



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Pencerelerde Birbirine Paralel Farklı Tabaka Halinde Hava Boşluğunun Enerji Tüketimine Etkisinin Araştırılması

Mustafa ERTÜRK^{a,*}, HAKAN PUL^b, Ali DAŞDEMİR^c, Can COŞKUN^d, Zuhal OKTAY^d

^a İklimlendirme ve Soğutma Programı, BMYO, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, TÜRKİYE

^b Makine Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, TÜRKİYE

^c Enerji Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla, TÜRKİYE

^d Enerji Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Rize, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: merturk@balikesir.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada Ege Bölgesindeki sekiz il (Manisa, İzmir, Kütahya, Uşak, Afyon, Aydın, Denizli, Muğla) için belirlenen optimum hava tabakası kalınlığı hesaplanmıştır. Hesaplanan optimum hava tabakası baz alınarak düşey konumda iki cam plaka arasına 1'er mm kalınlığında pleksiglass şeffaf malzeme konularak iki tabaka, üç tabaka, dört tabaka optimum hava boşluğu oluşturularak pencerelerdeki ısı kaybı araştırılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre; Muğla ili için iki cam plaka arasına optimum hava tabakası konulduğunda toplam ısı transfer katsayısı $1.19 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, ısı transferi 16.48 W , iki cam plaka arasına 1 mm şeffaf pleksiglassla iki tabaka optimum hava kalınlığı oluşturulduğunda toplam ısı transfer katsayısı $0.72 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, ısı transferi 9.97 W , üç tabaka optimum hava tabakası oluşturulduğunda toplam ısı transfer katsayısı $0.51 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, ısı transferi 7.11 W , dört tabaka optimum hava tabakası oluşturulduğunda toplam ısı transfer katsayısı $0.4 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, ısı transferi 5.53 W olarak bulunmuştur. İki cam plaka arasında iki tabaka hava katmanı olması durumunda %38 ile 40' lık bir enerji tasarrufu, üç tabaka hava katmanı olması durumunda %56 ile 58'lik bir enerji tasarrufu ve dört tabaka hava katmanı olması durumunda ise %65 ile 67' ye varan bir enerji tasarrufu olduğu bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Pencerelerde ısı kaybı, Optimum hava tabakası, Çoklu optimum hava tabakası

Multi Layers Parallel Air Gaps in Windows and Its Effect on Energy Consumption

ABSTRACT

In this study optimum thickness of air gap is calculated for eight cities (Manisa, İzmir, Kütahya, Uşak, Afyon, Aydın, Denizli, Muğla) in aegian region. Heat loss in windows is searched based on the calculated optimum thickness of air gap, by placing 1mm plexiglass between two glass plates which are vertical. The plexiglass between vertical glass plates is placed to form optimum air gap of two, three and four layers. According to search results in Muğla, total heat transfer coefficient between two glass plates is $1.19 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, heat transfer is 16.48 . When a two layer optimum air gap is formed by placing 1mm plexiglass between vertical glass plates, total heat tranfer coefficientis calculated as $0.72 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ and heat transfer is calculated as 9.97 W . When a three layer optimum air gap is formed, total heat transfer coefficientis calculated as $0.51 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ and heat

transfer is calculated as 7.11W . In four layer void, heat transfer coefficient is calculated as 0.4 W/m² K and heat transfer is calculated as 5.53W. Energy conservation is calculated as follows. For two layer air gap 38-40%, for three layer gap 56-58% and for four layer air gap 65-67.

Keywords: Heat loss in windows, Optimum air gap, Multiple optimum air gap

I. GİRİŞ

ENERJİ; ekonominin en önemli girdisi, dünya siyaset politikasını yönlendiren bir meta ve iklim değişikliği etkileri dolayısıyla dünyanın ekonomik, sosyal ve coğrafik düzeninin gelecekteki etkin belirleyicisi konumundadır. Bu nedenle günümüzde enerji ve verimliliği politikası; yüksek maliyetli enerji arzı yaşamın ve dolayısıyla ekonomik gelişmenin sürdürülebilirliğinin tehdit altında olduğu, enerjide dışa bağımlılığı yüksek ve iklim değişikliği etkilerinin sonuçlarından etkilenecek olan ülkeler için en önemli politika alanı haline gelmiştir. Geçtiğimiz 20 yıllık dönemde gelişmiş ülkelerde ekonomilerin enerji yoğunlukları bütün sektörlerin ortak çabalarıyla azaltılmıştır. Örneğin 1990-2004 yılları arasında, bütün AB ekonomisi için enerji verimliliği endeksi düşmüş olup, bu durum %14 oranında artan enerji verimliliğini göstermektedir. Bütün sektörler değişen enerji yoğunluklarıyla bu sonuca katkıda bulunmuştur; söz konusu iyileştirmeye sunulan katkılarda konutların payı %10, ulaşımın payı %11 ve sanayinin payı ise %20 düzeyindedir[1].

Türkiye’de hızlı ekonomik büyüme, sanayileşme ve sabit nüfus artışıyla ülkenin fosil yakıta bağlı olarak artan enerji ihtiyacı nedeniyle, emisyon artış oranlarının yükselmesi kaçınılmazdır. 1990-2009 yıllarında CO₂ eşdeğeri sera gazı emisyonu 187.03 milyon tondan 2009 yılında toplam 369.65 milyon tona yükselmiştir[2].

2012 yılı itibariyle Türkiye’de enerji tüketimi sektörel olarak dağılımı; sanayi, konut ve hizmetlerde %26, ulaştırma da %17, çevrim santrallerinde %26, tarımda %3 ve diğer %2’dir. 14 Haziran 2000 tarihinden itibaren TS825’e göre ülkemizde inşa edilecek olan tüm ruhsatlı binalarda mecburi standart olarak binaların dış duvarlarında yalıtımın zorunlu hale getirilmesi ve yalıtıma devlet teşviki neticesinde 2007 yılında konut ve hizmetlerde tüketilen enerji %30 [3] iken, 2012 yılında %26’ya düşmüştür[4].

Sektörel dağılıma göre enerji tüketiminin en fazla konutlarda olduğu görülmektedir. Dolayısıyla küresel ısınmaya karşı alınacak tedbirlerin başında, bina ısı kayıplarının azaltılması için bina dış duvarları, döşeme, çatı ve pencereler için yalıtım önemli hale gelmektedir.

Isı yalıtımının önemi, temel olarak enerji ve çevre olmak üzere iki ana kavrama dayanır. Buna sağlıklı ve konforlu yaşam alanlarını da ekleyebiliriz. Enerji, sadece bizim için değil, diğer ülkeler için de önemli, stratejik, makro bir kavramdır. Ülkemizin, enerji kaynakları açısından çok zengin olmadığı bir gerçektir. Enerji ihtiyacının %60-65’lik bir kısmı dışarıdan ithal edilmektedir [5,6].

Binalardaki ısı kayıplarının %40’ı dış duvarlardan, %30’u pencerelerden, %17’si kapılardan, %7’si çatılardan ve %6’sı döşemelerden olmaktadır [7]. Pencerelerden ısı kaybı ve kazançlarını azaltmak için şeffaflığı etkilemeyen bir malzemeyle yalıtılmalıdır. Hava, saydam olması ve ısı iletim direncinin diğer yalıtım malzemelerinin çoğundan düşük olmasından dolayı pencerelerde yalıtım malzemesi olarak kullanılır. İki cam plaka arasına havanın sızdırmaz bir şekilde hapsedilmesiyle pencerelerde yalıtım gerçekleşmektedir.

Bu çalışmada Ege Bölgesindeki sekiz il, (Manisa, İzmir, Kütahya, Uşak, Afyon, Aydın, Denizli, Muğla) için belirlenen optimum hava tabakası baz alınarak düşey konumda iki cam plaka arasına 1'er mm kalınlığında pleksi glass şeffaf malzeme konularak iki tabaka, üç tabaka, dört tabaka optimum hava boşluğu oluşturularak pencerelerdeki ısı kaybı araştırılmıştır.

II. YÖNTEM

A. DÜŞEY KAPALI ARALIKLARDA ISI TRANSFERİ

Bu çalışmada Manisa, İzmir, Kütahya, Uşak, Afyon, Aydın, Denizli, Muğla illeri için dış hava sıcaklıkları TS 825'de yer alan değerler[8] baz alınarak her il için optimum hava tabakası değerleri ve bir, iki, üç ve dört hava tabakası için toplam ısı transfer katsayısı ve ısı transfer miktarı hesaplanmıştır.

Düşey kapalı aralıklarda, dikey yüzeyler ısıtılır ve soğutulurken yatay yüzeyler adyabatiktir. Akışkan hareketi akışkanın sıcak yüzeyi boyunca yükseldiği ve soğuk yüzey boyunca alçaldığı bir hücresel dolaşım hareketi ile tanımlanabilir. Kaldırma kuvvetinin oluşturduğu akış zayıftır ve ısı geçişi akışkan boyunca iletimle gerçekleşir. Rayleigh sayısı arttıkça, hücresel akış artar ve yan yüzeylerde ince sınır tabakalar biçiminde yoğunlaşır. Orta bölge hemen hemen durgun kalır ancak köşelerde ek hücreler oluşabilir ve yan yüzeylerdeki sınır tabakalar sonunda türbülansa geçmektedir [9].

Rayleigh sayısının 1708 den küçük olduğu koşullarda kaldırma kuvveti akışkan direncinin yenemediğinden, iletimle ısı transferi gerçekleşir. Rayleigh sayısı 1708 değerinin üzerinde olduğu durumlarda kaldırma kuvveti akışkan direncini yener. Rayleigh akışkan hareketi belli bir bölgede düzenli olarak dönen hücreler şeklinde başlar ve daha büyük Rayleigh sayılarında ise hava tabakasının katı bir cisim gibi davranmayıp akışkan gibi davranmasına neden olur. Bu hücresel yapı bozulacağından akışkan hareketi türbülanslı olur.[10]

Taşıyım sınırının belirlenmesinde bir faktör olan Rayleigh sayısı(R_a) eşitlik 1 de ideal akışkanlarda genleşme katsayısı (β) eşitlik 2-3' te verilmiştir.

$$Ra = \frac{g \times \beta \times (T_s - T_{\infty}) \times L^3}{g^2} \times Pr \quad (1)$$

$$\beta = 1/T_{film} \quad (2)$$

$$T_{film} = T_{iç} + T_{dış}/2 \quad (3)$$

Düşey kapalı aralık için taşıyım ile ısı transferinin sınır noktasının belirlenmesinde kullanılan faktörlerden bir diğeri olan Nusselt sayısı ve ısı taşıyım katsayısı eşitlik 4-5 te verilmiştir.

$$Nu = 0,42 \times Ra_L^{1/4} \times Pr^{0,012} \times \left(\frac{H}{L_h}\right)^{-0,3} \quad (4)$$

$$h_h = k \times Nu / L_{hava} \quad (5)$$

B. DÜŞEY KAPALI ARALIKLARDA TOPLAM ISI TRANSFERİ

Pencerelerde ısı kayıpları akış türüne göre; iletim, taşıyım ve ışıyım ile olmaktadır. Bu çalışmada optimum hava tabakası kalınlığına göre ve optimum hava tabakasının üzerinde hesaplamalar

yapılmıştır. Pencerelede optimum hava tabakasına kadar ısı transferi geçişi (Q_{opt}) eşitlik 6'da, toplam ısı transfer katsayısı (k_{T2}) eşitlik 7'de verilmiştir.

$$Q_{opt} = k_{T_1} \cdot A_{pencere} \cdot (T_{iç} - T_{dış}) \quad (7)$$

$$\frac{1}{k_{T_1}} = \frac{1}{h_{iç}} + \frac{l_{cam}}{k_{cam}} + \frac{l_{hava}}{k_{hava}} + \frac{l_{cam}}{k_{cam}} + \frac{1}{h_{dış}} \quad (8)$$

Her il için optimum hava tabakası kalınlığı çalışması referans alınarak, pencerelede 1'den fazla hava boşluğu olması durumunda, pencereledeki ısı transferi (Q_A) eşitlik 8'de, toplam ısı transfer katsayısı (k_{T2}), optimum hava tabakası sayısı (n_1) ve engel sayısı (n_2)'ye bağlı olarak eşitlik 9'da verilmiştir.

$$Q_A = k_{T_2} \cdot A_{pencere} \cdot (T_{iç} - T_{dış}) \quad (9)$$

$$\frac{1}{k_{T_2}} = \frac{1}{h_{iç}} + \frac{l_{cam}}{k_{cam}} + n_1 \times \frac{l_{hava}}{k_{hava}} + n_2 \times \frac{l_{engel}}{k_{engel}} + \frac{l_{cam}}{k_{cam}} + \frac{1}{h_{dış}} \quad (10)$$

Eşitlik 10'da yer alan n_1 değeri 1,4 ve n_2 değeri 0,3 olarak alınmıştır.

III. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada Ertürk ve arkadaşları tarafından literatüre kazandırılan il bazında pencerele için hava tabakası kalınlığı yaklaşımı[11] baz alınarak Ege bölgesindeki sekiz il için bir, iki, üç ve dört tabaka hava boşluğuna sahip pencerelede toplam ısı transfer katsayısı, ısı transfer miktarı ve ısı kaybına etkileri analiz edilmiştir. Analizlerde pencere yüksekliği 120 cm, genişliği 50 cm, illerin dış hava sıcaklıkları TS 825'e göre alınmıştır. Analizlerde her il için kullanılan havanın termofiziksel özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Havanın termofiziksel özellikleri [7]

İller	İç Ortam Sıcaklığı (°C)	Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	Genleşme Katsayısı (1/K)	Kinematik Viskozite (m ² /s)	İletim Katsayısı (W/m ² K)	Prandtl Sayısı (-)
MANİSA	20	-3	0.003552	0.000014073	0.024726	0.71791
İZMİR	20	0	0.003553	0.000014207	0.02484	0.71759
KÜTAHYA	20	-12	0.003610	0.000013674	0.024381	0.71888
UŞAK	20	-9	0.003591	0.000013807	0.024496	0.71855
AFYON	20	-12	0.003610	0.000013674	0.024381	0.71888
AYDIN	20	-3	0.003552	0.000014073	0.024726	0.71791
DENİZLİ	20	-6	0.003571	0.000013940	0.024611	0.71823
MUĞLA	20	-3	0.003552	0.000014073	0.024726	0.71791

B. PENCERELERDE ÇOKLU HAVA TABAKASI KALINLIĞININ ISI TRANSFERİNE VE TOPLAM ISI TRANSFER KATSAYISINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Analizlerde pencerenin her iki tarafında 4mm kalınlığında cam, hava boşluğu oluşturmada ise 1 mm kalınlığında pleksi glass şeffaf levha kullanılması varsayımına göre hesaplamalar yapılmıştır. Pleksi glass malzeme cama göre; ısı iletkenliği %20 az, darbelere karşı altı kat daha dayanıklı, kırılan parçaları yaralanmalara neden olmayacağı, %92 ışık geçirgenliğine sahip olduğu için çalışmada tercih edilmiştir. Ayrıca ağırlığının cama göre altı kat daha hafif olmasından dolayı özellikle 3 ve 4 tabaka hava boşluğu uygulamalarında hareketli pencerelerde moment etkisini azalttığı gibi, binalardaki yük de azalmış olacaktır.

Manisa, İzmir, Kütahya, Uşak, Afyon, Aydın, Denizli, Muğla olmak üzere her il için düşey konumda 0,6 m² iki cam plaka arasına 1'er mm pleksi glasslar konularak bir, iki, üç ve dört tabaka hava boşluğunun toplam ısı transfer katsayısına ve yalıtıma etkisi araştırılmıştır.

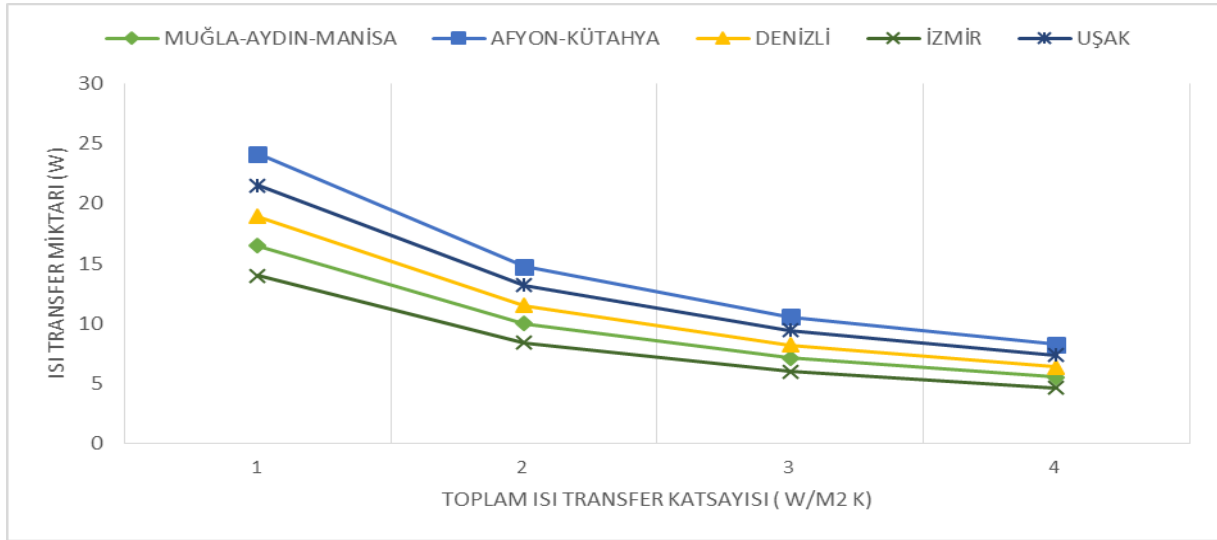
B. ANALİZ SONUÇLARI

Optimum hava tabakası kalınlığına kadar taşınım ile olan ısı transferi engellenmektedir. Bu durum pencerelerde optimum hava tabakasının üzerine çıkılması negatif etki oluşturmaktadır. Dış duvarlardaki ısı kayıpları en fazla pencerelerde olduğu için, pencerelerde ısı kaybını azaltacak yalıtım tekniklerini geliştirmek önem arz etmektedir. Bu bağlamda her il için belirlenen optimum hava tabakası kalınlığı baz alınarak bir, iki, üç ve dört tabaka cam plaka arasına optimum hava boşluğu hapsedilerek yalıtım etkisi araştırılmıştır.

Her il için ayrı ayrı yapılan analiz sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2'de hava boşluğu sayısına göre pencerelerdeki ısı transferi ve toplam ısı transfer katsayıları görülmektedir. Ayrıca tüm iller için çoklu hava boşluğu uygulamalarında ısı transfer miktarı – toplam ısı transfer katsayısı değişim grafiği Şekil 1'de verilmiştir.

Tablo 2. Sekiz il için bir, iki, üç ve dört tabaka optimum hava tabakasının yalıtıma etkisi

İLLER	Bir Tabaka Hava Boşluğu		İki Tabaka Hava Boşluğu		Üç Tabaka Hava Boşluğu		Dört Tabaka Hava Boşluğu	
	Q _{opt} W	k _{T2} (W/m ² K)	Q _A W	k _{T2} (W/m ² K)	Q _A W	k _{T2} (W/m ² K)	Q _A W	k _{T2} (W/m ² K)
MUĞLA	1.19	16.48	0.72	9.97	0.51	7.11	0.40	5.53
AFYON	1.26	24.13	0.77	14.75	0.55	10.56	0.43	8.25
AYDIN	1.19	16.48	0.72	9.97	0.51	7.11	0.40	5.53
DENİZLİ	1.21	18.94	0.74	11.49	0.53	8.21	0.41	6.39
İZMİR	1.16	13.97	0.70	8.40	0.50	5.98	0.39	4.65
KÜTAHYA	1.26	24.13	0.77	14.75	0.55	10.56	0.43	8.25
MANİSA	1.19	16.48	0.72	9.97	0.51	7.11	0.40	5.53
UŞAK	1.21	21.56	0.76	13.17	0.54	9.42	0.42	7.35



Şekil 1. (a) Şekil 1. Isı transferi- Toplam ısı transfer katsayısı

Şekil 1’de düşey eksen ısı transfer miktarını göstermekte, yatay eksen ise pencere bileşenlerine göre toplam ısı transfer katsayısını göstermektedir. Bu şekil incelendiğinde pencere bileşenlerinde hava tabakası sayısı arttıkça toplam ısı transfer katsayısı ve ısı transfer miktarının aynı oranda azaldığı görülmektedir. Şekilde sekiz ilin eğim açıları değişimlerinde paralelliğin bozulmadığı dikkat çekmektedir.

2012 yılı Muğla ili verilerine göre tüm sektörlerde (mesken, sanayi, ticari, resmi daire ve diğer) elektrik abone sayısı 519.276’dır. Mesken abone sayısı ise toplam abone sayısının % 77,3’ü yani 401.178 konuttur [12]. Muğla’daki 401.178 konutun her birinin 100 m² olduğu varsayımına göre dış duvar alanı 40.117.800 m²’dir. Toplam pencere alanı dış duvar alanının % 12 olduğu kabulüne göre Muğla’daki toplam pencere alanı 4.814.136 m²’dir. Bu pencere alanı baz alınarak engel sayısına (hava boşluksuz, tek, iki, üç ve dört hava boşluklu) göre k_{T2} ve Muğla ilindeki tüm pencere alanından kaybolan ısı (Q_{AT}) Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Muğla ilindeki toplam pencere alanı ve engel sayısına göre kaybolan ısı miktarı

Engel Sayısı	k_{T2} (W/m ² K)	Q_{AT} (W)
Hava boşluksuz tek cam	3.38	374.250.932
İki cam arasına optimum tek hava boşluğu	1.19	131.762.902
İki cam arasına optimum iki hava boşluğu	0.72	797.220.92
İki cam arasına optimum üç hava boşluğu	0.51	564.698.15
İki cam arasına optimum dört hava boşluğu	0.40	442.900.51

IV. SONUÇ

Toplam dış duvar alanının % 12'si pencere olmasına rağmen pencerelerdeki toplam ısı transfer katsayısı büyük olduğu için ısı kayıpları yüksek çıkmaktadır. Pencerelerde ısı kaybını azaltacak yalıtım tekniklerini geliştirmek, her il için ayrı ayrı optimum hava tabaka kalınlığını belirlemek ısı kayıpları ve maliyet açısından önem arz etmektedir.

Bu çalışmada Ege Bölgesindeki sekiz il için belirlenen optimum hava tabakası kalınlığı baz alınarak düşey konumda iki cam plaka arasına 1'er mm kalınlığında pleksi glass şeffaf malzeme konularak iki tabaka, üç tabaka, dört tabaka optimum hava boşluğu oluşturarak pencerelerdeki ısı kaybı araştırılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre; Muğla ili için hava boşluksuz tek cam olarak düşünüldüğünde toplam ısı transfer katsayısı 3.38 W/m²K, ısı transferi 374.250.932 W, iki cam plaka arasına optimum hava tabakasıyla toplam ısı transfer katsayısı 1.19 W/m²K, ısı transferi 16.48 W, iki cam plaka arasına 1 mm şeffaf pleksi glassla iki tabaka optimum hava kalınlığı oluşturulduğunda toplam ısı transfer katsayısı 0.72 W/m²K, ısı transferi 9.97 W, üç tabaka optimum hava tabakası oluşturulduğunda toplam ısı transfer katsayısı 0.51 W/m²K, ısı transferi 7.11W, dört tabaka optimum hava tabakası oluşturulduğunda toplam ısı transfer katsayısı 0.4 W/m²K, ısı transferi 5.53W olarak bulunmuştur.

Muğla için yapılan hesaplamada, hava boşluksuz tek cam yerine iki cam plaka arasına tek optimum hava tabakası oluşturulduğunda ısı transferi % 65, iki cam plaka arasına tek optimum hava tabakası yerine iki optimum hava tabakası oluşturulduğunda ısı transferi % 40, iki cam plaka arasına iki optimum hava tabakası yerine üç optimum hava tabakası oluşturulduğunda ısı transferi % 29, iki cam plaka arasına üç optimum hava tabakası yerine dört optimum hava tabakası oluşturulduğunda ısı transferi % 21 azaldığı, hava boşluksuz tek cam yerine dört optimum hava tabakası oluşturulduğunda ısı transferinin % 85 azaldığı tespit edilmiştir.

Pleksiglass malzeme cama göre; ısı iletkenliği %20 az, darbelere karşı altı kat daha dayanıklı, kırılan parçaları yaralanmalara neden olmayacağı ve ağırlığının cama göre altı kat daha hafif olmasından dolayı özellikle 3 ve 4 tabaka hava boşluğu uygulamalarında hareketli pencerelerde moment etkisini azalttığı gibi binalardaki yük de azalmış olacaktır.

Bu çalışma özellikle dış duvar pencere alanı büyük olan uygulamalarda (alışveriş merkezleri, iş merkezleri, otogar vb.) hatta konutlarda araştırma sonuçlarına göre kullanılabileceği görülmektedir. Kesintili çalışan ısıtma sistemlerinde özellikle 08:00 -17:00 saatleri arasında çalışan soğuk olan illerimizde ısı kayıplarını azaltıp radyasyon kazançlarını da artırması bu sistemi tercih edilir hale getirilmesi hedeflenmektedir.

V. KAYNAKLAR

- [1] Anonim, http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/fa34c3c2eb9b729_ek.pdf (Erişim Tarihi: 15th of March, 2015).
- [2] Anonim, http://www.tuik.gov.tr/Kitap.do?metod=KitapDetay&KT_ID=3&KITAP_ID=243 (Erişim Tarihi:15th of March, 2015).
- [3] Anonim, <http://www.dektmk.org.tr/upresimler/2008.Denge.pdf> (Erişim Tarihi: 15th of March, 2015).

- [4] Anonim, <http://www.dektmk.org.tr/upresimler/2012Denge.pdf> (Erişim Tarihi: 15th of March, 2015).
- [5] G. Ogulatar *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (6) (2002) 471.
- [6] K. Kaygusuz, A. Kaygusuz *Energy Sources* (26) (2004) 1071.
- [7] Anonim, <http://www.enerji.gov.tr/index.php?dil=tr&sf=webpages&b=enerjiverimliliği&bn=217&hn=&id=587> (Erişim Tarihi: 15th of May, 2015).
- [8] TS 825, *Binalarda ısı yalıtımı yönetmeliğine ilişkin kanun*, **T.C. Resmi Gazete**, No:27019, Tarih:09/10/2008.
- [9] Y. Çengel, *Heat Transfer: A practical Approach.*, İkinci Baskı, McGraw Hill Yayıncılık (2003).
- [10] Frank P. Incropera, *Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri*, Dördüncü Baskı, Literatür Yayıncılık, (2010),
- [11] M. Ertürk, H. Pul, A. Keçebaş, T. Uygunoglu, A. Daşdemir *İl bazında çift ve üç camlı pencereler için optimum hava tabakası kalınlığı analizi*, **12 . Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi** , İzmir-Türkiye, (2015), 2953.
- [12] Anonim, www.tedas.gov.tr (Erişim Tarihi: 15th of May, 2015).

VI. SEMBOLLER

Ra :Rayleigh Sayısı (Boyutsuz)

Pr : Prandl Sayısı (Boyutsuz)

g :Yer çekim ivmesi (m^2/s)

β : Genleşme Katsayısı ($1/^\circ K$)

$T_{iç}$:İç Ortam Sıcaklığı ($^\circ C$)

$T_{dış}$: Dış Ortam Sıcaklığı ($^\circ C$)

L_h : Hava Boşluğu Uzunluğu (m)

ϑ : Havanın Kinematik Viskositesi (m^2/s)

h_i : İç Havanın Taşınım İle Isı Transfer Katsayısı ($W/m^2.K$)

h_d : Dış Havanın Taşınım İle Isı Transfer Katsayısı ($W/m^2.K$)

h_h : Hava Boşluğunun Taşınım İle Isı Transfer Katsayısı ($W/m^2.K$)

k_{cam} : Camın Isı Transfer Katsayısı ($W/m^2.K$)

l_{cam} : Cam Kalınlığı (m)

k_{pleksi} : Pleksi Glassın Isı Transfer Katsayısı ($W/m^2.K$)

l_{pleksi} : Pleksi Glass Kalınlığı (m)

H : Pencere Yüksekliği (m)

Q_{opt} : Optimum Hava Boşluğu İçin Isı Transferi (W)

x_{opt} : Optimum Hava Boşluğu (mm)

k_{T2} : Optimum Hava Boşluğunda Toplam Isı Transfer Katsayısı ($W/m^2.K$)

k_{T2} : Bir, İki, Üç ve Dört Tabaka Hava Boşluğunun Toplam Isı Transfer Katsayısı ($W/m^2.K$)

n_1 : Optimum Hava Boşluğu Sayısı

n_2 : Pleksi Glass Sayısı