

# DUVAR YALITIM KALINLIĞININ PENCERE ALANLARINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

**Meral ÖZEL ve Kâzım PIHTILI**

Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, [mozel@firat.edu.tr](mailto:mozel@firat.edu.tr),  
[kpihtili@firat.edu.tr](mailto:kpihtili@firat.edu.tr)

(Geliş/Received: 22.10.2007; Kabul/Accepted: 19.02.2008)

## ÖZET

Yalıtım kalınlığının cam alanı üzerine etkisi sayısal olarak araştırılmıştır. Bu amaçla farklı yalıtım kalınlıklarına sahip duvarda cam alanı %0'dan %100'e kadar %10'luk bir artışla artırılarak pencerenin tek cam ve çift cam olmasına göre ısı kazanç ve kayıpları hesaplanmıştır. Hesaplamalar tüm duvar yönleri için tekrarlanarak sonuçlar yaz ve kış şartları için grafikler halinde sunulmuştur. Sonuç olarak, yalıtım kalınlığının cam alanı üzerine etkisinin kışın daha büyük olduğu görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Bina duvarı; yalıtım kalınlığı; pencere alanı; ısı kazanç ve kaybı.

## INVESTIGATION OF EFFECT OF WALL INSULATION THICKNESS ON WINDOW AREAS

### ABSTRACT

In this study, effect of insulation thickness on glass area has been investigated numerically. For this purpose, glass area on the wall having different insulation thicknesses was increased from %0 to %100 with an ratio of %10 and, heat gain and losses according to be single glass and double glass of window were calculated. After calculations for all wall orientations had been repeated, results obtained were presented for summer and winter conditions as graphics. Consequently, it was seen that effect of insulation thickness on glass area was bigger in winter.

**Keywords:** Building wall; insulation thickness; areas of windows; heat gain and loss.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Farklı sıcaklıktaki dış ve iç çevreyi birbirinden ayıran bina kabuğu opak ve saydam elemanlardan oluşur. Bilindiği gibi, gün boyunca güneş ışınımı ve çevre sıcaklığının bina kabuğu üzerindeki etkisi değişmektedir. Bu nedenle yapının opak ve saydam elemanlarından transfer edilen ısı akısı zamana bağlı olarak sürekli değişim gösterir. Bu değişim, iç ortam şartlarını önemli ölçüde etkiler. İç ortam şartlarının yaz ve kış konfor şartlarına uygun halde tutulması gerektiğinden, özellikle ısı depolayan ve belirli kalınlığa sahip opak yüzeyler ile saydam yüzeylerden transfer edilen maksimum ve minimum ısı akısı miktarının ve zamanının bilinmesi, doğal ve yapay konfor şartlarının temininde önemli kolaylıklar sağlar. Bundan dolayı, binalarda gerekli ısı konforunun az enerji tüketimiyle sağlanması için bina duvarlarının

ısı iletim katsayısı düşük yalıtım malzemeleri ile desteklenmesi gerekir. Binaların saydam elemanları olan pencereler ise, binalarda en fazla enerji tüketimine neden olan yapı elemanlarından biridir. Bu yüzden pencereler, kışın güneşin iç ortama girişini artıracak, yazın ise azaltacak bir tasarıma sahip olmaları halinde, enerji tüketiminde önemli oranda tasarruf sağlanır. Bunun için pencere sistemlerinde çift camlar, low-e kaplı çift camlar, güneş kontrol kaplamalı camlar ile yalıtımlı doğramalar kullanılmalıdır [1]. Bu konuyla ilgili olarak yapılan çalışmalar incelendiğinde Ayçam vd. [1], öncelikle pencerelerin ısı performans açısından değerlendirilmesinde gerekli olan temel kavramları tanımlamışlar. Daha sonra ise yıllık ısıtma, soğutma yüklerine, içsel ısı kazançlarının düzeyine göre sınıflandırılan farklı bina tiplerine uygun enerji etkin pencere ve bileşen seçeneklerini tartışmışlardır. Oral

[2], çalışmasında farklı pencere tiplerine sahip olan bina kabuklarının birim alan başına günlük ortalama saatlik ısı kayıplarını hesaplayarak en az ısı kaybına ulaşan pencere tipini belirlemek amacıyla her bir pencere tipi için bina kabuklarını karşılaştırmıştır. Kasem vd. [3], dik silindirik cam boyunca güneş ısı kazancını hesaplamak için kolay ve doğru bir şekilde kullanılan bir işlem tanımlamışlardır. Sezer [4], ülkemizde farklı derece gün bölgelerinde inşa edilen konutlarda TS 825'e göre cam yüzey alanlarının bina yalıtımı üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Ayrıca pencerelerdeki güneş ısı yükünü azaltmanın en etkin yolu, güneşten doğrudan gelen ışınımı daha cama ulaşmadan önce kesmektir. Dış tarafından tamamen gölgelenmiş pencereler, güneş ısı kazancını %80 değerine kadar azaltabilir [5]. Bir pencere sistemi çatı askılıkları ile düşey ve yatay mimari çıkıntılar ile dış taraftaki panjurlarla vs. gölgelenebilir. Yazın pencerenin güneşe maruz kalan alanını azaltarak güneş ısı kazancını azaltmanın en etkin yolu pencere üzerine çıkıntıların eklenmesidir [5, 6]. Hamdan [7], Amman'da farklı yönlendirmeli pencerelerdeki çıkıntıların ısı kazanç üzerine etkilerini araştırmıştır. Raeissi ve Taheri [8], binalarda pasif soğutma olarak pencere çıkıntılarının etkisini tahmin etmek için bir model göstermişlerdir. Özel ve Pıhtılı [9], iç ortamda istenilen konforu sağlamak için, en önemli pasif uygulamalardan biri olan bina pencerelerine yerleştirilen çıkıntıların etkisini araştırmışlardır. Çift camın ısı kazanç ve kaybı açısından pencere çıkıntılarına etkisi de tek camla mukayese yapılarak sayısal olarak araştırılmıştır [10]. Aynı yazarların bir diğer çalışmasında ise, ısı konforu açısından bir binayı oluşturan duvarlardaki pencere alanlarının yönlere göre dağılımlarını tespit etmek amacıyla cam alanının toplam cephe alanına oranını, ısı kazanç ve kayıplarına göre sayısal olarak araştırmışlardır [11].

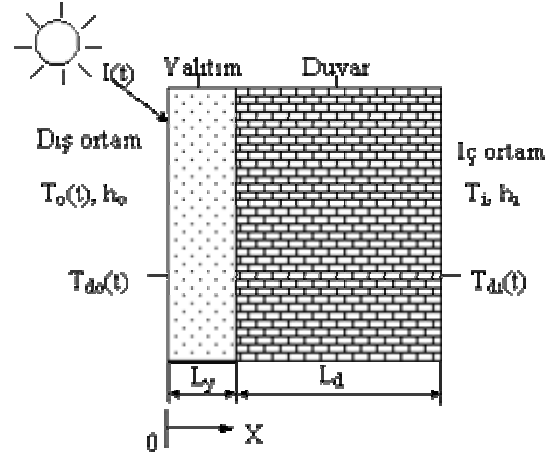
Bu çalışmada ise, Yalıtım kalınlığının cam alanı üzerine etkisi sayısal olarak araştırılmıştır. Bu amaçla farklı yalıtım kalınlıklarına sahip duvarda cam alanı %0'dan %100'e kadar %10'luk bir artışla artırılarak pencerenin tek cam ve çift cam olmasına göre ısı kazanç ve kayıpları duvar yönleri de göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır.

## 2. MATEMATİKSEL METOD (MATHEMATICAL METHOD)

Bir binayı oluşturan opak ve saydam yüzeylerden geçen ısı kazanç ve kayıplarının hesaplanabilmesi için aşağıdaki bağıntılardan faydalanılmıştır.

### 2.1. Opak Yüzeylerden Isı Geçişi (Heat Transmission From Opaque Surfaces)

Bu çalışmada, Şekil 1'de görüldüğü gibi dış yüzeyinde periyodik olarak değişen güneş ışınımına ve dış ortam sıcaklığına maruz bırakılan ve iç yüzeyinde de, sabit sıcaklıktaki oda havası ile temasta



Şekil 1. Duvar yapısı ve sınır şartları (Wall structure and boundary conditions)

olan yalıtım ve tuğla duvardan oluşmuş iki katmanlı bir duvar yapısı ele alınmıştır.

Bu durumda, herhangi bir konum ve zaman için geçici rejimde bir boyutlu ısı iletim denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\rho_y \cdot c_p \frac{\partial T(x,t)}{\partial t} = k \frac{\partial^2 T(x,t)}{\partial x^2} \quad (1)$$

Burada  $k$ ,  $\rho_y$  ve  $c_p$  sırasıyla yapı elemanının ısı iletim katsayısı, yoğunluğu ve özgül ısıdır. Bu durumda yapı elemanının sınır şartları ile başlangıç şartı sırasıyla aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$-k_y \left( \frac{\partial T_y}{\partial x} \right)_{x=0} = h_o (T_e - T_{do}), \quad (2)$$

$$-k_d \left( \frac{\partial T_d}{\partial x} \right)_{x=L} = h_i (T_{di} - T_i), \quad (3)$$

$$-k_y \left( \frac{\partial T_y}{\partial x} \right)_{x=L_y} = -k_d \left( \frac{\partial T_d}{\partial x} \right)_{x=L_y}, \quad (4)$$

$$[T_y(x,t) = T_d(x,t)]_{x=L_y}, \quad (5)$$

$$T(x,0) = T_b \quad (6)$$

Yukarıdaki eşitliklerde,  $h_o$  ve  $h_i$  sırasıyla yapının dış ve iç yüzeyindeki ısı taşınım katsayılarıdır.  $T_{do}$  ve  $T_{di}$  ise sırasıyla yapı elemanının dış ve iç yüzey sıcaklıklarıdır.  $T_b$  başlangıç sıcaklığı ve  $T_i$  iç ortam sıcaklığıdır.  $T_e$  ise eşdeğer çevre sıcaklığı olarak adlandırılır ve dik yüzeyler için aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanmaktadır [12]:

$$T_e(t) = T_o(t) + \frac{a \cdot I(t)}{h_o} \quad (7)$$

Burada  $T_o$  dış hava sıcaklığı ve  $a$  dış yüzeyin güneş ışınımını yutma oranıdır.  $I$  ise toplam güneş ışınımı şiddeti olup eğik düzleme gelen direkt ( $I_{ed}$ ), yayılı ( $I_{ey}$ ) ve yansıyan ( $I_{ya}$ ) ışınımın toplamından aşağıdaki gibi ifade edilmektedir [13].

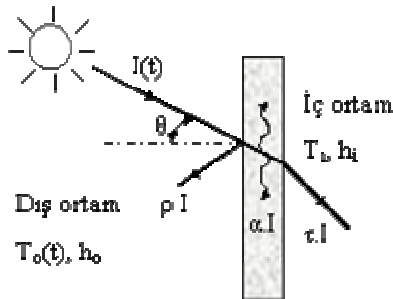
$$I = I_{ed} + I_{ey} + I_{ya} \quad (8)$$

Yukarıdaki denklemde mevcut olan ışınımın hesap yöntemi [13] nolu kaynakta ayrıntılı olarak mevcuttur. (1)-(4) denklemleri ile ifade edilen diferansiyel denklem ile sınır şartları implicit sonlu fark yaklaşımını kullanarak opak yapı içerisindeki sıcaklık dağılımı bulunmuştur [14]. Bu durumda opak duvardan iç ortama transfer olan anlık ısı akısı miktarı ise elde edilen duvar iç yüzey sıcaklıklarından faydalanarak Newton'un soğutma yasası ile hesaplanmıştır.

$$q_i = h_i(T_{di} - T_i) \quad (9)$$

### 2.2. Saydam Yüzeylerden Isı Geçişi (Heat Transmission From transparent Surfaces)

Pencere camından ısı geçişi, güneş ışınımı etkisinden ve iç ile dış ısıl çevre arasındaki sıcaklık farkından oluşabilir. Bir pencerenin dış yüzeyine; direkt güneş ışınımı, yayılı ışınım ve yansıyan güneş ışınımı gelebilir. Bu ışınımın bir kısmı direkt olarak cam boyunca geçirilebilir, bir kısmı yansıyabilir ve bir kısmı da emilebilir. Ayrıca cam dış yüzeyi ile dış hava arasında taşınım ile ısı geçişi de oluşabilmektedir. Bu durumda Şekil 2'de şematik olarak gösterilen tek camdan yapının iç tarafındaki ısı kazancının (veya kaybının) oranı  $q_i$  aşağıdaki bağıntı ile verilebilir [12].

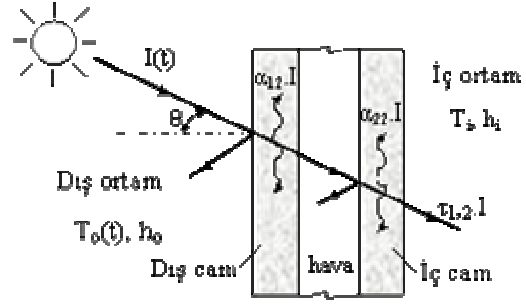


Şekil 2. Tek camlı pencereden ısı geçişi (Heat transmission from window with single glass)

$$q_i = F_s \tau_{ed} I_{ed} + \tau_{ey} I_{ey} + \tau_{ya} I_{ya} + \frac{U}{h_o} (F_s \alpha_{ed} I_{ed} + \alpha_{ey} I_{ey} + \alpha_{ya} I_{ya}) + U(T_o - T_i) \quad (10)$$

$$U = \frac{1}{(1/h_i) + (1/h_o)} \quad (11)$$

Şekil 3'te şematik olarak gösterilen çift tabaka pencere camından ısı geçişi ise aşağıdaki bağıntı yardımı ile hesaplanır [14].



Şekil 3. Çift camlı pencereden ısı geçişi (Heat Transmission From window with double glass)

$$q_i = F_s \tau_{(1,2)ed} I_{ed} + \tau_{(1,2)ey} I_{ey} + \tau_{(1,2)ya} I_{ya} + \frac{U}{h_o} (F_s \alpha_{(1of2)ed} I_{ed} + \alpha_{(1of2)ey} I_{ey} + \alpha_{(1of2)ya} I_{ya}) + U \left( \frac{1}{h_o} + \frac{1}{h_a} \right) (F_s \alpha_{(2of2)ed} I_{ed} + \alpha_{(2of2)ey} I_{ey} + \alpha_{(2of2)ya} I_{ya}) + U(T_o - T_i) \quad (12)$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_a} + \frac{1}{h_o}} \quad (13)$$

Burada  $h_a$  iki cam tabaka arasındaki gazın (hava) ısı taşınım katsayısıdır. (10) ve (12) denklemlerindeki direkt ışınım, yayılı ışınım ve yansıyan ışınımın geliş açıları farklı olabildiği için,  $\tau I$  ve  $\alpha I$  çarpımının ayrı hesapları gerekmektedir [12]. Bu denklemlerdeki  $F_s$ , pencere yüzeyinin güneş ışınımını alma oranıdır ve pencerenin yayılı ışınım ile yansıyan ışınımın gölgelemesi ihmal edilebilir kabul edilmiştir. Bir tabaka saydam örtü (tek cam) için, geçirme, yansıtma, ve yutma oranları, sırasıyla aşağıdaki gibi ifade edilir [12, 15].

$$\tau = \frac{(1-r)^2 a}{1-r^2 a^2} \quad (14)$$

$$\rho = r + r \frac{(1-r)^2 a^2}{1-r^2 a^2} \quad (15)$$

$$\alpha = 1 - r - \frac{(1-r)^2 a}{1-ra} \quad (16)$$

Ara yüzeye gelen ışınımın geliş açısı  $\theta$  ve kırılma açısı  $\theta'$  olmak üzere, ara yüzeydeki ortalama yansıtma oranı ise:

$$r = \frac{1}{2} \left[ \frac{\sin^2(\theta - \theta')}{\sin^2(\theta + \theta')} + \frac{\tan^2(\theta - \theta')}{\tan^2(\theta + \theta')} \right] \quad (17)$$

olarak elde edilir ve diğer taraftan Snell kırılma kanununa göre kırılma indisi;

$$n = \frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \theta}{\sin \theta'} \quad (18)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Işınım yarı-saydam ortamdaki geçerken bir kısmı ortam tarafından yutulur ve ortam sıcaklığı artar. Homojen ortamın ışınımı azaltma katsayısı  $K$  ve ışınımın kat ettiği mesafe  $L$  olmak üzere, Bouger-lambert ifadesine göre, belli bir mesafede ışınımın geçirilen kesri ise;

$$a = e^{-kL} \quad (19)$$

olmaktadır. Saydam örtünün (camın) kalınlığı  $L$ , saydam örtüde ışınımın kırılma açısı  $\theta'$  olmak üzere ışınımın bir tabaka saydam örtüde kat ettiği mesafe aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$L' = L / \cos \theta' \quad (20)$$

Çift tabaka cam için geçirme ve yansıtma oranları ise sırasıyla aşağıdaki ifadeler yardımıyla hesaplanır. Buradaki 1 indisi dış camı, 2 indisi de iç camı göstermektedir [4, 13].

$$\tau_{1,2} = \frac{\tau_1 \tau_2}{1 - \rho_1 \rho_2} \quad (21)$$

$$\rho_{1,2} = \rho_1 + \frac{\tau_1^2 \rho_2}{1 - \rho_1 \rho_2} \quad (22)$$

Dış ve iç cam tabakasının yutma oranı ise sırasıyla aşağıdaki bağıntılarla hesaplanmaktadır:

$$\alpha_{1\text{of}2} = \frac{[1 - (\rho_1 + \tau_1)][1 - \rho_2(\rho_1 - \tau_1)]}{1 - \rho_1 \rho_2} \quad (23)$$

$$\alpha_{2\text{of}2} = \frac{[1 - (\rho_2 + \tau_2)]\tau_1}{1 - \rho_1 \rho_2} \quad (24)$$

Direkt ışınım, yayılı ışınım ve yansıyan ışınımın geliş açıları farklıdır. Dolayısıyla düz saydam örtüler (camlar) için sırasıyla yayılı ışınım ve yerden yansıyan ışınımın eşdeğer geliş açısı aşağıdaki bağıntılar yardımıyla hesaplanabilir [13].

$$\theta_{ey} = 59.68 - 0.1388\beta + 0.001497\beta^2 \quad (25)$$

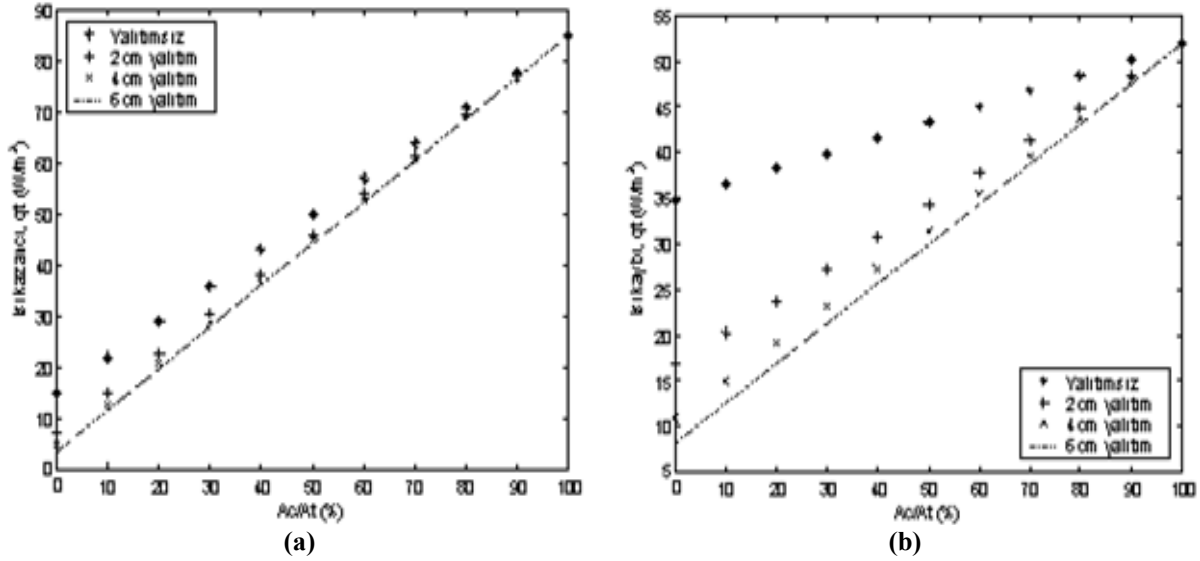
$$\theta_{ya} = 90 - 0.5788\beta + 0.002693\beta^2 \quad (26)$$

### 3. SAYISAL SONUÇLAR (NUMERICAL RESULTS)

Bu çalışmada, yalıtım kalınlığının pencere alanı üzerine etkisini sayısal olarak araştırmak için dıştan yalıtımlı bir duvar ele alınarak güney, kuzey, doğu ve batı cephelerindeki pencere alanları %0'dan %100'e kadar %10'luk bir oranla artırılarak ısı kazanç ve kayıpları Matlab'da hazırlanmış bir program ile

hesaplanmıştır. Duvarlardan geçen ısıyı hesaplamak için, dış yüzeyinde periyodik olarak değişen güneş ışınımına ve dış ortam sıcaklığına maruz bırakılan ve iç yüzeyinde de sabit sıcaklıktaki oda havası ile temasta olan iki katmanlı bir duvar için bir boyutlu zamana bağlı ısı iletim denklemi implicit sonlu farklar yöntemi ile çözülmüştür. Duvar malzemesi olarak 20 cm kalınlığında tuğla ( $k=0,64$  W/m-K,  $\rho_y=1800$  kg/m<sup>3</sup>,  $c_p=840$  J/kg-K), yalıtım malzemesi olarak ta cam yünü ( $k=0,036$  W/m-K,  $\rho_y=105$  kg/m<sup>3</sup>,  $c_p=795$  J/kg-K) kullanılmıştır. Opak yapının yutma oranı,  $a=0,9$ , içteki ve dıştaki ısı transfer katsayısı ise sırasıyla  $h_i=7$  W/m<sup>2</sup>K ve  $h_o=22$  W/m<sup>2</sup>K olarak alınmıştır Cam yüzeylerden geçen ısı miktarları ise pencerinin tek cam ve çift cam olması dikkate alınarak ve gerekli bağıntıları kullanarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda 3 mm kalınlığında tek tabaka pencere camı ile her biri 3 mm kalınlığında ve arasında  $h_a=5,56$  W/m<sup>2</sup>K taşınım katsayısına sahip hava boşluğu bulunan çift tabaka pencere camı kullanılmıştır. Kırılma indisi 1,526 ve ışınımı azaltma katsayısı  $0,03$  mm<sup>-1</sup> olan ısıyı emen cam kullanılmıştır.  $F_s=1$  kabul edilmiştir. Hesaplamalar Elazığ'da yazın en sıcak günlerinden biri olan 15 Temmuz'da ve 23°C sabit iç ortam sıcaklığında ve kışın en soğuk günlerinden biri olan 15 Ocak'ta ve 20°C sabit iç ortam sıcaklığı için yapılmıştır. Hesaplamalar sırasında kullanılan dış ortam sıcaklıkları meteorolojiden alınmıştır. Opak ve saydam yüzeylerden geçen ısı miktarlarının gün boyunca ortalama değerleri bulunarak kullanılmıştır.

Şekil 4(a) ve (b), sırasıyla yaz ve kış şartlarında pencerenin tek cam olması durumunda yalıtımsız duvar ile 2, 4 ve 6 cm yalıtım kalınlıklarına sahip duvar için, güney cephesinde artan cam alanına göre ısı kazanç ve kayıplarının değişimini göstermektedir. Aynı değişim pencerenin çift cam olması durumunda Şekil 5(a) ve (b)'de gösterilmiştir. Yazın pencerenin tek cam ve çift cam olması durumunda güney cephesinde cam oranı arttıkça hem yalıtımsız duvar hem de farklı kalınlıklara sahip duvarlar için ısı kazancı artmıştır. Ancak duvara 2 cm'lik yalıtım yerleştirilmesi durumunda opak yüzey alanı yalıtımsız duvarınkinden %10 daha az seçilebileceği görülmektedir. Bu durumda duvarın yalıtılması halinde yaz şartları için güney cephesinde pencerenin tek cam veya çift cam olması durumunda pencere alanı yalıtımsız duvara göre çok az da olsa büyütülebilir. Kışın ise, pencerenin tek cam olması durumunda güney cephesinde cam alanı arttıkça ısı kaybı dört duvar yapısı için artmıştır. Ancak bu artış yalıtımlı duvarlarda daha fazla olmuştur. Sadece 2 cm'lik yalıtımlı duvarın opak yüzey alanı yalıtımsız duvarınkinden %51 daha az seçilebileceği Şekil 4(b)'de görülmektedir. Pencerenin çift cam olması durumunda ise tek camlı pencerenin aksine cam alanı arttıkça tüm duvar yapıları için ısı kaybı azalmıştır. Ancak bu azalma yalıtımsız duvarda daha fazla olurken yalıtımlı duvarda daha az olmuştur. Hatta 6



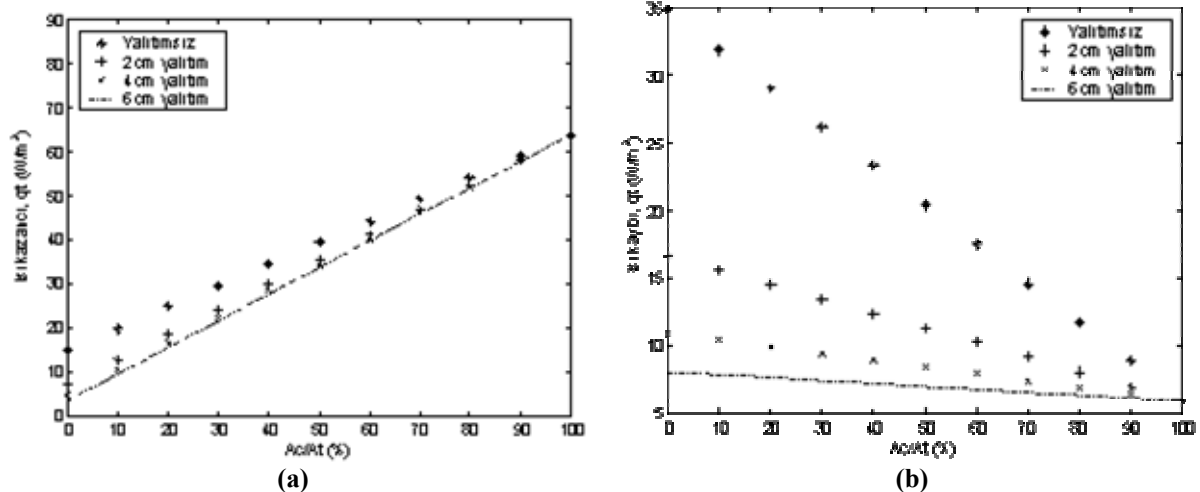
Şekil 4. Güney cephesinde pencerenin tek cam olmasına göre duvar yüzeyinde artan cam alanına göre (a) ısı kazanç ve (b) kaybının değişimi

cm'lik yalıtım durumunda neredeyse sabit bir değişim göstermiştir. 2 cm'lik yalıtımlı duvarın opak yüzey alanı yalıtımsız duvarından %62 daha fazla olabileceği 5(b)'de görülmektedir.

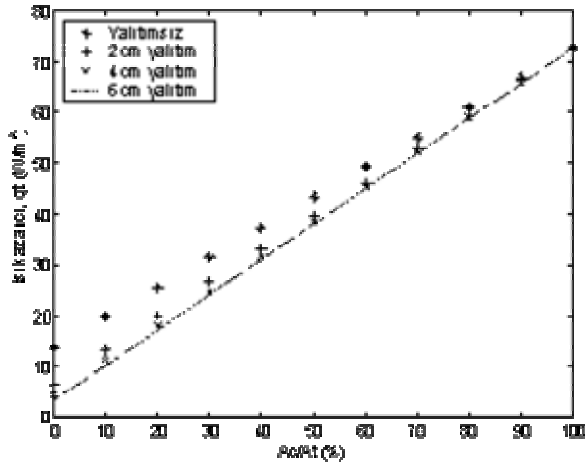
Kuzey cephesinde dört farklı duvar yapısı için artan cam alanına göre ısı kazanç ve kayıplarının değişimi pencerenin tek cam ve çift cam olmasına göre Şekil 6(a) ve 6(b) ile Şekil 7(a) ve 7(b)'de gösterilmiştir. Kuzey cephesinde cam oranı arttıkça 4 farklı duvar yapısı için ısı kazancı artmıştır. Bu artış tek camlı pencerede daha fazla olmuştur. 2, 4 ve 6 cm'lik yalıtımlı duvar için ısı kazancındaki bu değişim tek camlı ve çift camlı pencerenin her ikisi içinde çok fazla olmamıştır. Ancak yalıtımsız duvardaki ısı kazancı yalıtımlı duvara göre fazla olduğundan kuzey cephesinde tek camlı pencere kullanılması halinde 2 cm'lik yalıtımlı duvarın opak yüzey alanı yalıtımsız duvarından %11, çift camlı pencere halinde ise %15 daha az seçilebileceği grafiklerden

görülmektedir. Kışın ise, kuzey cephesinde tek camlı pencere durumunda 2 cm'lik yalıtımlı duvarın opak yüzey alanı, yalıtımsız duvar alanından %25 daha az seçilebileceği gibi 4 cm'lik yalıtım durumunda ise yalıtımsız duvara göre %31 ve 6 cm'lik yalıtım halinde ise %33 daha az seçilmesinin ısı kaybı açısından mümkün olabileceği görülmektedir. Çift camlı pencere halinde ise bu oranlar daha fazla olmuştur. 2 cm'lik yalıtımlı duvarın opak yüzey alanının yalıtımsız duvarından %71, 4 cm'lik yalıtımlı duvarın %77 ve 6 cm'lik duvarın ise %79 daha az seçilebileceği görülmüştür.

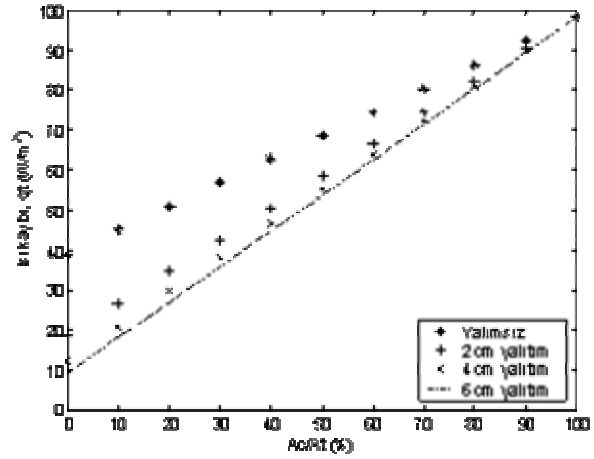
Doğu ve batı cephelerinde ise dört farklı duvar yapısı için artan cam alanına göre ısı kazanç ve kayıplarının değişimi pencerenin tek cam ve çift cam olmasına göre Şekil 8(a) ve 8(b) ile Şekil 9(a) ve 9(b)'de gösterilmiştir. Yazın pencerenin tek cam ve çift cam olması durumunda doğu ve batı cephesinde cam oranı arttıkça 4 duvar yapısı için ısı kazancı artmıştır.



Şekil 5. Güney cephesinde pencerenin çift cam olmasına göre duvar yüzeyinde artan cam alanına göre (a) ısı kazanç ve (b) kaybının değişimi

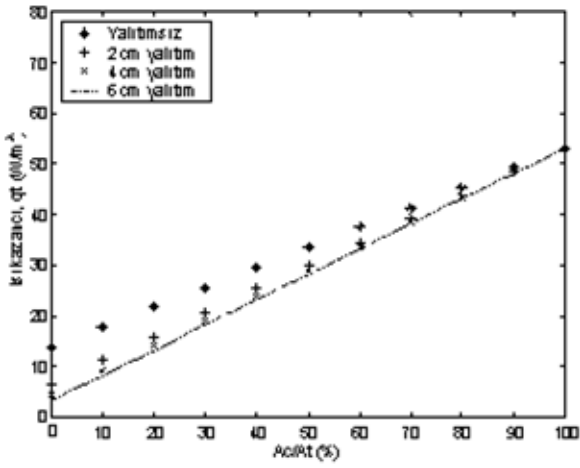


(a)

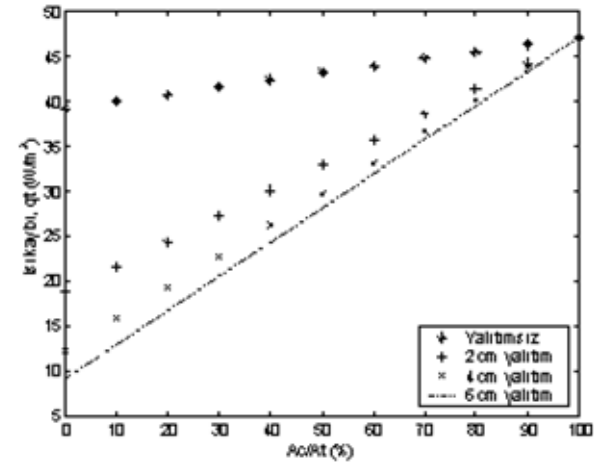


(b)

Şekil 6. Kuzey cephesinde pencerenin tek cam olmasına göre duvar yüzeyinde artan cam alanına göre (a) ısı kazanç ve (b) kaybının değişimi



(a)



(b)

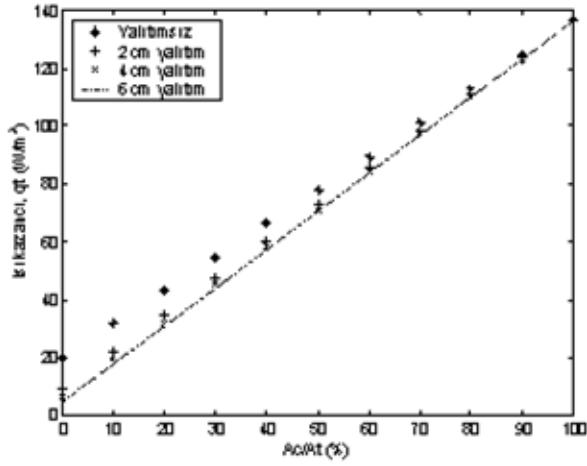
Şekil 7. Kuzey cephesinde pencerenin çift cam olmasına göre duvar yüzeyinde artan cam alanına göre (a) ısı kazanç ve (b) kaybının değişimi

Duvara yalıtım uygulanması artan cam alanı boyunca ısı kazancını çok fazla değiştirmese de duvara 2 cm'lik yalıtım yerleştirilmesi durumunda opak yüzey alanı yalıtımsız duvarinkinden %8 daha az seçilebileceği görülmüştür. Kışın tek camlı pencere durumunda, doğu (veya batı) cephelerinde artan cam oranı ile ısı kaybının değişimine bakacak olursak yalıtımlı duvarda da büyük cam alanına müsaade edebileceği görülmektedir. 2 cm'lik yalıtımlı duvarın opak alanı yalıtımsız duvara göre %29 daha az seçilebileceği görülmektedir. Çift camlı pencere durumunda ise cam alanı arttıkça ısı kaybında oldukça az bir ısı kaybı olurken yalıtımlı duvarlarda ise cam alanı arttıkça ısı kaybı artmıştır.

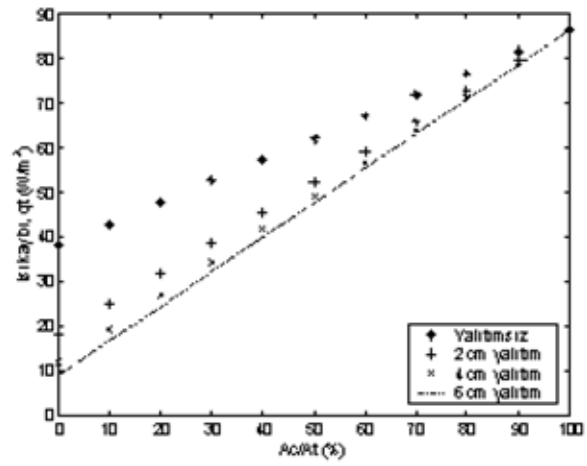
#### 4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada, duvar yalıtım kalınlığının pencere alanı üzerine etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Sonuç olarak, yazın pencerenin tek cam veya çift cam olması durumunda tüm cepheler için artan cam oranına göre duvarın farklı kalınlıklarda yalıtılması ısı kazancı

açısından çok fazla bir etkiye sahip olmamıştır. Yani duvara farklı kalınlıkta yalıtım uygulanması cam alanını çok fazla değiştirmemiştir. Ancak, kışın duvarın yalıtılması cam alanı üzerinde daha büyük bir etkiye sahip olmuştur. Kışın tek cam durumunda sadece 2 cm'lik yalıtım ile duvarın opak yüzey alanı yalıtımsız duvara göre güneyde %51, kuzeyde %25, doğu ve batıda ise %29 daha az seçilebileceği görülmüştür. Bu da duvara yalıtım eklenerek bütün cephelerde cam alanlarının daha büyük seçilebileceğini göstermektedir. Kışın çift camlı durumda ise, yalıtımlı duvarlarda artan cam alanına göre, kuzey ve doğu (veya batı) yönlerinde ısı kaybı artarken güney cephesinde cam oranı arttıkça ısı kaybında bir azalma görülmüştür. Ancak yalıtım kalınlığı arttıkça ısı kaybındaki azalma giderek azalmıştır. Hatta yapılan hesaplamalarda 8,8 cm yalıtım durumunda tüm cam oranları için ısı kaybında neredeyse hiç değişim olmamıştır. Yani, güney cephesinde 8,8 cm kalınlığındaki yalıtımlı duvardan ısı kaybı ile tamamen cam olması durumunda ısı kaybı aynı olmuştur. Bu durumda kışın ısı kaybını

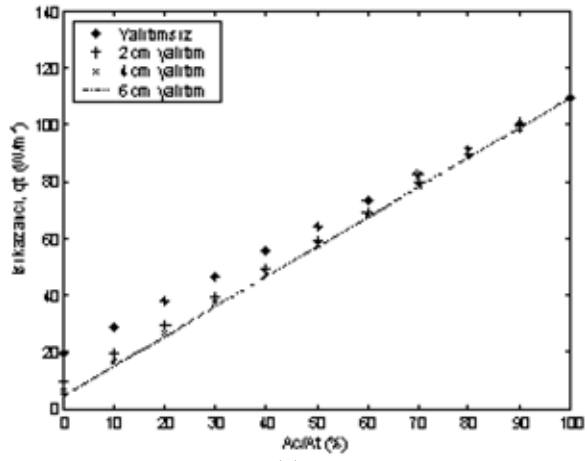


(a)

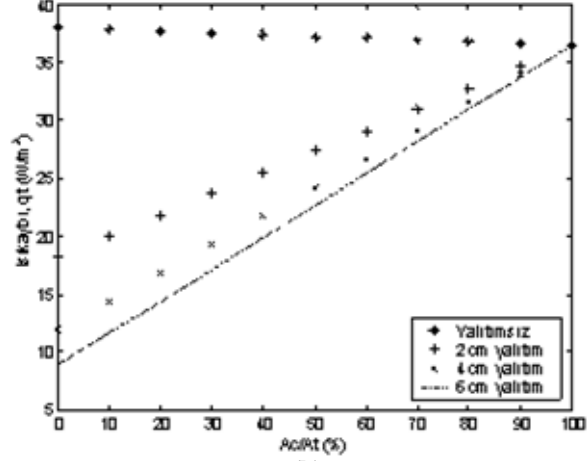


(b)

Şekil 8. Doğu ve batı cephelerinde pencerenin tek cam olmasına göre duvar yüzeyinde artan cam alanına göre (a) ısı kazanç ve (b) kaybının değişimi



(a)



(b)

Şekil 9. Doğu ve batı cephelerinde pencerenin çift cam olmasına göre duvar yüzeyinde artan cam alanına göre (a) ısı kazanç ve (b) kaybının değişimi

azaltmak amacıyla, bu cephedeki opak duvarın yalıtılmasından yalıtımsız duvara oldukça büyük cam yapılması daha iyi olacaktır.

#### SEMOLLER (NOMENCLATURE)

$a$	:Dış yüzeyin güneş ışınımını yutma oranı
$a$	:Belli bir mesafede ışınımın geçirilen kesri
$\alpha$	:Yutma oranı
$\beta$	:Eğim açısı (derece)
$c_p$	:Özgül ısı (J/kgK)
$h_i$	:İçteki taşınım katsayısı, (W/m <sup>2</sup> °C)
$h_o$	:Dıştaki taşınım katsayısı, (W/m <sup>2</sup> °C)
$I$	:Eğik düzleme gelen anlık tüm güneş ışınımı, (W/m <sup>2</sup> )
$I_{ed}$	:Eğik düzleme gelen direkt güneş ışınımı, (W/m <sup>2</sup> )
$I_{ey}$	:Eğik düzleme gelen yayılı güneş ışınımı, (W/m <sup>2</sup> )
$I_{ya}$	:Eğik düzleme yansıtılarak gelen güneş ışınımı, (W/m <sup>2</sup> )

$k_y, k_d$	:Yalıtım malzemesi ve duvar malzemesinin ısı iletim katsayısı, (W/mK)
$K$	:Homojen ortamın ışınımı azaltma katsayısı, (m <sup>-1</sup> )
$L$	:Saydam örtünün kalınlığı, (m)
$L$	:Işınımın kat ettiği mesafe, (m)
$n$	:Kırılma indisi
$\rho_y$	:Yoğunluk, (kg/m <sup>3</sup> )
$\rho$	:Yansıtma oranı
$T_e$	:Eşdeğer çevre sıcaklığı, (°C)
$T_i$	:İç ortam sıcaklığı, (°C)
$T_o$	:Dış ortam sıcaklığı, (°C)
$T_{di}$	:İç duvar sıcaklığı, (°C)
$T_{do}$	:Dış duvar sıcaklığı, (°C)
$\tau$	:Geçirme oranı
$\theta$	:Güneşin geliş açısı, (derece)
$\theta'$	:Kırılma açısı, (derece)

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Ayçam, İ. ve Utkuğ G.S., "Farklı malzemelerle üretilen pencere tiplerinin ısıl performanslarının

- incelenmesi ve enerji etkin pencere seçimi”, **IV.Ulusal Tesisat Müh. Kong.**, İzmir, 1, 61-73, 1999.
2. Oral G.K., “Appropriate window type concerning energy consumption for heating”, **Energy and Buildings**, 32, 95-100, 2000.
  3. Kassem, M. A., Kaseb, S., El-Refaie, M. F., “Solar heat gain through vertical cylindrical glass”, **Building and Environment**, 34, 253-262, 1999.
  4. Sezer, F. Ş., “Cam yüzey alanlarının bina yapı elemanlarındaki yalıtım kalınlıklarına etkisi”, **Yalıtım dergisi**, 50, 78-80, 2004.
  5. Sezen, Y., **Pencere Tasarımı**, ASHRAE Temel El Kitabı, Ankara, 1998.
  6. Wang, S.K., **Handbook of Air Conditioning And Refrigeration**. McGraw-Hill, 1993.
  7. Hamdan, M. A., “Thermal gains through windows”, **Energy Convers. Manag.**, 35, 501-506, 1994.
  8. Raecissi, S. And Taheri, M., “Optimum overhang dimensions for energy saving”, **Building and Environment**, Vol. 33, No. 5, pp. 293-302, 1998.
  9. Özel, M. ve Pıhtılı, K., “Binalardaki pencere çıkıntılarının ısı kazanç ve kayıplarına olan etkilerinin analizi”, **Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi**, 24, 101-108, 2004.
  10. Özel, M. ve Pıhtılı, K., “Tek ve çift camlı bina pencerelerindeki çıkıntı boyutlarının ısı kazanç ve kayıplarına olan etkilerinin araştırılması”, **Mühendis ve Makine**, Sayı:539, 46-54, Aralık 2004.
  11. Özel, M. ve Pıhtılı, K., “Bina duvarlarındaki pencere alanlarının ısı konfor açısından analizi”, **III. Ege Enerji Sempozyumu**, Muğla, 24-26 Mayıs 2006.
  12. Threlkeld, J.L., **Thermal Environmental Engineering**, Prentice-Hall, New Jersey, 1970.
  13. Kılıç, A. and Öztürk, A., **Güneş Enerjisi**, Kipaş Dağıtımcılık, İstanbul, 1983.
  14. Özel, M. ve Pıhtılı, K., “Duvar Yönünün Yalıtım Kalınlığına Etkisi”, **Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 22(1), sayfa: 95-101, Mart 2007.
  15. Davies, M. G., “Useful solar gains through a south-facing window in the U.K. climate”, **Building and Environment**, Vol. 15, pp. 253-272, 1980.