

OPTİMUM HAVA TABAKASINA SAHİP ÇİFT CAMLI PENCERELERİN YAKIT TÜKETİMİ VE EMİSYON AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

*Okan KON**

Alınma: 28.01.2016; düzeltme:11.07.2016; kabul: 31.08.2016

Öz: Çalışmada, farklı derece-günler için optimum hava tabakası kalınlığına sahip çift camlı pencerelerin tek camlı pencerelere göre yakıt tüketimi, CO₂ ve SO₂ emisyonu azalımı incelenmiştir. CO₂ ve SO₂ emisyonu azalımı incelemeleri yanma denklemlerine göre yapılmıştır. Yakıt olarak kömür, doğal gaz ve fuel-oil kullanılmıştır. 1000-6000 arasındaki derece-günler için hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalarda ömür maliyet analizi ve derece-gün metodu kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Optimum Hava Tabakası Kalınlığı, Çift Camlı Pencere, Ömür Maliyet Analizi, Derece-Gün Metodu

An Evaluation of Fuel Consumption and Emission for Double Glazed Windows That Have Optimum Air Layer

Abstract: In this study, CO₂ and SO₂ emission reductions and fuel consumption were examined for double-glazed windows that have optimum air layer thickness compared to single glazed windows in different degree-days. CO₂ and SO₂ emissions reductions tests were performed according to the combustion equations. Coal, natural gas and fuel oil were used as fuel. Calculations were made for degree-days between 1000-6000. Life cycle cost analysis and degree-days method were used in the calculations.

Keywords: Optimum Air Layer Thickness, Double Glazed Window, Life Cycle Cost Analysis, Degree-Day Method

1. GİRİŞ

Hızlı nüfus artışı, şehirleşme ve yaşam kalitesinin enerjiye bağlı olarak yükselmesi enerji tüketimini arttırmıştır. Enerji tüketimindeki bu hızlı artış maliyet ve çevre sorunlarını beraberinde getirmiştir. Yüksek enerji kullanımının çevreye olan olumsuz etkileri göz ardı edilmiştir. Ancak son yıllarda fosil yakıt tüketimindeki hızlı artış atmosfere salınan fosil yakıt kaynaklı atık gazların da hızlı artmasına neden olmuştur. Bu ise şehirlerde çevre kirliliği, küresel ölçekte ise iklim değişikliğine sebep olmaktadır (Ulaş, 2010).

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 yapı bileşenlerindedir. Büyük ısı kayıplarına sebep olan bu yüzeyler güneşli kış günlerinde ışınlama ile ısı kazancı sağlamalarına karşın, kapalı kış günlerinde kazanç çok az olduğu için dışarıya olan ısı kayıpları nedeniyle toplamda binanın ısı ihtiyacının artmasına neden olurlar (Bektaş, B. ve Aksoy, U.T.,2005).

* Balıkesir Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü
İletişim Yazarı: Okan KON (okan@balikesir.edu.tr)

Tipik bir binada ısı kaybı; % 40 dış duvarlardan, % 30 pencerelerden, % 17 kapılardan, % 7 çatıdan ve % 6 döşemeden meydana gelmektedir. Görüldüğü gibi binalarda toplam ısı kaybının yaklaşık üçte biri pencerelerden meydana gelmektedir. Pencerelelerinden enerji kaybını azaltmanın bir yolu da iki ya da üç bölmeli pencereler kullanmaktır (Arıcı ve Karabay 2010).

Pencerelelerinin enerji performansını kullanan bileşenlerin (cam, çerçeve, boşluk çitası, boşluğu oluşturan gaz) optik ve termofiziksel özellikleri etkilediği gibi, pencerelelerinin bulunduğu iklim bölgesi (ısıtma ve soğutma gerektiren dönemlerin uzunluğu), camlı yüzeyin boyutları ve yönü de etkiler. Pencere bileşenlerinin ortalama ısı geçirme katsayısı olan U değeri, pencereyi oluşturan opak ve şeffaf bileşenlerin alanına bağlı olarak hesaplanan, birim alan için kondüksiyon, konveksiyon ve ışıma yolları ile ısı transferi miktarını belirtir (Ayçam, 2006).

Türkiye’de binaların yaklaşık % 87’de tek camlı pencere, % 9’da çift camlı pencere ve yalnızca % 4’de ise düşük emstiviteli çok kat camlı pencere kullanılmaktadır (Arıcı ve Karabay, 2010).

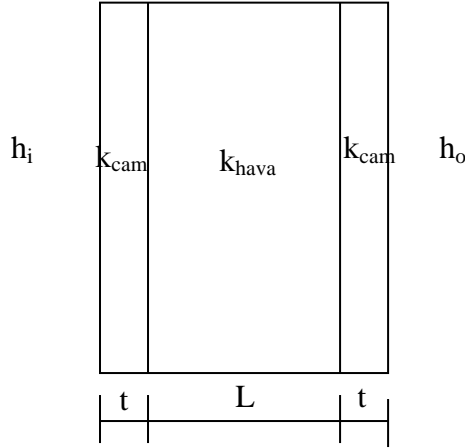
Literatürde yapılan çalışmaları incelersek, Arıcı M. ve Karabay H.(2010) yaptıkları çalışmada, çift camlı pencerelerin optimum hava tabakası kalınlığını derece-gün metodu kullanarak belirlemişlerdir. Hesaplamalar, Türkiye’nin farklı iklim bölgelerindeki İskenderun, Kocaeli, Ankara ve Ardahan için yapılmıştır. Yakıt olarak kömür, doğal gaz, fuel-oil, elektrik ve LPG kullanılmıştır. Yakıt tipi temel sıcaklık ve iklim bölgesine bağlı olarak optimum hava tabakası kalınlığı 12 ile 15 mm arasında değiştiği bulunmuştur. İyi optimize edilmiş camlı pencerelerin % 60’a kadar enerji tasarrufu sağladığı tespit edilmiştir. Karabay H ve Arıcı M.(2012) yaptıkları diğer bir çalışmada farklı iklim bölgelerindeki Ardahan, Van, Ankara, Malatya, Sinop, Kocaeli, İzmir ve İskenderun için çoklu camlı pencerelerin termoeconomik optimizasyonu derece-gün metodu kullanarak yapılmıştır. Yakıt olarak, doğal gaz, kömür, fuel-oil ve LPG kullanılmıştır. Türkiye’deki soğuk iklimlerde çoklu camlı pencere kullanımının ısıtma ömründe enerji tasarrufu 1200 \$/m² kadar eriştiği bulunmuştur. Keçebaş A. (2015) yaptığı çalışmada, farklı yakıtlar kullanıldığında değişik çaplardaki boruların optimum yalıtım kalınlığı belirlenmiştir. Boruların optimum yalıtım kalınlığı, toplam ekserjetik çevre etkisi, net tasarruf ve geri dönüş periyodu açısından hesaplanmıştır. Çevre ve yanma parametrelerinin üzerine yalıtım kalınlığının etkisi detaylı analiz edilmiştir. Sonuçlar göstermiştir ki yanma odasının sıcaklığı ve baca gazının sıcaklığı ile yanma odasına girişte yakıtın sıcaklığı optimum yalıtım kalınlığını etkiler. Sonuç olarak borularda çap büyüdükçe optimum yalıtım kalınlığı ile çok yüksek net tasarruf elde edilmektedir. Yıldız A., Ersöz M. A. (2016) yaptıkları çalışmada Uşak şehri için rüzgar hızının HVAC kanallarının optimum yalıtım kalınlığına etkisi araştırılmıştır. 0.2 ile 7 m/s rüzgar hızları için optimum yalıtım kalınlığı hesaplanmıştır. Yakıt olarak kömür, fuel-oil, LPG ve doğal gaz kullanılmıştır.P1-P2 derece-gün metoduna göre hesaplamalar yapılmıştır. 400 mm kanal için 12.85 ile 23.91 cm optimum yalıtım kalınlığı bulunmuştur. Çomaklı K. ve Yüksel B. (2004) yaptıkları çalışmada, binalarda ısı kayıplarının azaltılması için kullanılan ısı yalıtımının çevresel etkisini araştırmışlardır. Türkiye’nin en soğuk illerinden Erzurum ili için çalışma yapılmıştır. Yakıt olarak fueloil, yalıtım malzemesi olarak stropor kullanılmıştır. Hesaplamalar derece-gün metoduna göre yapılmıştır. Kon O., Bulgurcu H., Yüksel B. (2013) yaptıkları çalışmada, Balıkesir ilindeki konut dışı farklı amaçlarla kullanılan bir binanın, farklı olan her kullanım hacminin çift camlı pencereleri için optimum hava tabakası kalınlığı tespit edilmiştir. Bunun için pencerelerin ışıma ve taşınım ile oluşan ısı transfer katsayısı tespit edilmiştir. Buna bağlı olarak hesaplamalar derece-gün yöntemi ve ömür maliyet analizi ile yapılmıştır. Ek olarak, binanın her hacmi için yakıt tüketimi ve yakıt azalımı hesaplanmıştır. Yakıt olarak kömür, doğal gaz, fuel-oil ve LPG kullanılmıştır.

Çalışmada amaç, farklı derece-günler için optimum hava tabakasına sahip çift camlı pencerelerin tek camlı pencerelere göre yakıt tüketimini, CO₂ ve SO₂ emisyonu azalımını incelemektir. Bunun için ara boşluk dolgusu hava olan çift camlı pencerelerin ara boşluk kalınlığına göre ısı transfer katsayısı değişimini gösteren polinom fonksiyonu denklemi bulunmuştur. Daha sonra çift camlı pencere için optimum hava tabakası kalınlığı farklı derece-

gün değerlerine göre hesaplanmıştır. Kömür, doğal gaz, fuel-oil yakıtlar için tek ve çift camlı pencerelere göre yakıt tüketimleri, CO₂ ve SO₂ emisyonları hesaplanmıştır. CO₂ ve SO₂ emisyonu azalımı incelenirken yanma denklemleri kullanılmıştır. Son olarak çift camlı pencerelerin tek camlı pencerelere göre yakıt tüketimi, CO₂ ve SO₂ emisyonu azalımı tespit edilmiştir. 1000-6000 arasındaki derece-günler için hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalarda ömür maliyet analizi ve derece-gün metodu kullanılmıştır.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Optimum Hava Tabası Kalınlığı ve Yakıt Tüketimi Hesabı:



Şekil 1:
Çift Camlı Pencerenin Tabakaları (Arıcı ve Karabay, 2010)

Pencereler boyunca birim alan başına ısı kaybı (Arıcı ve Karabay, 2010; Kon ve diğ., 2013),

$$q = U.(T_b - T_0) \quad (1)$$

bulunur. Burada U, genel ısı transfer katsayısıdır. T_b, temel sıcaklık ve T₀ ortalama günlük sıcaklıktır.

Derece-gün metoduna göre ısı enerjisi,

$$E = 86400.IDG.U \quad (2)$$

elde edilir. Burada IDG, ısıtma derece-gündür. Isıtma sistemi verimi düşülerek, yıllık ısıtma yükü:

$$E_A = \frac{86400.IDG.U}{\eta_s} \quad (3)$$

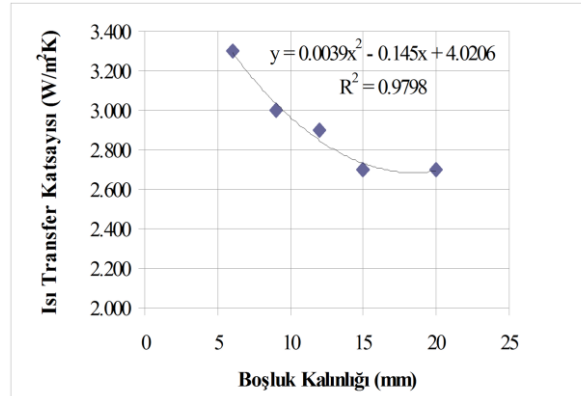
Çift Cam için Isı Transfer Katsayısı:

$$U_{\zeta} = \frac{1}{(1/h_i) + (t/k_{cam}) + (L/h_{toplam}) + (t/k_{cam}) + (1/h_o)} \quad (4)$$

Tek Cam için Isı Transfer Katsayısı:

$$U_T = \frac{1}{(1/h_i) + (t/k_{cam}) + (1/h_o)} \quad (5)$$

Burada, h_i ve h_o , pencerenin iç ve dış yüzey ısı transfer katsayısıdır. İç yüzey ısı transfer katsayısı değeri $8.29 \text{ W/m}^2.\text{K}$, dış yüzey ısı transfer katsayısı değeri $34 \text{ W/m}^2.\text{K}$ dir. Şekil 1’de görülen; t , cam kalınlığıdır ve 4 mm alınmıştır. Termal iletkenliği $k_{cam}=0.92 \text{ W/m.K}$ dir. h_{toplam} , bölmeler arasında hava tabakasındaki ışınım ve taşınım ısı transfer katsayılarının toplamıdır. Cam malzemenin yansıtma oranı $\varepsilon=0.89$ alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Pencerenin ısı transfer katsayısı için fonksiyon üzerine, yansıtma özelliği göz önüne alınmamıştır. Bu değerlere bağlı olarak tek ve çift cam için ısı transfer katsayısı aşağıda verilmiştir (Arıcı ve Karabay, 2010;Ekici, 2003;Kon ve diğ. 2013).Şekil 2’de çift camlı pencere için ara boşluk kalınlığına göre ısı transfer katsayısı değişimi görülmektedir.



Şekil 2:

Çift Camlı Pencere için Ara Boşluk Kalınlığına Göre Isı Transfer Katsayısı Değişimi
(Ekinci, 2003)

Çalışmada; ısı transfer fonksiyonu, çift cam için genel ısı transfer katsayısı yukarıdaki verilere bağlı olarak tekrar yazılırsa:

$$U_{\zeta} = 0.0039L^2 - 0.145L + 4.0206 \quad (6)$$

bulunur. Burada, L pencerenin hava tabakası kalınlığı (mm) dir. R^2 değeri ise 0.9798 olarak bulunmuştur. Çift camlı pencere için yıllık ısıtma yükü tekrar yazılırsa:

$$E_A = \frac{86400.IDG}{\eta_s} (0.0039L^2 - 0.145L + 4.0206) \quad (7)$$

Yakıtın alt ısıl değerine bağlı olarak yıllık yakıt tüketimi miktarı:

$$M_f = \frac{86400.IDG}{\eta_s.H_u} (0.0039L^2 - 0.145L + 4.0206)$$

(8)

dir. Çift camlı pencere için birim alan başına yıllık ısıtma fiyatı, yakıtın birim fiyatı C_f için,

$$C_{A,D} = m_f.C_f \quad (9)$$

olur. N, ömür için, toplam enerji fiyatı için bugünkü değer faktörü,

$$PWF = \frac{(1+r)^N - 1}{r.(1+r)^N} \quad (10)$$

i, faiz oranı ve g ise enflasyon oranı için,

$$i > g \text{ ise } r = \frac{i - g}{1 + g} \quad (11)$$

$$i < g \text{ ise } r = \frac{g - i}{1 + i} \quad (12)$$

$$i = g \text{ ise } PWF = \frac{N}{1 + i} \quad (13)$$

dir. Çift camlı pencerenin yatırım fiyatı, pazar araştırmasında elde edilen verilere bağlı olarak (Arıcı ve Karabay 2010),

$$C_l = 0.2759L + 20.475 \quad (14)$$

elde edilir. Çift camlı pencere için fonksiyon, denklem (9), (10) ve (14) tekrar düzenlenirse;

$$C_T = C_{A,D}.PWF + C_l \quad (15)$$

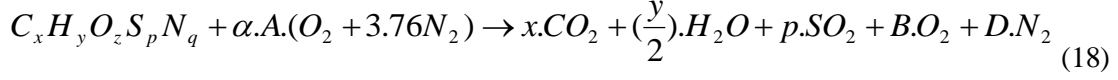
$$C_T = \frac{86400.IDG}{\eta_s.H_u} (0.0039L^2 - 0.145L + 4.0206).C_f.PWF + 0.2759L + 20.475 \quad (16)$$

elde edilir. Sonuç olarak, iki cam arasında optimum hava tabakası kalınlığı, denklem (16)'nın L'ye göre türevini sıfır yapan değerdir ve aşağıdaki gibi bulunur (Arıcı ve Karabay, 2010),

$$x_{opt} = \frac{86400.IDG}{\eta_s.H_u} (0.0078L - 0.145).C_f.PWF + 0.2759 \quad (17)$$

2.2. Yanma Denklemleri

Yakıtın yanma denkleminin genel kimyasal formülü (Çomaklı ve Yüksel, 2004);



dir. A,B ve D için oksijen denkleştirilirse,

$$A = \left(x + \frac{y}{4} + p - \frac{z}{2}\right) \quad (19)$$

$$B = (\alpha - 1) \left(x + \frac{y}{4} + p - \frac{z}{2}\right) \quad (20)$$

$$D = 3.76 . \alpha . \left(x + \frac{y}{4} + p - \frac{z}{2}\right) + \frac{q}{2} \quad (21)$$

olur. Burada CO ve NO_x emisyonları ihmal edilmiştir. 1 kg yakıtın yanmasıyla üretilen yanma emisyon oranları aşağıda verilmiştir;

$$M_{CO_2} = \frac{x . CO_2}{\dot{M}} \equiv \text{kg CO}_2/\text{kg Yakıt} \quad (22)$$

$$M_{SO_2} = \frac{p . SO_2}{\dot{M}} \equiv \text{kg SO}_2/\text{kg Yakıt} \quad (23)$$

yukarıdaki denklemlerin sağ tarafı yakılan toplam yakıtın miktarı M_f yazılarak türetilirse, CO₂ ve SO₂ toplam emisyonları aşağıdaki gibi bulunur.

$$M_{CO_2} = \frac{44x}{\dot{M}} M_f \text{ kg/m}^2 \quad (24)$$

$$M_{SO_2} = \frac{64.p}{\dot{M}} . M_f \text{ kg/m}^2 \quad (25)$$

M yakıtın mol ağırlığıdır ve aşağıdaki gibi bulunur (Çomaklı ve Yüksel, 2004).

$$\dot{M} = 12x + y + 16z + 32p + 14q \text{ kg / kmol} \quad (26)$$

2.3 Hesaplama Kullanılan Değerler: Tablo 1’de hesaplamalarda kullanılan mali değerler, Tablo 2’de yakıtlar ve özellikleri, Tablo 3’de ise yakıtların kimyasal formülleri verilmiştir.

Tablo1. Hesaplamalarda Kullanılan Mali Değerler (Yildiz ve Ersöz, 2016)

Parametre	Değer
Faiz Oranı	4.5
Enflasyon Oranı	9.4
Ömür (yıl)	10

Tablo 2. Yakıtlar ve Özellikleri (Yildiz ve Ersöz, 2016)

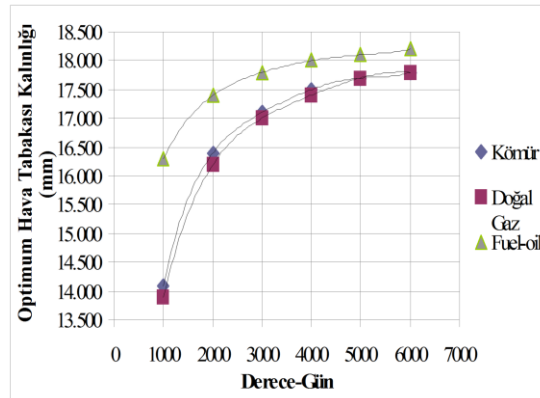
Yakıt	Fiyat	Alt Isıl Değeri (H_u)	Verim (η_s)
Kömür	0.2216 \$/kg	$29.295 \cdot 10^6$ J/kg	0.65
Doğal Gaz	0.3601 \$/m ³	$34.526 \cdot 10^6$ J/m ³	0.93
Fuel-oil	0.7340 \$/kg	$40.594 \cdot 10^6$ J/kg	0.80

Tablo 3. Yakıtların Kimyasal Formülleri (Keçebaş, 2015)

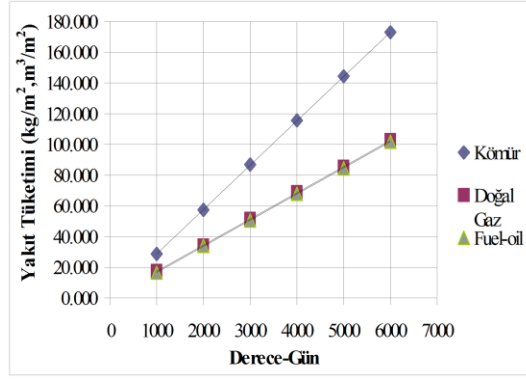
Yakıt	Kimyasal Formül
Kömür	$C_{7.078}H_{5.149}O_{0.517}S_{0.01}N_{0.086}$
Doğal Gaz	$C_{1.05}H_4O_{0.034}N_{0.022}$
Fuel-oil	$C_{7.3125}H_{10.407}O_{0.04}S_{0.026}N_{0.02}$

3. BULGULAR

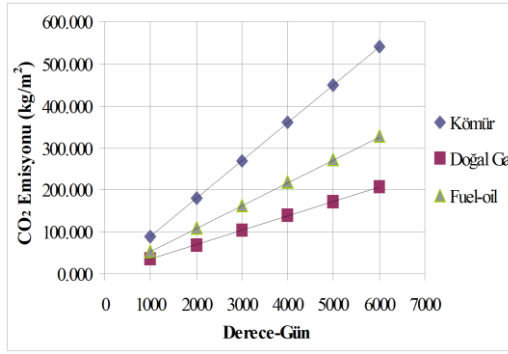
Şekil 3’de çift camlı pencere için derece-güne bağlı optimum hava tabakası kalınlığı, Şekil 4’de tek camlı pencere için derece-güne bağlı yakıt tüketimi değişimi (yakıt tüketimi; kömür ve fuel-oil için kg/m², doğal gaz için m³/m²), Şekil 5’te tek camlı pencere için derece-güne bağlı a) CO₂ emisyonu değişimi b) SO₂ emisyonu değişimi, Şekil 6’da optimum hava tabakasına sahip çift camlı pencere için derece-güne bağlı yakıt tüketimi değişimi (yakıt tüketimi; kömür ve fuel-oil için kg/m², doğal gaz için m³/m²), Şekil 7’de optimum hava tabakasına sahip çift camlı pencere için derece-güne bağlı a) CO₂ emisyonu değişimi b) SO₂ emisyonu değişimi, Şekil 8’de tek camlı pencere ile optimum hava tabakasına sahip çift camlı pencere için derece-güne bağlı yakıt tüketimi farkı ve Şekil 9’da tek camlı pencere ile optimum hava tabakasına sahip çift camlı pencere için derece-güne bağlı a) CO₂ emisyonu farkı b) SO₂ emisyonu farkı verilmiştir.

**Şekil 3:**

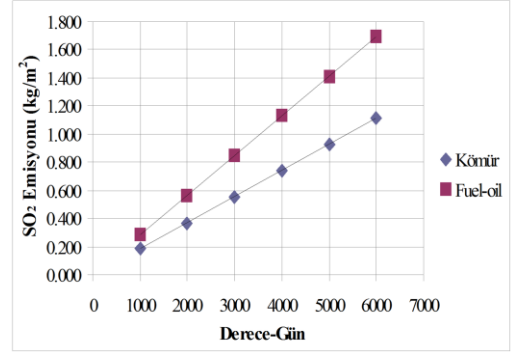
Çift Camlı Pencere için Derece-Güne Bağlı Optimum Hava Tabakası Kalınlığı



Şekil 4:
Tek Camlı Pencere için Derece-Güne Bağlı Yakıt Tüketimi Değişimi

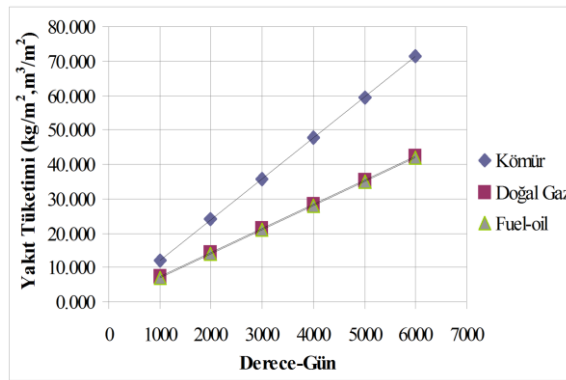


(a)

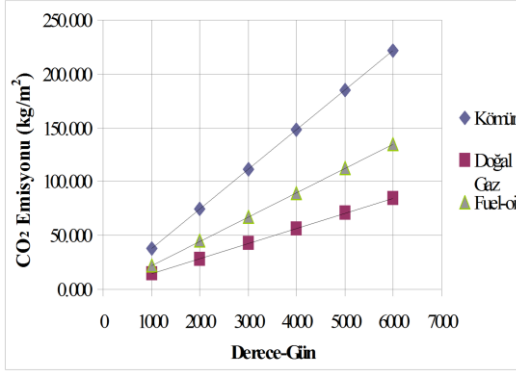


(b)

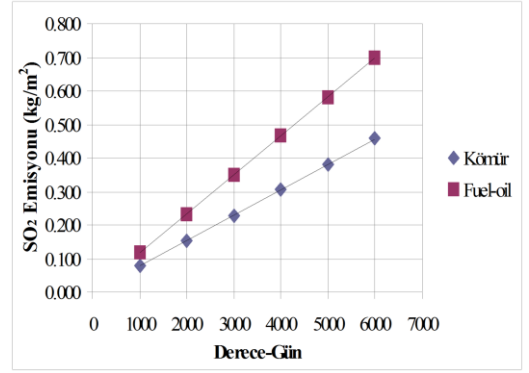
Şekil 5:
*Tek camlı Pencere için Derece-Güne bağlı a) CO₂ Emisyonu Değişimi
b) SO₂ Emisyonu Değişimi*



Şekil 6:
Optimum Hava Tabakasına Sahip Çift Camlı Pencere için Derece-Güne Bağlı Yakıt Tüketimi Değişimi

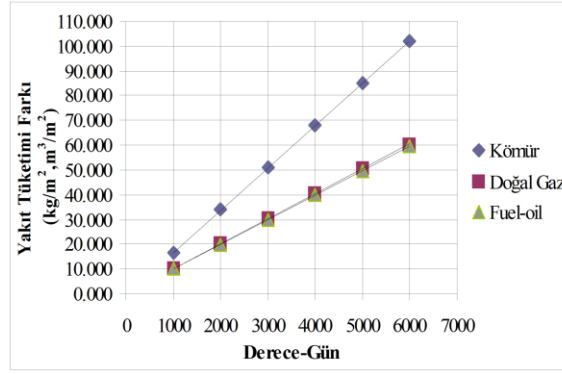


(a)



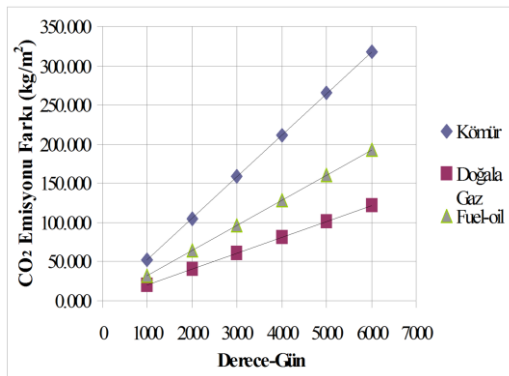
(b)

Şekil 7:
Optimum Hava Tabakasına Sahip Çift Camlı Pencere için Derece-Güne Bağlı
a) CO₂ Emisyonu Değişimi b) SO₂ Emisyonu Değişimi

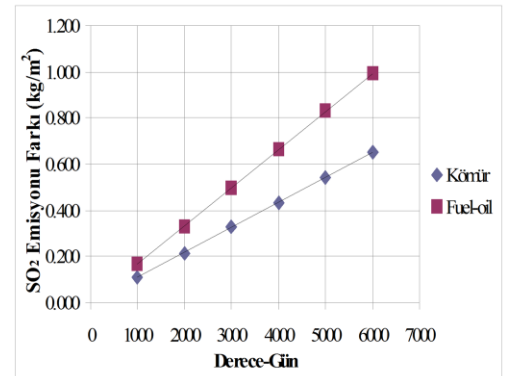


Şekil 8:

Tek Camlı Pencere ile Optimum Hava Tabakasına Sahip Çift Camlı Pencere için Derece-Güne Bağlı Yakıt Tüketimi Farkı



(a)



(b)

Şekil 9:
Tek Camlı Pencere ile Optimum Hava Tabakasına Sahip Çift Camlı Pencere için Derece-Güne Bağlı a) CO₂ Emisyonu Farkı b) SO₂ Emisyonu Farkı

Tek camlı pencerelerde 1000-6000 derece-gün değerine göre yakıt olarak kömür kullanıldığında 28.852-173.400 kg/m², doğal gaz kullanıldığında, 17.110-102.600 m³/m², fuel-oil kullanıldığında 16.917-101.400 kg/m² arasında yakıt tüketimi olacağı hesaplanmıştır. CO₂ emisyonu yakıt olarak kömür kullanıldığında, 89.961-540.661 kg/m², doğal gaz kullanıldığında 34.420-206.402 kg/m², fuel-oil kullanıldığında 54.490-326.610 kg/m² arasında hesaplanmıştır. SO₂ emisyonu ise yakıt olarak kömür kullanıldığında 0.185-1.110 kg/m² ve fuel-oil kullanıldığında ise 0.283-1.693 kg/m² arasında değiştiği bulunmuştur.

Optimum hava tabakasına sahip çift camlı pencerelerde 1000-6000 derece-gün değerine göre yakıt olarak kömür kullanıldığında 12.218-71.335 kg/m², doğal gaz kullanıldığında, 7.269-42.304 m³/m², fuel-oil kullanıldığında 7.015-41.796 kg/m² arasında yakıt tüketimi olacağı hesaplanmıştır. CO₂ emisyonu yakıt olarak kömür kullanıldığında, 38.096-222.423 kg/m², doğal gaz kullanıldığında 14.623-85.104 kg/m², fuel-oil kullanıldığında 22.595-134.625 kg/m² arasında hesaplanmıştır. SO₂ emisyonu ise yakıt olarak kömür kullanıldığında 0.078-0.457 kg/m² ve fuel-oil kullanıldığında ise 0.117-0.698 kg/m² arasında değiştiği bulunmuştur.

4. SONUÇLAR

Çift camlı pencere için optimum hava tabakası kalınlığı 1000-6000 derece-gün değerlerine göre yakıt olarak kömür kullanıldığında 14.1-17.8, doğal gaz kullanıldığında 13.9-17.8, fuel-oil kullanıldığında 16.3-18.2 mm arasında değiştiği hesaplanmıştır.

Optimum yalıtım kalınlığındaki çift camlı pencerelerin tek camlı pencerelere göre 1000-6000 derece-gün için yakıt olarak kömür kullanıldığında 16.634-102.065 kg/m², doğal gaz kullanıldığında, 9.841-60.296 m³/m², fuel-oil kullanıldığında 9.902-59.604 kg/m² arasında yakıt tüketimi azalımı olacağı hesaplanmıştır. CO₂ emisyonu azalımı yakıt olarak kömür kullanıldığında, 51.865-318.238 kg/m², doğal gaz kullanıldığında 19.797-121.298 kg/m², fuel-oil kullanıldığında 31.895-191.985 kg/m² arasında hesaplanmıştır. SO₂ emisyonu azalımı ise yakıt olarak kömür kullanıldığında 0.107-0.653 kg/m² ve fuel-oil kullanıldığında ise 0.166-0.995 kg/m² arasında değiştiği bulunmuştur.

5. KAYNAKLAR

1. Arıcı M. and Karabay H. (2010) Determination of optimum thickness of double-glazed windows for the climatic regions of Turkey, *Energy and Buildings*, 42, 1773-1778
2. Ayçam İ. (2006).Türkiye derece gün bölgelerinde ısıtma gerektiren dönem için alçak katlı konut binalarında uygun cam tiplerinin saptanmasına yönelik bir yöntem, *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Ankara.
3. Bektaş, B. ve Aksoy, U.T. (2005) Soğuk iklimlerdeki binalarda pencere sistemlerinin enerji performansı, *Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Der.*, 17, 3, 499-508.
4. Çomaklı, K. and Yüksel, B. (2004) Environmental impact of thermal insulation thickness in buildings, *Applied Thermal Engineering*, 24,5-6,933-940.
5. Ekinci C. E. (2003), *Yalıtım Teknikleri*, İstanbul.
6. Karabay H. and Arıcı M. (2012) Multiple pane window applications in various climatic regions of Turkey, *Energy and Buildings*, 45, 67-71.
7. Keçebaş A., (2015) Determination of optimum insulation thickness in pipe for exergetic life cycle assessment, *Energy Conversion and Management*, 105, 826-835.

8. Kon O., Bulgurcu H., Yüksel B.(2013) Farklı amaçlarla kullanılan binalar için çift camlı pencerelerin optimum hava tabakası kalınlığı ve yakıt tüketimi, *19.Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi (ULIBTK'13)*, 550-556, Samsun.
9. Ulaş A. (2010) Binalarda TS 825 hesap yöntemine göre ısı kaybı, yakıt tüketimi, karbondioksit emisyonu hesabı ve maliyet analizi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yüksek Lisans Tezi*, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
10. Yıldız A. and Ersöz M. A. (2016), The effect of wind speed on the economical optimum insulation thickness for HVAC duct applications, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*,55, 1289-1300