

# TEK VE ÇİFT CAMLI BİNA PENCERELERİNDEKİ ÇIKINTI BOYUTLARININ ISI KAZANÇ VE KAYIPLARINA OLAN ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Meral ÖZEL, Kâzım PIHTILI \*

*Bu çalışmada, çift camın ısı kazanç ve kaybı açısından pencere çıkıntılarının etkisi tek camla mukayese yapılarak sayısal olarak araştırılmıştır. Bunun için tek tabaka ve çift tabaka camdan oluşan pencerenin yönlerini dikkate alarak bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Geliştirilen program ile yaz ve kış iklim şartlarında bu cam yüzeylerden geçen ısı miktarı, çıkıntı boyutlarına bağlı olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak binalardaki pencerelerin tek cam yerine çift cam olmasının çıkıntının boyutunu değiştirmede sadece ısı kazanç ve kaybının miktarını değiştirdiği görülmüştür.*

**Anahtar sözcükler :** Tek ve çift cam, pencere yönü, çıkıntı boyutları, ısı kazanç ve kaybı

*In this study, effect to window overhangs of double glass from heat gain and loss point of view has been numerically investigated by comparing with single glass. For this purpose, a computer programme was developed by considering orientations of windows with single and double glass. Heat amount transmitting from these glass surfaces in the summer and winter climate conditions was calculated depending on dimension of overhang with the aid of developed programme. As a result, it was seen that selecting of double glass instead of single glass in building Windows dint change overhang dimension and, but only changed amount of heat gain and loss*

**Keywords :** Single and double glass, orientation of window, overhang dimensions, heat gain and losses

\* Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü

## GİRİŞ

Binalarda tüketilen enerjinin büyük miktarı ısı konforu sağlamak amacıyla bina içi kapalı ortamların ısıtılması ve soğutulması için kullanılmaktadır. Bilindiği gibi bina kabuğunun manzara, doğal aydınlatma ve havalandırma açısından vazgeçilmez bileşenleri olan pencereler, binanın enerji tüketimini oluşturan en önemli tasarım değişkenlerinden biridir. Bu yüzden enerji korunumu açısından gereksiz ısı kayıp ve kazançları uygun pencere tasarımı ile kontrol edilebilir.

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 [1]. Bir pencere sistemi çatı askılıkları ile düşey ve yatay mimari çıkıntılar ile dış taraftaki panjurlarla vs. gölgelenebilir. Yazın pencerenin güneş alan alanını azaltarak güneş ısı kazancını azaltmanın en etkin yolu pencere üzerine çıkıntılarının eklenmesidir [1, 2, 3]. Budin ve Budin [5], gölgelenmiş dik yüzeylerdeki aylık ortalama radyasyonu tahmin etmek için grafik metot göstermişlerdir. Sharp [6], herhangi bir eğim ve azimuttaki gölgeli yüzeylerdeki aylık ortalama güneşlenmeyi hesaplamak için bir analitik çözüm göstermiştir. Liu ve Jordan [7], gölgesiz eğimli yüzeylerdeki aylık ortalama radyasyonu tahmin etmek için bir metot geliştirmişler. Bu metot Klein [8], tarafından keyfi eğim ve azimuttaki gölgesiz yüzeylere genişletilmiştir. Utzinger ve Klein [9], gölgeli dik yüzeylerdeki aylık ortalama radyasyonu tahmin etmek için bir grafik metot göstermişlerdir. Raciissi ve Taheri [12], binalardaki pasif soğutma olarak pencere çıkıntılarının etkisini tahmin etmek için bir model göstermişlerdir. Hamdan [14], Amman' da farklı yönlendirmeli pencerelerdeki çıkıntılarının ısı kazanç üzerine etkilerini araştırmıştır. Özel ve Pıhtılı [15] ise, tek camlı bina pencerelerindeki çıkıntı boyutlarının ısı kazanç ve kayıplarına olan etkilerini araştırmışlardır.

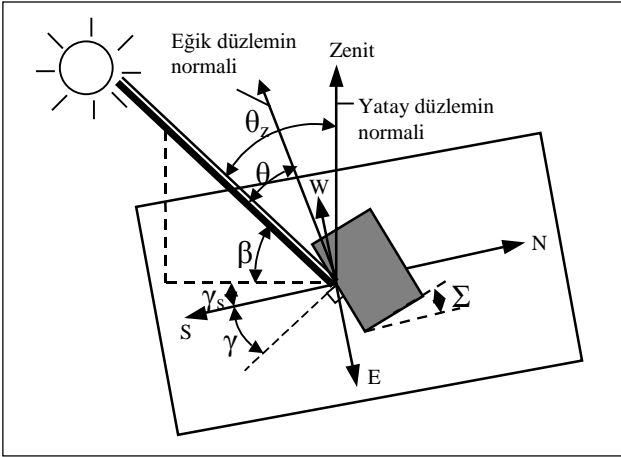
Bu makalede ise binaların ısı kazancının önemli bir bölümünü oluşturan camlarda kış şartlarında güneş ışınımını engellemeden yaz

şartlarında ise en az güneş ışınımı alacak şekilde pencere üzerine yerleştirilecek çıkıntının ısı kazanç ve kaybına olan etkisi tek ve çift camlı pencereler için sayısal olarak araştırılmıştır. Özellikle çift camlı pencerelerde çıkıntı boyutlarının ısı kazanç ve kayıplarına olan etkileri, tek camlı pencerelerle mukayese yapmak için birlikte ele alınarak dört ana yön için ayrı ayrı hesaplanmış ve grafikler halinde sunulmuştur.

## TEMEL BAĞINTILAR

### Güneş açıları ve güneş ışınımının hesabı

Penceredeki ısı kazanç ve kayıplarının hesaplanabilmesi için, pencere yüzeyine gelen güneş ışınımının hesaplanması gerekmektedir. Bunun için aşağıdaki temel bağıntılardan faydalanılmıştır. Güneşin geliş açısı Şekil 1'de görüldüğü gibi eğik düzlemin normali ile direkt güneş



Şekil 1. Eğimli Bir Yüzey İçin Güneş Açıları

ışınımı arasındaki açı olup aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır [10, 11].

$$\begin{aligned} \cos\theta &= \sin\delta \cdot \sin\phi \cdot \cos\Sigma - \sin\delta \cdot \cos\phi \cdot \sin\Sigma \cdot \cos\gamma + \\ &\cos\delta \cdot \cos\phi \cdot \cos\Sigma \cdot \cos\omega + \cos\delta \cdot \sin\phi \cdot \sin\Sigma \cdot \cos\gamma \cdot \cos\omega \\ &+ \cos\delta \cdot \sin\Sigma \cdot \sin\gamma \cdot \sin\omega \end{aligned} \quad (1)$$

Yukarıdaki denklemde  $\delta$ , güneş ışınlarının ekvator düzlemi ile yaptığı açı olup deklinasyon açısı diye adlandırılır ve aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$\delta = 23.45^\circ \sin\left(360 \frac{284+n}{365}\right) \quad (2)$$

Burada n, 1 Ocak' tan itibaren gün sayısıdır. Ayrıca (1) denklemindeki  $\phi$  enlem açısı,  $\Sigma$  yatayla yüzeyin yaptığı eğim açısı olup dik bir yüzey için  $\Sigma=90^\circ$  dir.  $\gamma$  yüzey azimut açısı olup eğik düzlemin yatay düzlem içinde konumunu verir. Güneye bakan bir eğik düzlem için  $\gamma=0^\circ$ 'dir. Güneyden doğuya doğru, kuzeye kadar negatif (-) ve güneyden batıya doğru, kuzeye kadar pozitif (+) alınır, yani  $-180^\circ < \gamma < +180^\circ$  değerlerini alır.

$\omega$  ise saat açısıdır her 15 derece bir saate eşdeğerdir. Yerkürenin kendi eksenini etrafında dönmesinden kaynaklanır ve aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanır.

$$\omega = 15 \cdot (GS - 12) \quad (3)$$

Burada GS güneş saatidir. Direkt güneş ışınımının yatay düzlemin normali ile yaptığı açı  $\theta_z$  zenit açısı olup aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanır.

$$\cos\theta_z = \cos\delta \cdot \cos\phi \cdot \cos\omega + \sin\delta \cdot \sin\phi \quad (4)$$

Direkt güneş ışınlarının yatay düzlemle yaptığı açı güneş yükseklik açısı olup zenit açısını  $90^\circ$  ye tamamlar ve aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\sin\beta = \cos\delta \cdot \cos\phi \cdot \cos\omega + \sin\delta \cdot \sin\phi \quad (5)$$

$\gamma_s$  ise güneş azimut açısı olup aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanır.

$$\sin\gamma_s = \frac{\cos\delta \cdot \sin\omega}{\cos\beta} \quad (6)$$

Eğik düzlem üzerine gelen toplam ışınım; direkt, yayılı ve yansiyarak gelen ışınımın toplamı olup aşağıdaki şekilde yazılır:

$$I = I_{ed} + I_{ey} + I_{ya} \quad (7)$$

Bu durumda eğik düzleme gelen direkt ışınım ( $I_{ed}$ ),

$$I_{ed} = R_d \cdot I_d \quad (8)$$

şeklinde yazılır. Burada  $R_d$  parametresi eğik ve yatay düzlemlere gelen direkt güneş ışınımının birbirlerine oranından aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$R_d = \frac{I_{cd}}{I_d} = \frac{\cos \theta}{\cos \theta'} \quad (9)$$

Eğik düzleme gelen yayılı ışınım ile eğik düzleme yansiyarak gelen ışınımlar ise düzlemin eğimine bağlı olarak sırasıyla aşağıdaki bağıntılar yardımıyla hesaplanır:

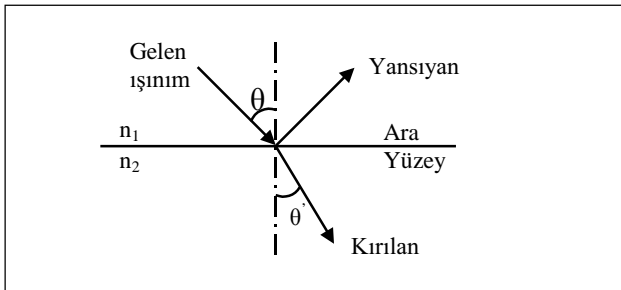
$$I_{ey} = I_y \frac{1 + \cos \Sigma}{2} \quad (10)$$

$$I_{ya} = \rho_y I_a \frac{1 - \cos \Sigma}{2} \quad (11)$$

Burada  $I_y$  ve  $I_a$  sırasıyla yatay yüzeye gelen yayılı ve yansıyan ışınımlardır. Yatay yüzeye gelen direkt, yayılı ve yansiyarak gelen ışınımların hesap yöntemleri ayrıntılı olarak mevcuttur [10, 11].  $\rho_y$  ise çevrenin yansıtma oranı olup ortalama değeri 0.2' dir.

### Pencere Camının Optik Özellikleri

Yarı-saydam cisimler, güneş ışınımını yansıtır, yutar ve geçirirler. Belirli bir dalga boyunda gelen ışınım için cismin yansıtma ( $\rho$ ), yutma ( $\alpha$ ) ve geçirme ( $\tau$ ) oranlarının toplamı bire eşittir [10].



Şekil 3. Işınımın Ara Yüzeyde Kırılması ve Yansıması

$$\rho + \alpha + \tau = 1 \quad (12)$$

Kırılma indisi  $n_1$  olan ortamda ilerleyen ışınım kırılma indisi  $n_2$  olan bir ortamla ara yüzeyine geldiği zaman bir kısmı diğer tarafa geçerken, diğer kısmı geliş açısına bağlı olarak yansıtılır. Ara yüzeye gelen ışınımın geliş açısı  $\theta$  ve kırılma açısı  $\theta'$  olmak üzere, ara yüzeydeki ortalama yansıtma oranı ise;

$$r = \frac{1}{2} \left[ \frac{\sin^2(\theta - \theta')}{\sin^2(\theta + \theta')} + \frac{\tan^2(\theta - \theta')}{\tan^2(\theta + \theta')} \right] \quad (13)$$

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

$$n = \frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \theta}{\sin \theta'} \quad (14)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Işınım yarı-saydam ortamdan 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;

$$a = e^{-kL'} \quad (15)$$

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.

$$L' = L / \cos \theta' \quad (16)$$

Bir tabaka saydam örtü (tek cam) için, geçirme, yansıtma, ve yutma oranları, sırasıyla aşağıdaki gibi ifade edilir [4, 13].

$$\tau = \frac{(1-r)^2 a}{1-r^2 a^2} \quad (17)$$

$$\rho = r + r \frac{(1-r)^2 a^2}{1-r^2 a^2} \quad (18)$$

$$\alpha = 1 - r - \frac{(1-r)^2 a}{1-ra} \quad (19)$$

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].

$$\tau_{1,2} = \frac{\tau_1 \tau_2}{1 - \rho_1 \rho_2} \quad (20)$$

$$\rho_{1,2} = \rho_1 + \frac{\tau_1^2 \rho_2}{1 - \rho_1 \rho_2} \quad (21)$$

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

$$\alpha_{1of2} = \frac{[1 - (\rho_1 + \tau_1)][1 - \rho_2(\rho_1 - \tau_1)]}{1 - \rho_1\rho_2} \quad (22)$$

$$\alpha_{2of2} = \frac{[1 - (\rho_2 + \tau_2)]\tau_1}{1 - \rho_1\rho_2} \quad (23)$$

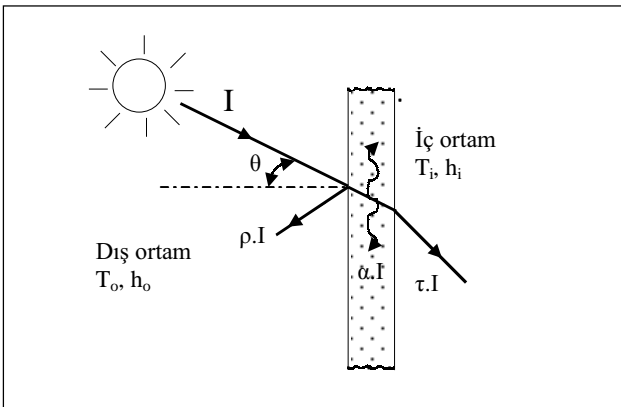
Direkt ışınım, yayılı ışınım ve yansıyan ışınımın geliş açıları farklıdır. Dolayısıyla düz saydam örtüler (camlar) için sırasıyla yayılı ışınım ve yerden yansıyan ışınımın eşdeğer geliş açısı aşağıdaki bağıntılar yardımıyla hesaplanabilir [10].

$$\theta_{ey} = 59.68 - 0.1388 \Sigma + 0.001497 \Sigma^2 \quad (24)$$

$$\theta_{ya} = 90 - 0.5788 \Sigma + 0.002693 \Sigma^2 \quad (25)$$

### TEK VE ÇİFT CAMLI PENCERELERDEN ISI GEÇİŞİ

Pencere camından ısı geçişi, güneş ışınımı etkisinden ve iç ile dış ısı çevre arasındaki sıcaklık farkından oluşabilir. Bir pencerenin dış yüzeyine; direk güneş ışınımı, yayılı ışınım ve yansıyan güneş ışınımı gelebilir. Bu ışınımın bir kısmı direkt olarak cam boyunca geçirilebilir, bir kısmı yansiyabilir ve bir kısmı da emilebilir. Ayrıca cam dış yüzeyi ile dış hava arasında taşınım ile ısı geçişi de oluşabilmektedir. Bu durumda Şekil 3'te şematik olarak gösterilen tek cam boyunca yapının iç tarafındaki ısı kazancının (veya kaybının) oranı  $q_i$  aşağıdaki bağıntı ile verilebilir [4].



Şekil 3. Tek Camlı Pencereden Isının Geçişi

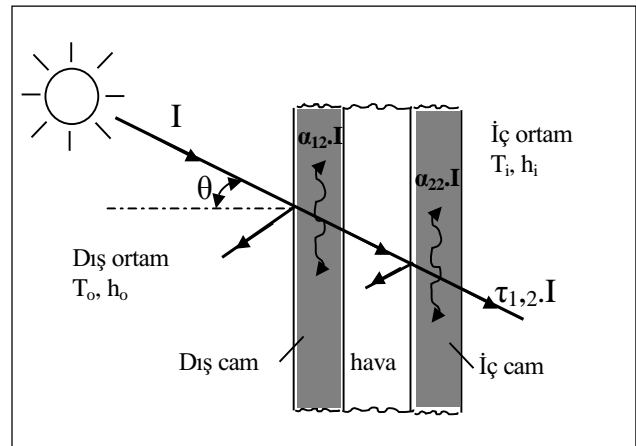
$$q_i = F_s \tau_{ed} I_{ed} + \tau_{ey} I_{ey} + \tau_{ya} I_{ya} + \frac{U}{h_o} (F_s \alpha_{ed} I_{ed} + \alpha_{ey} I_{ey} + \alpha_{ya} I_{ya}) + U(T_o - T_i) \quad (26)$$

Burada,

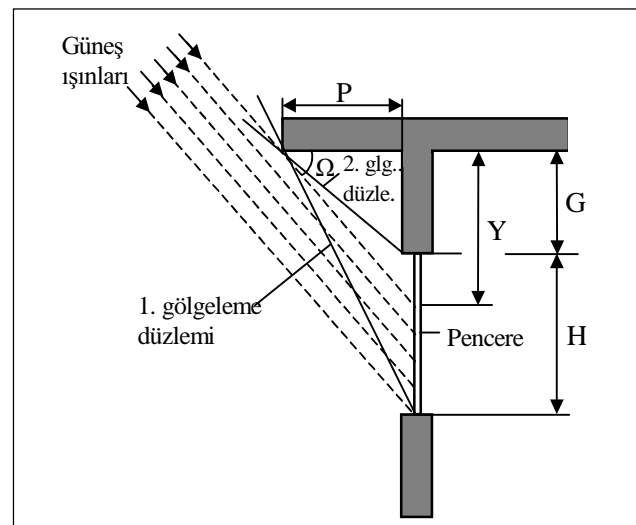
$$U = \frac{1}{(1/h_i) + (1/h_o)} \quad (27)$$

ile hesaplanır. Burada  $h_i$  ve  $h_o$  sırasıyla içteki ve dıştaki taşınım katsayılarını göstermektedir.

Şekil 4'te şematik olarak gösterilen çift tabaka pencere camından ısı geçişi ise aşağıdaki bağıntı yardımı ile hesaplanır [13],



Şekil 4. Çift Camlı Pencereden Isının Geçişi



Şekil 5. Bir Pencere Yüzeyi Üzerindeki Bir Çıktının Pencereyi Gölgelemesinde Dikkate Alınan Geometri.

$$q_1 = F_s \tau_{(1,2)ed} I_{ed} + \tau_{(1,2)ey} I_{ey} + \tau_{(1,2)ya} I_{ya} + \frac{U}{h_o} (F_s \alpha_{(1of2)ed} I_{ed} + \alpha_{(1of2)ey} I_{ey} + \alpha_{(1of2)ya} I_{ya}) + U \left( \frac{1}{h_o} + \frac{1}{h_a} \right) (F_s \alpha_{(2of2)ed} I_{ed} + \alpha_{(2of2)ey} I_{ey} + \alpha_{(2of2)ya} I_{ya}) + U (T_o - T_i) \quad (28)$$

Burada;

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_a} + \frac{1}{h_o}} \quad (29)$$

ile hesaplanır.  $h_a$  ise iki cam tabaka arasındaki gazın (hava) ısı taşınım katsayısıdır. (26) ve (28) denklemlerindeki direkt ışınım, yayılı ışınım ve yansıyan ışınımın geliş açıları farklı olabildiği için,  $\tau I$  ve  $\alpha I$  çarpımının ayrı hesapları gerekmektedir. Bu denklemlerdeki  $F_s$ , pencere yüzeyinin güneş alma oranıdır ve pencerenin yayılı ışınım ile yansıyan ışınımdan gölgelenmesi ihmal edilebilir kabul edilmiştir.

### Pencere Üzerindeki Yatay Bir Çıkıntının Pencereyi Gölgelemesi

Şekil 5, H yüksekliğindeki bir pencerede P genişliğinde yatay bir çıkıntıyı göstermektedir. Çıkıntının dibi ile pencerenin üstü arasındaki aralık G kadardır. Bu dizayn için pencerenin güneş alma oranı  $F_s$  pencerenin güneş alan alanının pencerenin toplam alanına oranından aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$F_s = \frac{[(H + G) - Y].b}{H.b} \quad (30)$$

Burada b pencerenin genişliğidir ve gölgenin Y derinliği ise şekil üzerinden aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$Y = P \tan \Omega \quad (31)$$

Eşitlik (30) düzenlenerek pencerenin güneş alma oranı  $F_s$  aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$F_s = 1 + \frac{G}{H} - \frac{P}{H} \tan \Omega, \quad 0 \leq F_s \leq 1 \quad (32)$$

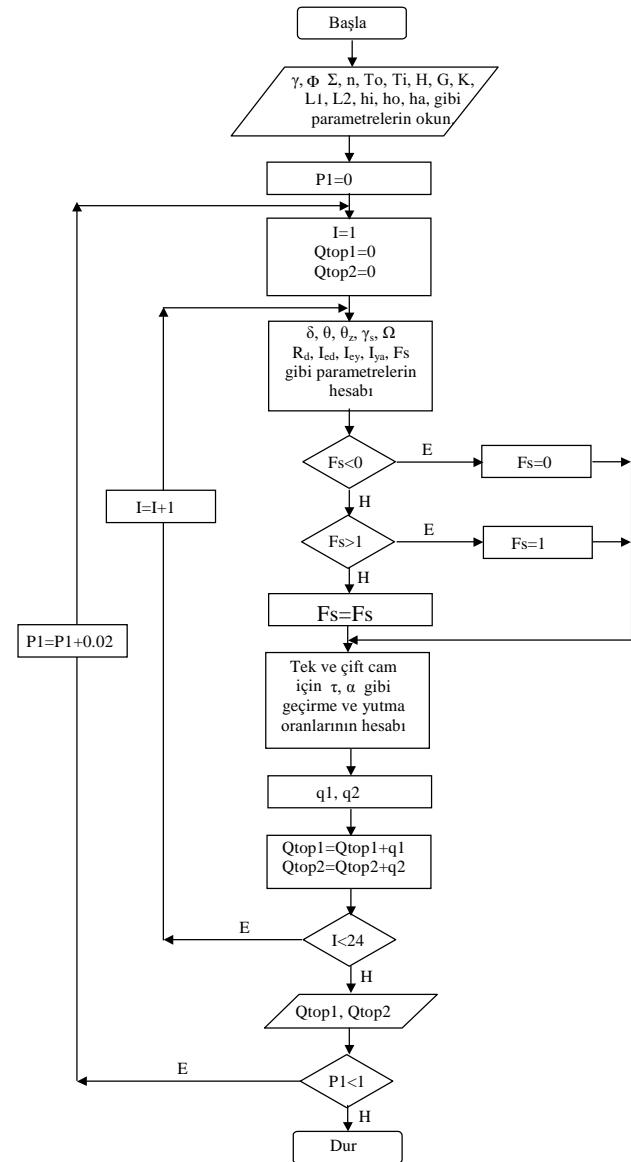
Burada  $\Omega$  profil açısı olup  $\beta$  güneş yükseklik açısı  $\gamma$

yüzey azimut açısı ve  $\gamma_s$  güneş azimut açısına bağlı olarak aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır.

$$\tan \Omega = \frac{\tan \beta}{\cos(\gamma_s - \gamma)} \quad (33)$$

### Bilgisayar Programı

Bu çalışmada, tek cam ve çift camın ısı kazanç ve kaybı açısından pencere çıkıntularına etkisini inceleyebilmek için pencerenin yönleri de dikkate alınarak bir program geliştirilmiştir. Şekil 6' da akış diyagramı verilen bu



Şekil 6. Bilgisayar Programının Akış Diyagramı

program ile yaz ve kış iklim şartlarındaki cam yüzeylerden geçen ısı miktarı, çıkıntı boyutlarını da dikkate alarak hesaplanmıştır.

Isı miktarları hesaplanırken gün boyunca ortalama değeri bulunarak kullanılmıştır. Bu çalışmada 3 mm kalınlığında tek tabaka pencere camı ile her biri 3 mm kalınlığında arasında  $h_a=5.56\text{W}/\text{m}^2\text{K}$  taşınım katsayısına sahip hava boşluğu bulunan çift tabaka pencere camı kullanılmıştır. İçteki ve dıştaki taşınım katsayıları ise sırasıyla  $h_i=7\text{W}/\text{m}^2\text{K}$  ve  $h_o=22\text{W}/\text{m}^2\text{K}$  olarak alınmıştır. Kırılma indisi 1.526 ve ışınımı azaltma katsayısı  $0.03\text{mm}^{-1}$  olan ısıyı emen cam kullanılmıştır. Hesaplamalar Elazığ' da yazın en sıcak günlerinden biri olan 15 Temmuz ve kışın en soğuk günlerinden biri olan 15 Ocak için yapılmıştır. Hesaplamalar sırasında kullanılan dış ortam sıcaklıkları, 15 Temmuz ve 15 Ocak için meteorolojiden 2002 yılından itibaren geriye doğru altı yılın ortalaması alınmıştır. İç ortam sıcaklığı ise  $23\text{ }^\circ\text{C}$  olarak sabit alınmıştır.

## SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, İlk önce  $G/H \cong 0.4$  ( $H=1.3\text{ m}$  için  $G \cong 0.5\text{ m}$ ) seçilerek (bina uygulamasında çokça kullanılan bir değer olduğu için),  $P/H'$  in, ısı kazanç ve kaybına olan etkisi tek ve çift cam için incelenmiştir. Daha sonra da,  $P/H=0.6$  alınarak  $G/H'$  in ısı kazanç ve kaybına olan etkisi yine tek ve çift cam için incelenerek grafikler halinde verilmiştir.

Tek ve çift camlı pencereler boyunca geçen ısı miktarı arasındaki farkı daha iyi görebilmek için sırasıyla güney, kuzey, doğu ve batı pencereleri boyunca  $P/H'$  in ısı kazanç ve kayıplarına olan etkileri tek ve çift cam için birlikte ele alınarak Şekil 7, 8, 9, 10, 11 ve 12' deki gibi çizdirilmiştir. Ayrıca  $G/H'$  in ısı akısına olan etkisi de tüm yönler birlikte ele alınarak yaz ve kış şartları için sırasıyla Şekil 13 ve 14' deki gibi çizdirilmiştir.

Şekil 7' de görüldüğü gibi 15 Temmuz' da güneye bakan tek camlı pencerede hiç çıkıntı yokken ısı akısı

yaklaşık olarak  $105\text{ W}/\text{m}^2$  iken çift camlı pencerede bu değer  $74\text{ W}/\text{m}^2$  olmuştur. Çıkıntı genişliği artmaya başlayınca özellikle  $P/H=0.1$  değerinden itibaren her iki camda da ısı akısının hemen hemen aynı oranda azalmaya başladığı ve  $P/H=0.42'$  den itibaren de değişimin sabit olduğu görülmektedir. Yani  $H=1.3\text{ m}$  yüksekliğindeki bir pencere için,  $P=0.55\text{ m}$  genişliğindeki bir çıkıntı ile ısı kazancı yaklaşık olarak tek camlı pencerede  $34\text{ W}/\text{m}^2$  miktarında, çift camlı pencerede ise  $30\text{ W}/\text{m}^2$  miktarında azalma olmuştur. Kışın 15 Ocak' ta ise çıkıntı genişliği artırıldığı zaman tek ve çift cam için  $P/H$  0.7 değerine kadar, değişimin olmadığı bu değerden sonra ise her iki pencere için de ısı kaybında aynı oranda artış olduğu görülmektedir (Şekil 8).

Şekil 9 ve 10' da görüldüğü gibi 15 Temmuz' da kuzeye bakan tek camlı pencerede hiç çıkıntı yokken ısı kazancı yaklaşık olarak  $94\text{ W}/\text{m}^2$  iken çift camlı pencerede bu değer  $64\text{ W}/\text{m}^2$  dir. 15 Ocak' ta ise yine hiç çıkıntı yokken tek camlı pencerede ısı kaybı yaklaşık olarak  $125\text{ W}/\text{m}^2$  iken çift camda bu değer  $61\text{ W}/\text{m}^2$  olmuştur. Bu şekillerden görüldüğü gibi yaz ve kış şartlarında kuzeye bakan pencerelerde çıkıntı genişliğinin artması tek ve çift camlı pencerelerin her ikisinde de ısı kazanç ve kaybını değiştirmedikenden çıkıntılarının önemi olmadığı görülmüştür. Çünkü kuzeye bakan pencereler gün boyunca direkt ışınımı oldukça az aldığından bu pencerelerde çıkıntılara gerek kalmamaktadır.

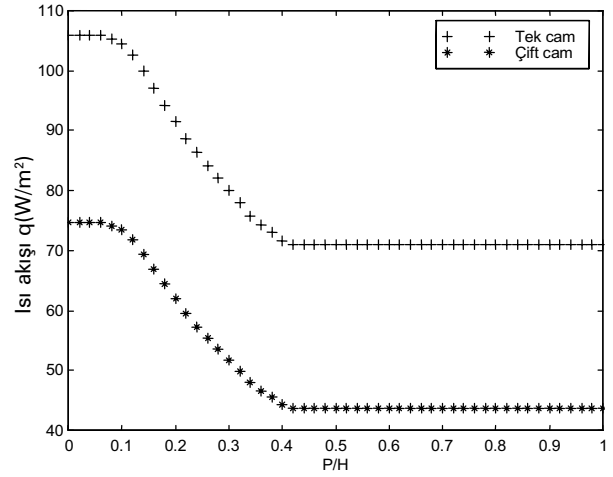
Şekil 11 ve 12' de görüldüğü gibi doğu ve batıya bakan pencereler, güneşin simetrik hareketlerinden dolayı benzer davranış göstermişlerdir. Doğru ve batıya bakan tek camlı pencerede hiç çıkıntı yokken ısı kazancı yaklaşık olarak  $157\text{ W}/\text{m}^2$  iken çift camlı pencerede bu değer  $120\text{ W}/\text{m}^2$  dir. Çıkıntı genişliği arttıkça tek ve çift camın her ikisinde de yazın ısı kazancı aynı oranda ve sürekli azalırken, kışın ise ısı kaybı artma göstermiştir. Fakat bu etki, yazın daha büyük olmuştur. Çünkü, bu yöndeki pencerelere örneğin  $P/H=1$  olan bir çıkıntı yerleştirilirse yazın tek ve çift camlı pencerelerin her ikisinde de ısı kazancı yaklaşık olarak  $31\text{ W}/\text{m}^2$  miktarında azalırken

kışın ısı kaybında her iki pencerede de yaklaşık olarak  $3,5 \text{ W/m}^2$  lik bir artış olmuştur. Böylece yaz şartları, çıkıntı genişliğini hesaplamak için daha uygun olmaktadır ve P/H değerinin büyük seçilmesinin (bu değer 1 olabilir) ısı kazancını azaltması bakımından daha etkili olacağı görülmüştür. Ayrıca burada görüldüğü gibi, doğu ve batı pencerelerinde P/H=1 olan bir çıkıntıyla sağlanan ısı kazancındaki bu azalma miktarını güneye bakan pencerede (P/H=0.42 olan) daha küçük bir çıkıntı genişliği ile sağlanmaktadır.

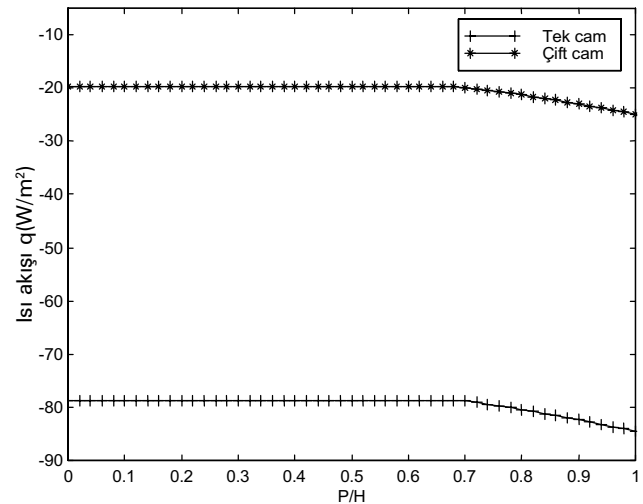
Bununla beraber Şekil 13 ve 14, sırasıyla 15 Temmuz ve 15 Ocak'ta pencerenin tek cam ve çift cam olması durumunda tüm yönler için G/H 'ın ısı akısına göre değişimlerini göstermektedir. Çıkıntı genişliğinin ısı akısına göre değişimlerinde olduğu gibi burada da hem yaz hem de kış şartlarında aynı yöndeki tek cam ve çift camın değişen çıkıntı aralıkları boyunca ısı akısı değişimlerinin sadece belirli bir kayma yaparak aynı paralellikte devam ettiği görülmektedir. Ayrıca,[15] numaralı kaynakta tek camlı pencerede çıkıntı aralığının ısı akısına etkileri için elde edilen sonuçların çift camlı pencere durumunda da geçerli olduğu görülmüştür. Yani tek ve çift cam için çıkıntı aralığının yazın güney ve kuzeye bakan pencerelerde önemli olmadığı, doğu ve batıya bakan pencerelerde bu aralığın artması ısı kazancında artmaya sebep olduğu görülmüştür. Kışın ise yine tek ve çift cam için, çıkıntı aralığının kuzey pencerelerde etkisinin olmadığı, doğu ve batı pencerelerinde çok az bir etkiye sahip olduğu ancak güneyde ise bu oranın artmasının ısı kaybını azalttığı görülmüştür. Özellikle G/H oranının 0.34' ün altında olmasının ısı kaybını artırdığı görülmüştür. Bu oranın üzerinde olması ise ısı akısını değiştirmemiştir. Dolayısıyla P/H=0.6 için G/H=0.34 (H=1.3 m için  $G \cong 0.44 \text{ m}$ ) değerinde veya üzerinde seçilmesi her iki cam için uygun görülmüştür.

Sonuç olarak, bütün bu şekillerden de görüldüğü gibi pencerenin tek cam yerine çift cam olmasının çıkıntı boyutlarını değiştirmede, sadece ısı akısının (ısı kazanç ve kayıplarının) miktarını değiştirdiği görülmektedir.

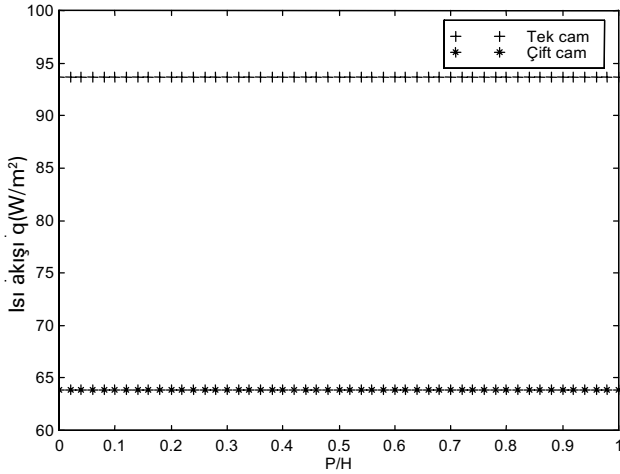
Pencerenin çift cam olması tek camlı pencereye göre yazın ısı kazancını, güneye bakan pencerede yaklaşık olarak  $31 \text{ W/m}^2$ , kuzeye bakan pencerede  $30 \text{ W/m}^2$ , doğu ve batıya bakan pencerelerde ise  $37 \text{ W/m}^2$  azaltmıştır. Kışın ise ısı kaybını, güneye bakan pencerede yaklaşık olarak  $58 \text{ W/m}^2$ , kuzeye bakan pencerede  $64 \text{ W/m}^2$ , doğu ve batıya bakan pencerelerde ise yine  $64 \text{ W/m}^2$  azaltmıştır. Dolayısıyla pencerenin tek cam yerine çift cam olması halinde, tüm yönlerde kışın ısı kaybını azaltmadaki etkisi, yazın ısı kazancını azaltmadaki etkisinden yaklaşık olarak  $30 \text{ W/m}^2$  yani iki kat daha fazla olmuştur.



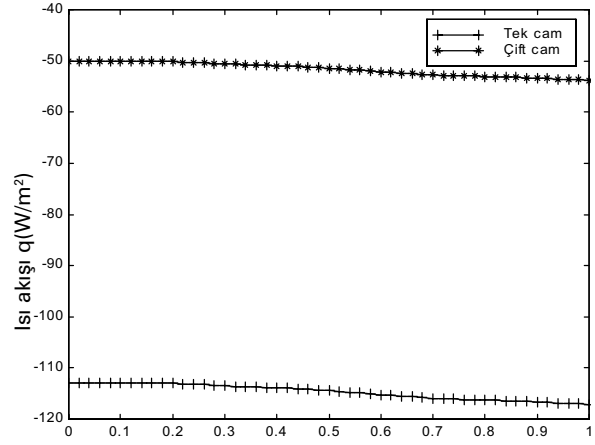
Şekil 7. 15 Temmuz'da Güneye Bakan Bir Pencerenin Tek Cam ve Çift Cam Olması Durumunda Çıkıntı Genişliğinin Pencere Yüksekliğine Oranının Isı Akısına Etkisi (G/H=0.4).



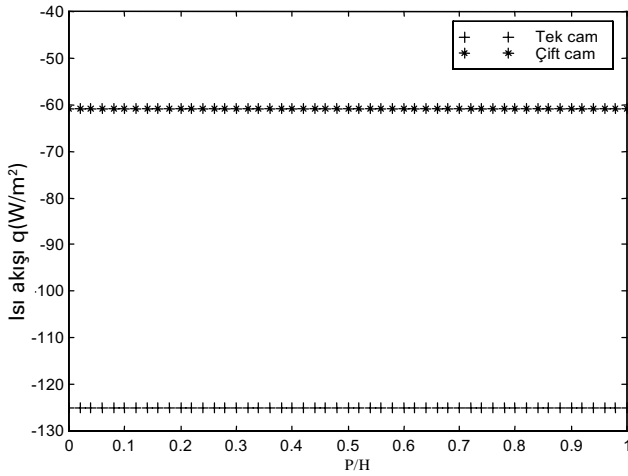
Şekil 8. 15 Ocak'ta Güneye Bakan Bir Pencerenin Tek Cam ve Çift Cam Olması Durumunda Çıkıntı Genişliğinin Pencere Yüksekliğine Oranının Isı Akısına Etkisi (G/H=0.4)



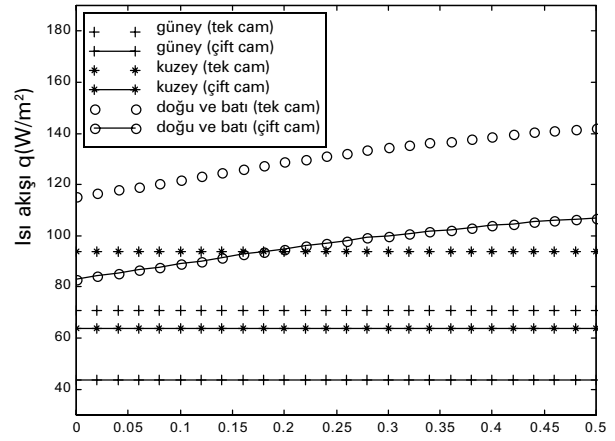
Şekil 9. 15 Temmuz' da Kuzeye Bakan Bir Pencerenin Tek Cam ve Çift Cam Olması Durumunda Çıkıntı Genişliğinin Pencere Yüksekliğine Oranının Isı Akısına Etkisi ( $G/H=0.4$ ).



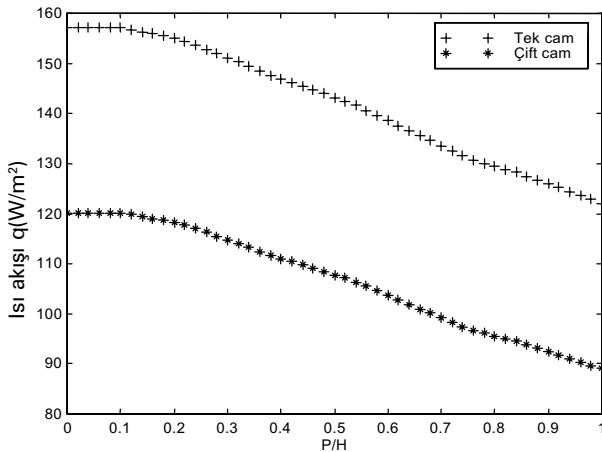
Şekil 12. 15 Ocak' ta Doğu ve Batıya Bakan Bir Pencerenin Tek Cam ve Çift Cam Olması Durumunda Çıkıntı Genişliğinin Pencere Yüksekliğine Oranının Isı Akısına Etkisi ( $G/H=0.4$ ).



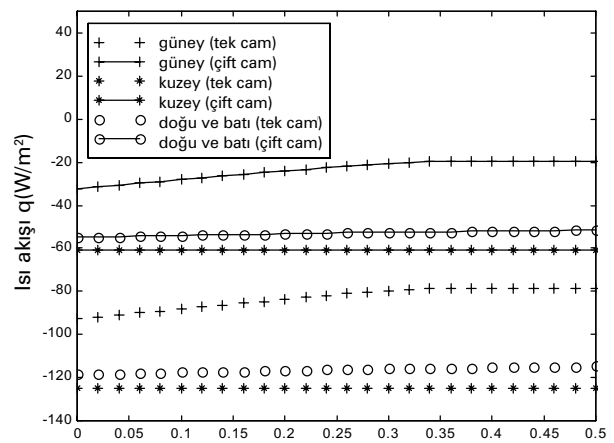
Şekil 10. 15 Ocak' ta Kuzeye Bakan Bir Pencerenin Tek Cam ve Çift Cam Olması Durumunda Çıkıntı Genişliğinin Pencere Yüksekliğine Oranının Isı Akısına Etkisi ( $G/H=0.4$ ).



Şekil 13. 15 Temmuz' da Güney, Kuzey, Doğu ve Batıya Bakan Bir Pencerenin Tek Cam ve Çift Cam Olması Durumlarında Çıkıntı Aralığının Pencere Yüksekliğine Oranının Isı Akısına Etkisi ( $P/H=0.6$ ).



Şekil 11. 15 Temmuz' da Doğu ve Batıya Bakan Bir Pencerenin Tek Cam ve Çift Cam Olması Durumunda Çıkıntı Genişliğinin Pencere Yüksekliğine Oranının Isı Akısına Etkisi ( $G/H=0.4$ ).



Şekil 14. 15 Ocak' ta Güney, Kuzey, Doğu ve Batıya Bakan Bir Pencerenin Tek Cam ve Çift Cam Olması Durumlarında Çıkıntı Aralığının Pencere Yüksekliğine Oranının Isı Akısına Etkisi ( $P/H=0.6$ ).



## SEMBOLLER

|            |  |
|------------|--|
| $a$        | Belli bir mesafede ışınımın geçirilen kesri                                |
| $\alpha$   | Yutma oranı  |
| $\beta$    | Güneş yükseklik açısı, (derece)  |
| $\delta$   | Deklinasyon açısı, (derece)  |
| $F_s$      | Pencerenin güneş alma oranı  |
| $\Omega$   | Profil açısı, (derece)   |
| $\phi$     | Enlem, (derece)  |
| $\gamma$   | Yüzey azimut açısı, (derece)   |
| $\gamma_s$ | Güneş azimut açısı, (derece)   |
| $h_a$      | Çift cam arasındaki gazın taşınım katsayısı, ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ ) |
| $h_i$      | İçteki taşınım katsayısı, ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ )                    |
| $h_o$      | Dıştaki taşınım katsayısı, ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ )                   |
| $I$        | Eğik düzleme gelen anlık tüm güneş ışınımı, ( $W/m^2$ )                    |
| $I_a$      | Yatay düzleme gelen tüm güneş ışınımı, ( $W/m^2$ )                         |
| $I_d$      | Yatay düzleme gelen direkt güneş ışınımı, ( $W/m^2$ )                      |
| $I_y$      | Yatay düzleme gelen yayılı güneş ışınımı, ( $W/m^2$ )                      |
| $I_{cd}$   | Eğik düzleme gelen direkt güneş ışınımı, ( $W/m^2$ )                       |
| $I_{ey}$   | Eğik düzleme gelen yayılı güneş ışınımı, ( $W/m^2$ )                       |
| $I_{ya}$   | Eğik düzleme yansıtılarak gelen güneş ışınımı, ( $W/m^2$ )                 |
| $K$        | Homojen ortamın ışınımı azaltma katsayısı, ( $m^{-1}$ )                    |
| $L$        | Saydam örtünün kalınlığı, (m)  |
| $L'$       | Işınımın kat ettiği mesafe, (m)  |
| $\Sigma$   | Eğim açısı, (derece)   |
| $\omega$   | Saat açısı, (derece)   |
| $\rho$     | Yansıtma oranı   |
| $T_i$      | İç ortam sıcaklığı, ( $^\circ C$ )   |
| $T_o$      | Dış ortam sıcaklığı, ( $^\circ C$ )  |
| $\tau$     | Geçirme oranı  |
| $\theta$   | Güneşin geliş açısı, (derece)  |
| $\theta'$  | Kırılma açısı, (derece)  |
| $\theta_z$ | Zenit açısı, (derece)  |

## KAYNAKÇA

1. **Sezen, Y.**, (1998), "Pencere Tasarımı", ASHRAE Temel El Kitabı, Ankara.
2. **ASHRAE Handbook Fundamentals**, (1977), Air Conditioning Engineers Inc. New York.
3. **Wang, S.K.**, 1993, Handbook of Air Conditioning And Refrigeration. McGraw-Hill.
4. **Threlkeld, J.L.**, (1970), "Thermal Environmental Engineering", Prentice-Hall, New Jersey.
5. **Budin, R. And Budin, L.**, (1982), "A Mathematical Model for Shading Calculations". Solar Energy, 29, 339-349
6. **Sharp, K.**, (1982), "Calculation of Monthly Average Insolation on Ashaded Surface at any Tilt and Azimuth", Solar Energy, 28,531-538
7. **Liu, B. Y. H. and Jordan, R. C.**, (1962), "Daily Insolation on Surfaces Tilted Toward the Equator", ASHRAE Trans. 526-541.
8. **Klein, S. A.**, (1977), "Calculation of Monthly Average Insolation on Titled Surfaces", Solar Energy 19, 325-329.
9. **Uttinger, D. M. and Klein, S. A.**, (1979), "Method of Estimating Monthly Average Solar Radiation of Shaded Receivers", Solar Energy 24, 369-378.
10. **Kılıç, A. and Öztürk, A.**, (1983), "Güneş Enerjisi", Kipaş Dağıtımçılık, İstanbul.
11. **Duffie J.A. and Beckman, W.A.**, (1991), "Solar Engineering of Thermal Processes". John Wiley and Sons, inc., New York.
12. **Raeissi, S. And Taheri, M.**, (1998), "Optimum Overhang Dimensions for Energy Saving", Building and Environment, Vol. 33, No. 5, pp. 293-302.
13. **Davies, M. G.**, (1980), "Useful Solar Gains Through a South-Facing Window in the U.K. Climate", Building and Environment, Vol. 15, pp. 253-272.
14. **Hamdan, M. A.**, (1994), "Thermal Gains Through Windows", Energy Conversion Management, Vol. 35, No. 6, pp.501-506.
15. **Özel, M. ve Pıhtılı, K.** (2004), "Binalardaki Pencere Çıkıntılarının Isı Kazanç ve Kayıplarına Olan Etkilerinin Analizi", Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 24, 101-108.