağaçlar)	4.9	3.1	2.6	2.6	1.8
Plastik Doğrama (2 odacıklı)	5.2	3.4	2.9	2.9	2.1
Plastik Doğrama (3 odacıklı)	5.0	3.2	2.7	2.7	1.9
Alüminyum Doğrama	5.9	4.0	3.6	3.6	2.8
Alüminyum Doğrama (yalıtım köprülü)	5.2	3.4	2.9	2.9	2.1

3. BULGULAR

Örnek bina için; Tablo 8'de cam, panjur ve perde olması özelliğine göre pencereler için ısıtma ile soğutma enerji ihtiyacı ve yakıt tüketimi, Tablo 9'da konfor camlı pencereler için ısıtma ile soğutma enerji ihtiyacı ve yakıt tüketimi değerleri verilmiştir. Tablo 10'de pencerelerin farklı cam (tek ve çift cam) ve doğrama özelliğine göre örnek bina için ısıtma enerji gereksinimi ve yakıt tüketimi, Tablo 11'de ise pencerelerin farklı cam (tek ve çift cam) ve doğrama özelliğine göre örnek bina için soğutma enerji gereksinimi ve yakıt tüketimi değerleri verilmiştir.

Tablo 8. Cam, panjur ve perde olması özelliğine göre örnek binanın pencereleri için ısıtma ile soğutma enerji ihtiyacı ve yakıt tüketimi

Açıklama	Isıtma Enerji İhtiyacı (GJ)	Isıtma Yakıt Tüketimi (m ³)	Soğutma Enerji İhtiyacı (GJ)	Soğutma Yakıt Tüketimi (kWh)
Çift Cam	70.599	2191.154	11.268	1251.966
Çift Cam ve Perde	64.270	1994.744	10.258	1139.742
Çift Cam ve Plastik Panjur	61.897	1921.090	9.879	1097.659
Çift Cam, Plastik Panjur ve Perde	58.733	1822.885	9.374	1041.547
Çift Cam ve Alüminyum Panjur	63.479	1970.193	10.131	1125.714
Çift Cam ve Alüminyum Tekli Panjur	68.226	2117.500	10.889	1209.882
Çift cam ve Alüminyum Jaluzi	68.226	2117.500	10.889	1209.882

Tablo 9. Konfor camlı pencerelere göre örnek bina için ısıtma ile soğutma enerji ihtiyacı ve yakıt tüketimi

Cam Kalınlığı	12 mm Ara Boşluklu		16 mm Ara Boşluklu	
	Hava	Argon	Hava	Argon
Isıtma Enerji İhtiyacı (GJ)				
4+4	59.524	57.151	57.151	55.569
6+6	59.524	57.151	57.151	55.569
Isıtma Yakıt Tüketimi (m³)				
4+4	1847.437	1773.783	1773.783	1724.680
6+6	1847.437	1773.78	1773.783	1724.680
Soğutma Enerji İhtiyacı (GJ)				
4+4	9.500	9.121	9.121	8.869
6+6	9.500	9.121	9.121	8.869
Soğutma Yakıt Tüketimi (kWh)				
4+4	1055.575	1013.491	1013.491	985.435
6+6	1055.575	1013.491	1013.491	985.435

Tablo 10. Pencerelerin farklı cam (tek ve çift cam) ve doğrama özelliğine göre örnek bina için ısıtma enerji gereksinimi ve yakıt tüketimi

Doğrama Tipi	Isıtma Enerji İhtiyacı (GJ)									
	Kaplama-sız					Çift Camlı				
	Tek Camlı Pencere	6 mm Ara Boşluğu	16 mm Ara Boşluğu	6 mm Ara Boşluğu	16 mm Ara Boşluğu	Tek Camlı Pencere	6 mm Ara Boşluğu	16 mm Ara Boşluğu	6 mm Ara Boşluğu	16 mm Ara Boşluğu
Doğramasız	91.957	72.972	68.226	67.434	59.524	2854.037	2264.808	2117.500	2092.949	1847.437
Ahşap Doğrama (meşe, dişbudak / sert ağaçlar)	87.210	72.972	69.017	69.017	62.688	2706.730	2264.808	2142.051	2142.051	1945.642
Ahşap Doğrama (iğne yapraklı yumuşak ağaçlar)	85.628	71.390	67.434	67.434	61.106	2657.627	2215.705	2092.949	2092.949	1896.539
Plastik Doğrama (2 odacıklı)	88.001	73.763	69.808	69.808	63.479	2731.281	2289.359	2166.603	2166.603	1970.193
Plastik Doğrama (3 odacıklı)	86.419	72.181	68.226	68.226	61.897	2682.178	2240.256	2117.500	2117.500	1921.090
Alüminyum Doğrama	93.539	78.509	75.345	75.345	69.017	2903.139	2436.666	2338.461	2338.461	2142.051
Alüminyum Doğrama (yalıtım köprülü)	88.001	73.763	69.808	69.808	63.479	2731.281	2289.359	2166.603	2166.603	1970.192

Tablo 11. Pencerelerin cam (tek ve çift cam) ve doğrama özelliğine göre örnek bina için soğutma enerji gereksinimi ve yakıt tüketimi

Doğrama Tipi	Soğutma Enerji İhtiyacı (G.J)						Soğutma Yakıt Tüketimi (kWh)					
	Kaplamasız			Çift Camlı			Kaplamasız			Çift Camlı		
	Tek Camlı Pencere	Çift Camlı Pencere	Low-E Kaplamalı Pencere	6 mm Ara Boşluğu	16 mm Ara Boşluğu	6 mm Ara Boşluğu	Tek Camlı Pencere	6 mm Ara Boşluğu	16 mm Ara Boşluğu	Low-E Kaplamalı Pencere	6 mm Ara Boşluğu	16 mm Ara Boşluğu
Doğramasız	14.676	11.646	10.889	10.763	9.500	1630.719	1294.049	1209.882	1195.854	1055.575		
Ahşap Doğrama (meşe, dişbudak / sert ağaçlar)	13.919	11.646	11.015	11.015	10.005	1546.552	1294.049	1223.910	1223.910	1111.687		
Ahşap Doğrama (iğne yapraklı yumuşak ağaçlar)	13.666	11.394	10.763	10.763	9.753	1518.496	1265.994	1195.854	1195.854	1083.631		
Plastik Doğrama (2 odacıklı)	14.045	11.773	11.141	11.141	10.131	1560.580	1308.077	1237.938	1237.938	1125.714		
Plastik Doğrama (3 odacıklı)	13.793	11.520	10.889	10.889	9.879	1532.524	1280.021	1209.882	1209.882	1097.659		
Alüminyum Doğrama	14.929	12.530	12.025	12.025	11.015	1658.775	1392.245	1336.133	1336.133	1223.910		
Alüminyum Doğrama (yalıtım köprülü)	14.045	11.773	11.141	11.141	10.131	1560.580	1308.077	1237.938	1237.938	1125.714		

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Örnek bina için ısıtma ve soğutma dönemi çift camlı pencerelerde perde, panjur ve jaluzi kullanılması ile enerji ihtiyacı ve yakıt tüketimi:

- Çift cam, plastik panjur ve perde kullanılmasıyla ısıtma enerji ihtiyacı 58.733 GJ ve soğutma enerji ihtiyacı 9.374 GJ olarak hesaplanmıştır. 1822.885 m³ doğal gaz ve 1041.547 kWh elektrik tüketimi tespit edilmiştir.
- Çift cam ve plastik panjur kullanılmasıyla enerji ihtiyacı 61.897 GJ ve soğutma enerji ihtiyacı ise 9.879 GJ olarak hesaplanmıştır. 1921.090 m³ doğal gaz ve 1097.659 kWh elektrik tüketimi olacağı bulunmuştur.
- Çift cam ve perde kullanılmasıyla ısıtma enerji ihtiyacı 64.270 GJ ve soğutma enerji ihtiyacı ise 10.258 GJ olarak hesaplanmıştır. 1994.744 m³ doğal gaz ve 1139.742 kWh elektrik tüketimi olacağı bulunmuştur.

Örnek bina için ısıtma ve soğutma dönemi konfor camlı pencerelerde enerji ihtiyacı ve yakıt tüketimi:

- Isıtma enerji ihtiyacı 55.569-59.524 GJ ve yakıt tüketimi 1724.680-1847.437 m³ arasında değiştiği bulunmuştur.
- Soğutma enerji ihtiyacı 8.869-9.500 GJ ve yakıt tüketimi 985.435-1055.575 kWh arasında değiştiği bulunmuştur.

Örnek bina için ısıtma döneminde farklı cam (tek ve çift cam) özelliğindeki pencereler kullanılmasıyla enerji ihtiyacı ve yakıt tüketimi:

- Tek cam için 85.628-93.539, kaplamasız çift camlı pencerelerde 6 mm ara boşluklu cam için 71.390-78.509 ve 16 mm ara boşluklu cam için 67.434-75.345, çift camlı low-e kaplamalı pencerelerde 6 mm ara boşluklu cam için 67.434-75.345 ve 16 mm ara boşluklu cam için 59.524-69.017 GJ arasında değişen miktarda enerji ihtiyacı hesaplanmıştır.
- Tek cam için 2657.627-2903.139, kaplamasız çift camlı pencerelerde 6 mm ara boşluklu cam için 2215.705-2436.666 ve 16 mm ara boşluklu cam için 2092.949-2338.461, çift camlı low-e kaplamalı pencerelerde 6 mm ara boşluklu cam için 2092.949-2338.461 ve 16 mm ara boşluklu cam için 1847.437-2142.051 m³ arasında değişen miktarda doğal gaz tüketimi olacağı hesaplanmıştır.

Örnek bina için soğutma döneminde farklı cam (tek ve çift cam) özelliğindeki pencereler kullanılmasıyla enerji ihtiyacı ve yakıt tüketimi:

- Tek cam için 13.666-14.929, kaplamasız çift camlı pencerelerde 6 mm ara boşluklu cam için 11.394-12.530 ve 16 mm ara boşluklu cam için 10.763-12.025, çift camlı low-e kaplamalı pencerelerde 6 mm ara boşluklu cam için 10.763-12.025 ve 16 mm ara boşluklu cam için 9.500-11.015 GJ arasında değişen miktarda enerji ihtiyacı hesaplanmıştır.
- Tek cam için 1518.496-1658.775, kaplamasız çift camlı pencerelerde 6 mm ara boşluklu cam için 1265.994-1392.245 ve 16 mm ara boşluklu cam için 1195.854-1336.133, çift camlı low-e kaplamalı pencerelerde 6 mm ara boşluklu cam için 1195.854-1336.133 ve 16 mm ara boşluklu cam için 1055.575-1223.910 kWh arasında değişen miktarda elektrik tüketimi olacağı hesaplanmıştır.

Konutlarda ısı geçirgenlik katsayısı en büyük olan alüminyum doğramalı tek cam (5.9 W/m²K) ile ısı geçirgenlik katsayısı en küçük olan (1.1 W/m²K) 16 mm argon ara boşluklu konfor camlı pencere kullanılmasıyla doğal gaz tüketiminde fark 1178.459 m³ olacaktır. Bununda para karşılığı 591.586 \$'dır. Elektrik tüketiminde ise fark 673.340 kWh olacaktır. Bununda para karşılığı 117.161 \$'dır. Isıtma enerji ihtiyacında ise 37.97 GJ ve soğutma enerji ihtiyacında ise 6.06 GJ'lük fark meydana gelecektir.

**KAYNAKLAR**

- [1] BEKTAŞ B., AKSOY U. T., “Soğuk İklimlerdeki Binalarda Pencere Sistemlerinin Enerji Performansı”, Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Der. 17,3, 499-508, 2005.
- [2] AKYÜREK Y., “Güneş, Mimarlık ve Cam”, II. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Bildirileri, 15-18 Ekim 2003, İzmir.
- [3] DOMBAYCI Ö. A., “Degree-days maps of Turkey for various base temperatures”, Energy, 34, 1807-1812, 2009.
- [4] KAYNAKLİ, Ö., “Parametric investigation of optimum thermal insulation thickness for external walls”, Energies, 4,6,913-927, 2011.
- [5] KAYNAKLI, Ö., MUTLU, M., KILIÇ, M., “Bina duvarlarına uygulanan ısı yalıtım kalınlığının enerji maliyeti odaklı optimizasyonu”, Tesisat Mühendisliği, 126, 48-54, 2011.
- [6] KAYNAKLI, Ö., KILIÇ, M., YAMANKARADENİZ, R., “Isıtma ve soğutma süreci için dış duvar optimum yalıtım kalınlığı hesabı”, TTMD Isıtma, Soğutma, Havalandırma, Klima, Yangın ve Sıhhi Tesisat Dergisi, 65, 39-45, 2010.
- [7] TS 825, “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları”, Türk Standardı, Mayıs 2008.
- [8] ASLAN, A., “Gönen Jeotermal Bölgesel Isıtma Sisteminin Enerji ve Termoekonomik Verimliliğinin İncelenmesi”, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Balıkesir, 2010.
- [9] DOMBAYCI, Ö. A., GÖLCÜ, M., PANCAR, Y., “Optimization of insulation for external walls using different energy-sources”, Applied Energy, 83, 9, 921-928, 2006.
- [10] OKKA, O., “Mühendislik Ekonomisi”, Nobel Yayınları, 3.Baskı, Ankara, 2000.
- [11] KAYNAKLİ Ö., “A study on study residential heating energy requirement and optimum insulation thickness”, Renewable Energy, 33, 1164-1172, 2008.
- [12] TS 2164, “Kalorifer Tesisatı Projelendirme Kuralları”, Türk Standardı.
- [13] UÇAR, A., BALO, F., “Determination of the energy savings and the optimum insulation thickness in the four different insulated exterior walls”, Renewable Energy, 35, 1, 88-94, 2010.
- [14] AKSA Balıkesir Doğal Gaz Dağıtım A. Ş. (BALGAZ) Verileri
- [15] Uludağ Elektrik Dağıtım A.Ş. Verileri
- [16] Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası Verileri (Erişim Tarihi: Mayıs 2014)
- [17] Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) Verileri (Erişim Tarihi: Mayıs 2014)
- [18] DOMBAYCI A., BAYRAKÇI H. C., ÖZGÜR A. E., “Konutlarda soğutma enerjisi tüketiminin farklı baz sıcaklıkları için derece gün yöntemiyle tahmini” Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 13, 3, 311-314, 2009.
- [19] EKİNCİ C. E. , “Yalıtım Teknikleri”, İstanbul, 2003.
- [20] www.trakyacam.com.tr (Konfor Camı Performans Tabloları) (Erişim Tarihi: Kasım 2014)

SEMBOLLER

		Alt İndis	
t	Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)		
IDG	Isıtma derece-gün	max	maksimum
SDG	Soğutma derece-gün	min	minimum
U	Isı geçirgenlik katsayısı ($\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$)	b	temel
A	Alan (m^2)	T	toplam
l	Saatlik hava değişim oranı (1/h)	dd	dış duvar
ρ	Yoğunluk (kg/m^3)	p	pencere
C_p	Özgül Isı ($\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$)	dö	döşeme
x	Yalıtım kalınlığı (m)	tv	tavan
k	Yalıtım malzemesi ısı iletim katsayısı ($\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$)	k	kapı
η	Isıtma sistemi verimi	ylt	yalıtım
H_u	Alt ısı değer (J/m^3)	H	ısıtma
Q	Enerji gereksinimi (J)	C	soğutma
M_f	Yakıt tüketimi (m^3, kWh)	i	iç



COP	Soğutma performans katsayısı	d	dış
R	Isıl direnç (m ² .K/W)	y	yakıt
C	Fiyat (TL)	e	elektrik
XPS	Ekstrude polistiren	t,w	yalıtımsız duvar
V	Hacim (m ³)	f	yakıt
PWF	Bugünkü değer faktörü	t	toplam
i	Faiz oranı	t,H	ısıtma, toplam
g	Enflasyon oranı	t,C	soğutma, toplam
r	Gerçek faiz oranı		
K	Isı kaybı (W/K)		

ÖZGEÇMİŞ

Okan KON

2000 yılında Balıkesir Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversiteden 2004 yılında Yüksek Mühendis ve 2014 yılında Doktor unvanını almıştır. 2001 yılından beri Balıkesir Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalı'nda görev yapmaktadır. Binalarda enerji tüketimi ile yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları üzerine çalışmaktadır.

Hüseyin BULGURCU

1962 yılında İzmir Kınık'ta doğdu. 1984 yılında Yıldız Üniversitesi Kocaeli Mühendislik Fakültesi Makine Enerji dalından lisans, 1989 yılında M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsünden Yüksek Lisans, 1994 yılında aynı Enstitüden Doktora dereceleri aldı. 1986-1989 yılları arasında Kartal Teknik Lisesinde, 1989-1995 yılları arasında Çankırı Meslek Yüksekokulunda öğretim elemanı olarak çalıştı. 1994 yılında İngiltere'de mesleki araştırmalarda bulundu. 1995-2012 yılları arasında Balıkesir Meslek Yüksekokulu İklimlendirme ve Soğutma Programında çalıştı. Ağustos 2012'den bu yana Balıkesir Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde çalışmalarına devam etmektedir. 2005 yılında kurduğu deney setleri üreten bir firmanın eğitim danışmanıdır. . . .

