



İL BAZLI OPTİMUM HAVA TABAKASI KALINLIĞININ MARMARA BÖLGESİ İÇİN ARAŞTIRILMASI

Investigation of the Provincial Based Optimum Air Layer Thickness for the Marmara Region

Buse Çaçan
Mustafa Ertürk
Ahmet Aydın

ÖZET

Bu çalışmada Marmara Bölgesi'ndeki on bir il (Balıkesir, Bilecik, Bursa, Çanakkale, Edirne, İstanbul, Kırklareli, Kocaeli, Sakarya, Tekirdağ, Yalova) için düşey konumda 0,6 m² iki cam plaka arasındaki hava boşluğu mesafesini 1 mm'den başlayıp 41 mm'ye kadar tutarak, hava tabakasının ısı kaybına etkisi geliştirilen visual basic tabanlı yazılımla araştırılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre; Marmara Bölgesindeki iller için pencerelerde optimum hava tabakası kalınlığı yaklaşımı getirilmiştir. Getirilen yaklaşıma göre; en yüksek Balıkesir, Çanakkale, İstanbul, Kocaeli, Sakarya ve Yalova illeri için 13,49 mm; en düşük Bilecik ve Edirne illeri için 12,61 mm optimum hava tabakası kalınlığı hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Marmara Bölgesi, Pencerelerde Isı Kaybı, Pencerelerde Optimum Hava Tabakası Kalınlığı.

ABSTRACT

In this study, for eleven provinces in the Marmara Region (Balıkesir, Bilecik, Bursa, Çanakkale, Edirne, İstanbul, Kırklareli, Kocaeli, Sakarya, Tekirdağ, Yalova) the air gap distance between two glass plates of 0,6 m² in vertical position starts from 1 mm and is calculated as 41 mm. The effect of the air layer on heat loss has been investigated with the developed visual basic based software. According to the research results; For the provinces in the Marmara Region, an optimum air layer thickness approach has been introduced for windows. According to the approach taken; the highest is 13.49 mm for the provinces of Balıkesir, Çanakkale, İstanbul, Kocaeli, Sakarya and Yalova; The optimum air layer thickness of 12.61 mm was calculated for the lowest Bilecik and Edirne provinces.

Key Words: Marmara Region, Heat Loss in Windows, Optimum Air Layer Thickness in Windows.

1. GİRİŞ

Enerji, ekonominin en önemli girdisi, dünya siyaset politikasını yönlendiren bir meta ve iklim değişikliği etkileri dolayısıyla dünyanın ekonomik, sosyal ve coğrafik düzeninin gelecekteki en 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. [1]

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.

Günümüzde enerji tasarrufu ve karbon salınımı, konutlar için büyük bir öneme sahiptir. Bina yapı malzemelerinden biri olan pencereler, binalarda meydana gelen ısı kayıplarının yaklaşık %60'ını oluşturmaktadır. Bu yüzden pencereler, binalardaki enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik çalışmalarda büyük bir potansiyele sahiptir ve bu konuda çok sayıda çalışma mevcuttur [2], [3].

Sıradan bir binada ısı kaybının önemli bir kısmı pencerelerden oluşmaktadır. Enerji kayıplarını azaltan ısı yalıtımı, tüm dünyada enerji verimliliği kavramına bağlı olarak geliştirilen politikaların en önemli ayağını oluşturmaktadır. Bu sebeple enerji tasarrufu amacıyla kesinlikle pencereler yalıtılmalıdır. Yalıtım malzemelerinin ısı iletkenlikleri hakkında yapılan araştırmalara göre havanın genel yalıtım malzemelerinin çoğundan daha iyi yalıtkan olduğu kanısına varılmıştır. Bu sebeple pencereleri hava tabakası ile yalıtım anlamıdır. Şüphesiz havayı hapsedmek için başka bir cam plakanın kullanılması gerekmektedir. Bunun sonucu çift camlı pencere olarak bilinen kapalı aralıkları meydana getirmektedir [4]. Pencerelerin yalıtımı, iki cam levha arasında sızdırmaz havanın hapsedilmesiyle gerçekleştirilmektedir.

2. PROBLEMİN TANIMI VE HESAPLAMA YÖNTEMİ

Bu çalışmada Balıkesir, Bilecik, Bursa, Çanakkale, Edirne, İstanbul, Kırklareli, Kocaeli, Sakarya, Tekirdağ, Yalova illeri için TS 825 "Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı" [5] baz alınarak belirlenen dış hava sıcaklıkları kullanılarak değişken hava boşluğunun toplam ısı transfer katsayısı ile ısı transferine etkisi sayısal olarak incelenecektir. Elde edilen sonuçlarla Marmara Bölgesi'ndeki her bir il için çift camlı pencerelerin ayrı ayrı düşey konumda 0,6 m² iki cam plaka arasındaki optimum hava tabakası kalınlığının belirlenmesi amaçlanmaktadır.

2.1. Düşey Konumda Kapalı İki Cam Plaka Arasında Isı Geçişi

Düşey konumda iki cam arasında, sıcak yüzeye bitişik (iç ortamdaki cam) akışkan yükselip soğuk yüzeye (dış ortamdaki cam) bitişik akışkan alçalarak, Nusselt sayısına bağlı olarak ısı transferini arttıran dönme hareketi başlatmaktadır. Nusselt sayısının 1 olması durumunda havanın hareketsiz olması iletimle, büyük olması durumunda hava hareketi başladığı için doğal taşınım ile ısı transferini gerçekleştirmektedir. Taşınım ile ısı geçişi, salt iletimle olan ısı transfer miktarının Nusselt sayısı kadar katıdır [4].

Rayleigh sayısı 1708 değerinden küçük olduğu durumlarda kaldırma kuvveti, akışkan direncini yenemediği için iletimle ısı transferi gerçekleşmektedir. Rayleigh sayısı 1708 değerinin üzerinde olduğu durumlarda kaldırma kuvveti akışkan direncini yenerek belli bir bölgede düzenli olarak dönen hücreler şeklinde Rayleigh akışkan hareketi başlatarak doğal taşınım akımları oluşturmaktadır. 3×10^5 değerinden daha büyük Rayleigh sayıları hava tabakasının katı bir cisim gibi davranmayıp akışkan gibi davranmasına neden olmaktadır. Bu durumda Benard hücreleri olarak adlandırılan hücresel yapı bozularak türbülanslı akışkan hareketi oluşmaktadır. [6]

Düşey kapalı aralıkta taşınım sınırının belirlenmesinde bir faktör olan Rayleigh sayısı (Ra);

$$Ra_L = \frac{g \times \beta \times (T_1 - T_2) \times L_c^3}{\nu^2} \times Pr \quad (1)$$

eşitlik 1'de verilen denklem ile belirlenmektedir. (1) eşitliğinde gösterilen g (m²/s) yerçekimi ivmesini, T_1 ve T_2 sırasıyla sıcak ve soğuk yüzeylerin sıcaklıklarını, L_c (m) karakteristik uzunluğu sıcak ve soğuk yüzeyler arasındaki uzaklığı ν (m²/s) kinematik viskoziteyi, Pr Prandtl sayısını ifade etmektedir.

Havanın (3) eşitliğinde verilen denklem ile hesaplanan ortalama sıcaklıkta ve 1 atm'deki özellikleri tablosundan belirlenen Prandtl sayısı ve kinematik viskozite ile on bir il için ayrı ayrı Rayleigh sayısı hesaplanmıştır [4].

İdeal akışkanlarda genleşme katsayısı (β);

$$\beta = \frac{1}{T_{ort}} \quad (2)$$

$$T_{ort} = (T_1 + T_2)/2 \quad (3)$$

eşitlik 2-3' te verilen denklemlerle belirlenmektedir.

Düşey kapalı aralık için taşınım ile ısı transferinin sınır noktasının belirlenmesinde kullanılan faktörlerden bir diğeri olan Nusselt sayısı ve ısı taşınım katsayısı ($W/m^2.K$);

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

$$h = \frac{k \times Nu}{L} \quad (5)$$

eşitlik 4-5'te verilen denklemler ile belirlenmektedir.

(4) eşitliğinde H (m) pencerenin yüksekliğini, L (m) iki cam plaka arasındaki uzaklığı; (5) eşitliğinde k ($W/m.K$) ısı iletkenliği ifade etmektedir. (4) eşitliği ile pencere yüksekliği 1,2 metre kabulüyle on bir il için ayrı ayrı Nusselt sayısı hesaplanmıştır. Nusselt sayısının 1 olması halinde kapalı aralıktaki ısı transferi salt iletme karşılık gelmektedir. Bu durumda kapalı aralıktaki hava hareketsiz kalarak, iki cam plaka arasında taşınım ile olan ısı transferi engellenmektedir. $Nu=1$ noktasından sonra taşınım ile ısı transferi gerçekleştiği için toplam ısı transfer katsayısı, dolayısıyla toplam ısı transferi değerinde artış görülmektedir. Toplam ısı transfer değerinde azalıştan artışa geçen noktada ($Nu=1$) elde edilen iki cam plaka arasındaki uzaklık, pencerelerde optimum hava tabakası kalınlığını vermektedir.

2.2. Düşey Konumda Kapalı İki Cam Plaka Arasında Toplam Isı Transferi

Pencerelerde ısı kayıpları akış türüne göre; iletim, taşınım ve ışınım ile olmaktadır. Bu çalışmada analizler belirli bir hava tabakası (cam plakalar arası hava boşluğu mesafesi) aralığında yapılmıştır. Böylece optimum hava tabakası kalınlığıyla birlikte optimum hava tabakası kalınlığının altı ve üstü için de hesaplamalar yapılmaktadır. Çift camlı bir pencerenin hava aralığındaki ısı transferinin bir kısmı ışınım ile kalan kısmı iletim veya herhangi bir hava hareketi var ise taşınım ile olmaktadır. Optimum hava tabakasında hava boşluğu, katı bir cisim gibi davranacağından ısı kaybı iletim artı ışınım; optimum hava tabakası üzerinde ısı kaybı taşınım artı ışınım yoluyla oluşmaktadır.

Yapılan hesaplamada;

Optimum hava tabakası kalınlığındaki pencerelerde ısı transferi (Q_{opt} , W) eşitlik 6'da, toplam ısı transfer katsayısı (k_{T1} , $W/m^2.K$) eşitlik 7'de, toplam ısı transferi (Q_{T1} , W) eşitlik 8'de verilen denklemler ile belirlenmektedir.

$$Q_{opt} = k_{T1} \cdot A_{pencere} \cdot (T_1 - T_2) \quad (6)$$

$$\frac{1}{k_{T_1}} = \frac{1}{h_{iç}} + \frac{l_{cam}}{k_{cam}} + \frac{l_{hava}}{k_{hava}} + \frac{l_{cam}}{k_{cam}} + \frac{1}{h_{dış}} \quad (7)$$

$$Q_{T_1} = Q_{opt} + Q_{ışınım} \quad (8)$$

Optimum hava tabakası kalınlığının üzerindeki pencerelerde ısı transferi (Q_{Ta} , W) eşitlik 9'da, toplam ısı transfer katsayısı (k_{T_2} , W/m².K) eşitlik 10'da, toplam ısı transferi (Q_{T_2} , W) eşitlik 11'de verilen denklemler ile belirlenmektedir.

$$Q_{opt} = k_{T_2} \times A_{pencere} \times (T_1 - T_2) \quad (9)$$

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

$$Q_{T_2} = Q_{Ta} + Q_{ışınım} \quad (11)$$

(6) ve (9) eşitliklerinde gösterilen $A_{pencere}$ (m²) pencerenin cam alanını, $T_{iç}$ (K) iç ortam sıcaklığını, $T_{dış}$ (K) dış ortam sıcaklığını ifade etmektedir. (7) ve (10) eşitliklerinde gösterilen $h_{iç}$ (W/m².K) iç havanın ısı taşınım katsayısını, $h_{dış}$ (W/m².K) dış havanın ısı taşınım katsayısını, h_{hava} (W/m².K) hava taşınım katsayısını, k_{cam} (W/m. K) camın ısı iletim katsayısını, k_{hava} (W/m. K) havanın ısı iletim katsayısını, l_{cam} (m) camın kalınlığını, l_{hava} (m) hava boşluğu mesafesini ifade etmektedir. Pencere yüksekliği 1,2 metre, pencere genişliği 0,5 metre alınarak $A_{pencere}$ 0,6 m² belirlenmiştir.

(8) ve (11) eşitliklerinde gösterilen $Q_{ışınım}$ (W) pencerelerde ışınlama ısı transferini ifade etmektedir. $Q_{ışınım}$ (W) eşitlik 12'de, birbirine bakan iki cam plakanın yayıcılığı (ϵ) eşitlik 13'te verilen denklemler ile belirlenmektedir.

$$Q_{ışınım} = \epsilon \times \sigma \times A_{pencere} \times (T_1 - T_2) \quad (12)$$

$$\epsilon = \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1} \quad (13)$$

(12) eşitliğinde gösterilen σ (W/m².K⁴) Stefan-Boltzmann sabiti olup, $5,670 \times 10^{-8}$ değerindedir. (13) eşitliğinde gösterilen ϵ_1 ve ϵ_2 birinci ve ikinci cam yüzeylerinin yayıcılığını ifade etmektedir. Sıradan bir cam yüzeyinin yayıcılık değeri 0,84' tür. Bu çalışmada da her iki camın yayıcılık değeri 0,84 alınmıştır.

3. ANALİZ

Bu çalışmada Ertürk ve arkadaşları tarafından literatüre kazandırılan il bazında pencereler için hava tabakası kalınlığı yaklaşımı [7] baz alınarak Marmara Bölgesindeki on bir il için iç hava sıcaklıkları sabit 20 °C, dış hava sıcaklıkları TS 825 standardına göre, pencere alanı 0,6 m² ve 4 mm kalınlığında alınarak iki cam arası için farklı hava tabakası kalınlık değerlerinin toplam ısı transfer katsayısı ile ısı kaybına etkileri ayrı ayrı analiz edilmiştir.

Aşağıdaki tabloda analizlerde kullanılan havanın termofiziksel özellikleri verilmiştir.

Tablo 1. Havanın termofiziksel özellikleri [4]

İl	İç Ortam Sıcaklığı (°C)	Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	Genleşme Katsayısı (1/K)	Kinematik Viskozite (m ² /s)	İletim Katsayısı (W/m ² .K)	Prandl Sayısı (-)
Balıkesir	20	-3	0,003552398	0,000014073	0,024726	0,71791
Bilecik	20	-9	0,003590664	0,000013807	0,024496	0,71855
Bursa	20	-6	0,003571429	0,000013940	0,024611	0,71823
Çanakkale	20	-3	0,003552398	0,000014073	0,024726	0,71791
Edirne	20	-9	0,003590664	0,000013807	0,024496	0,71855
İstanbul	20	-3	0,003552398	0,000014073	0,024726	0,71791
Kırklareli	20	-9	0,003590664	0,000013807	0,024496	0,71855
Kocaeli	20	-3	0,003552398	0,000014073	0,024726	0,71791
Sakarya	20	-3	0,003552398	0,000014073	0,024726	0,71791
Tekirdağ	20	-6	0,003571429	0,000013940	0,024611	0,71823
Yalova	20	-3	0,003552398	0,000014073	0,024726	0,71791

3.1 İl Bazında Farklı Kalınlıkta Hava Tabakasının Toplam Isı Transfer Katsayısına ve Isı Transferine Etkisinin Araştırılması

Balıkesir, Bilecik, Bursa, Çanakkale, Edirne, İstanbul, Kırklareli, Kocaeli, Sakarya, Tekirdağ, Yalova illeri için düşey konumda 0,6 m² iki cam plaka arasındaki hava boşluğu mesafesini 1 mm'den başlayıp 41 mm'ye kadar tutarak, hava tabakasının pencerelerdeki yalıtıma etkisinin analizi yapılmıştır.

Aşağıdaki tabloda Sakarya ili için analiz sonuçları verilmiştir. Diğer on il için de bu çalışma yapılmış olup bildiri metninin uzamaması için özet halinde Tablo 3'te gösterilmiştir.

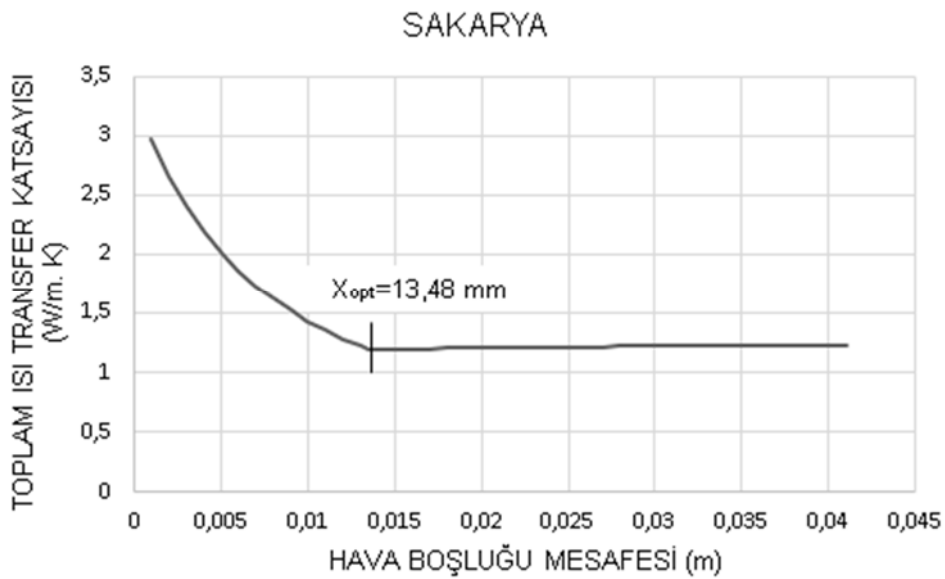
Tablo 2. Sakarya İli İçin Farklı Kalınlıkta Hava Tabakasının Yalıtıma Etkisi

SAKARYA			
Hava Boşluğu Mesafesi (mm)	Toplam Isı Transfer Katsayısı (W/m. K)	Isı Transferi (W)	Toplam Isı Transferi (W)
1	2,977391149	41,08799785	99,8316339
2	2,657399347	36,67211099	95,41574703
3	2,399514225	33,1132963	91,85693234
4	2,187253972	30,18410481	88,92774085
5	2,009494718	27,73102711	86,47466315
6	1,858456966	25,64670613	84,39034217
7	1,728536603	23,85380512	82,59744117
8	1,615594206	22,29520004	81,03883608
9	1,516505873	20,92778105	79,6714171
10	1,428869804	19,7184033	78,46203934
11	1,350809048	18,64116486	77,3848009
12	1,280835568	17,67553083	76,41916687
13	1,217754469	16,80501168	75,54864772
13,48705025	1,189200409	16,41096564	75,15498533
14	1,190640554	16,43083965	75,17447569
15	1,193304501	16,46760211	75,21123815
16	1,195798911	16,50202498	75,24566102
17	1,198144203	16,53439	75,27802604
18	1,200357306	16,56493082	75,30856686
19	1,202452414	16,59384332	75,33747936

20	1,20444155	16,62129339	75,36492943
21	1,206334981	16,64742273	75,39105877
22	1,208141548	16,67235337	75,41598941
23	1,209868921	16,69619111	75,43982715
24	1,211523792	16,71902833	75,46266437
25	1,213112039	16,74094614	75,48458218
26	1,21463885	16,76201614	75,50565218
27	1,216108831	16,78230187	75,52593791
28	1,217526084	16,80185996	75,545496
29	1,218894285	16,82074113	75,56437717
30	1,220216735	16,83899094	75,58262698
31	1,221496413	16,8566505	75,60028655
32	1,222736017	16,87375703	75,61739307
33	1,223937993	16,89034431	75,63398035
34	1,225104574	16,90644312	75,65007917
35	1,226237797	16,92208159	75,66571764
36	1,227339527	16,93728547	75,68092151
37	1,228411478	16,95207839	75,69571443
38	1,229455227	16,96648213	75,71011817
39	1,230472228	16,98051675	75,72415279
40	1,231463827	16,99420082	75,73783686
41	1,232431269	17,00755152	75,75118756

Tablo 2'de gösterildiği gibi; Sakarya ili için düşey konumda iki cam arasındaki 1 mm hava boşluğunda $k_T = 2,98$ (W/m²K), $Q_{opt} = 41,08$ W, $Q_T = 99,83$ W olarak hesaplanmıştır. Optimum hava tabakası kalınlığı 13,48 mm'ye göre $k_T = 1,19$ (W/m²K), $Q_{opt} = 16,41$ W, $Q_T = 75,15$ W hesaplanmıştır. 41 mm hava boşluğu için $k_T = 1.23$ (W/m²K), $Q_{opt} = 17,01$ W, $Q_T = 75,75$ W hesaplanmıştır.

Aşağıdaki şekilde Sakarya ilinde 13,48 mm'ye kadar olan hava tabakası kalınlığı için k_T 'nin azaldığı, 13,48 mm'den sonraki hava tabakası kalınlığında artışa geçtiği görülmektedir. Sakarya ili için 13,48 mm optimum hava tabakası kalınlığı (x_{opt}) olarak literatüre ilk defa kazandırılmıştır. Sakarya ili için Şekil 1'de gösterilen grafik diğer on il için de hazırlanmış olup, bildiri metninin uzamaması için eklenmemiştir.



Şekil 1. Sakarya ili için optimum hava tabakası kalınlığı

Hava tabakası kalınlığı 13,48 mm'ye kadar arttıkça daha önce bahsedildiği gibi hava boşluğu katı bir cisim gibi davranmaktadır. Bu davranışın oluşturduğu iletim özelliği toplam ısı transfer katsayısını dolayısıyla ısı transferini azaltmaktadır. Hava tabakası kalınlığının 13,48 mm üzerine çıkması halinde havanın iletim özelliği taşınım dönüşmektedir. Bu durum optimum hava tabakası üzerindeki hava boşluğu için toplam ısı transfer katsayısını, dolayısıyla ısı transferini artırarak negatif etki oluşturmaktadır.

3.2 Optimum Hava Tabakası Kalınlığının Her İl İçin Belirlenmesi

Aşağıdaki tabloda her bir il için pencerelerin optimum hava tabakası kalınlıkları, ısı transferleri ve toplam ısı transferleri için analiz sonuçları verilmiştir.

Tablo 3. İllere göre optimum hava tabakası kalınlığı, ısı transferi ve toplam ısı transferi

İl	Optimum Hava Tabakası Kalınlığı X_{opt} (mm)	İletimle Isı Transferi Q_{opt} (W)	Toplam Isı Transferi Q_T (W)
Balıkesir	13,49	16,41	75,15
Bilecik	12,61	21,47	93,28
Bursa	13,02	18,92	84,30
Çanakkale	13,49	16,41	75,15
Edirne	12,61	21,47	93,28
İstanbul	13,49	16,41	75,15
Kırklareli	12,61	21,47	93,27
Kocaeli	13,49	16,42	75,15
Sakarya	13,49	16,42	75,15
Tekirdağ	13,02	18,92	84,30
Yalova	13,49	16,41	75,15

SONUÇ

Toplam dış duvar alanının %12'si pencere olmasına rağmen toplam ısı transfer katsayısı büyük olduğu dış duvarlardan ısı kaybı en fazla pencerelerden gerçekleşmektedir. Bu sebeple pencerelerde ısı transfer hızını en aza indirecek yolların geliştirilmesi ve her il için ayrı ayrı optimum hava tabakası kalınlığının belirlenmesi ısı kayıpları ve maliyetleri açısından önem taşımaktadır.

Isı kayıplarını azaltacak yollardan biri hava boşluğundaki ışınlama olan ısı transferini en aza indirmek, diğeri hava boşluğunda iletimle olan ısı transferini en aza indirmektir. Bu çalışmada iletimle olan ısı transferini en aza indirmek hedeflenmiştir. Bu pencerelerde iki cam arasındaki hava tabakası aralığının artırılmasıyla gerçekleştirilmektedir. Ancak bu artış sınırsız olarak yapılmamaktadır. Aralığı kritik değerün üstüne çıkartmak, kapalı aralıktaki hava boşluğunda taşınım akımlarını başlatarak ısı transfer katsayısını artırarak amaca aykırı durum oluşturmaktadır. Üstelik boşluğu arttırmak, gerekli çerçeve kalınlığını ve pencere fiyatını da arttırarak elde edilen faydayı yok etmektedir.

Tüm bu sebeplerle Marmara Bölgesindeki iller için pencerelerde optimum hava tabakası kalınlığı yaklaşımları getirilmiştir. Sonuçla, Balıkesir, Çanakkale, İstanbul, Kocaeli, Sakarya ve Yalova illeri için 13,49 mm; Bursa, Tekirdağ illeri için 13,02 mm; Bilecik ve Edirne illeri için 12,61 mm optimum hava tabakası kalınlığı literatüre katılmıştır.

SEMBOLLER

g	Yerçekimi İvmesi (m^2/s)
$h_{dış}$	Dış Havanın Taşınım İle Isı Transfer Katsayısı ($W/m^2.K$)
$h_{iç}$	İç Havanın Taşınım İle Isı Transfer Katsayısı ($W/m^2.K$)
h_{hava}	Hava Boşluğunun Taşınım İle Isı Transfer Katsayısı ($W/m^2.K$)
H	Pencere Yüksekliği (m)
K_{cam}	Camın Isı Transfer Katsayısı ($W/m^2.K$)
k_T	Toplam Isı Transfer Katsayısı ($W/m^2.K$)
l_{cam}	Cam Kalınlığı (m)
L_c	Hava Boşluğu Uzunluğu (m)
Pr	Prandtl Sayısı (Boyutsuz)
Ra_L	Rayleigh Sayısı (Boyutsuz)
T_1	İç Ortam Sıcaklığı ($^{\circ}C$)
T_2	Dış Ortam Sıcaklığı ($^{\circ}C$)
Q_{opt}	Optimum Hava Boşluğu İçin Isı Transferi (W)
Q_{Ta}	Optimum Hava Boşluğundan Sonra Gerçekleşen Isı Transferi (W)
$Q_{ışınım}$	İşinim İle Isı Transfer Miktarı (W)
Q_{T1}	Optimum Hava Boşluğuna Kadar Olan Toplam Isı Transfer Miktarı (W)
Q_{T2}	Optimum Hava Boşluğundan Sonra Gerçekleşen Toplam Isı Transfer Miktarı (W)
X_{opt}	Optimum Hava Boşluğu (mm)

Greek Sembolleri;

β	Hacimsel Genleşme Katsayısı ($1/K$)
ν	Havanın Kinematik Viskozitesi (m^2/s)
σ	Stefan- Boltzmann Sabiti ($W.m^{-2}.K^{-4}$)
ϵ_1	Birinci Plakanın Yayılcılığı (Boyutsuz)
ϵ_2	İkinci Plakanın Yayılcılığı (Boyutsuz)
ϵ	Birbirine Bakan İki Cam Plakanın Yayılcılığı (Boyutsuz)

KAYNAKLAR

- [1] Anonim, http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/fa34c3c2eb9b729_ek.pdf, Erişim Tarihi: 15 Mart 2015.
- [2] GAGO, E. J.; MUNEEER, T.; KNEZ, M.; KOSTER, H., Natural Light Controls and Guides In Buildings. Energy Saving for Electrical Lighting, Reduction of Cooling Load, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 41, 1–13, 2015.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.002>
- [3] JELLE, B. P.; HYND, A.; GUSTAVSEN, A.; ARASTEHE, D.; GOUDEY, H. ve diğ., Fenestration of Today and Tomorrow: A State-of-the-Art Review and Future Opportunities, Published in Solar Energy Materials & Solar Cells, 96, 1–28, 2012.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.solmat.2011.08.010>
- [4] ÇENGEL Y., "Heat Transfer: A Practical Approach", İkinci Baskı, McGraw-Hill Yayıncılık, 2003.
- [5] "TS 825, Binalarda ısı yalıtımı yönetmeliğine ilişkin kanun", T.C. Resmî Gazete, No:27019, Tarih:09 Ekim 2008.
- [6] INCROPERA F., P., "Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri", Dördüncü Baskı, Literatür Yayıncılık, 2010.
- [7] ERTÜRK M.; PUL H.; KEÇEBAŞ A.; UYGUNOĞLU T.; DAŞDEMİR A., İl Bazında Çift ve Üç Camlı Pencere İçin Optimum Hava Tabakası Kalınlığı Analizi, 12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, Türkiye, 2953–2965, 8-11 Nisan 2015.

ÖZGEÇMİŞ

Buse ÇAÇAN

1996 yılı İstanbul doğumludur. İlk ve orta eğitimlerini İstanbul ili, lise eğitimini Sinop ilinde tamamlamıştır. 2014 yılında Sinop Anadolu Öğretmen Lisesi'nden mezun olmuştur. 2018 yılında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden, 2021 yılında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümünden lisans derecesini almıştır. Ekim 2020 tarihinde Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans eğitimine başlamıştır. Eğitimini halen bu bölümde devam ettirmektedir. Titreşim dinamiği, taguchi deneysel tasarım yöntemi, yapay sinir ağı ve bulanık mantık yöntemleri üzerinde çalışmaları vardır.

Mustafa ERTÜRK

1965 yılı Afyonkarahisar doğumludur. İlk, orta, lise eğitimlerini Afyonkarahisar ilinde tamamlamıştır. 1987 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümünden lisans derecesini almıştır. 1998 yılında Afyon Kocatepe Üniversitesi Makine Eğitimi Bölümünden yüksek lisans derecesini almıştır. 2012 yılında Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Bölümünden doktora derecesini almıştır. 11 Haziran 2018 tarihinde Üniversitelerarası Kurulundan Makine Mühendisliği Termodinamik-Enerji alanında Doçentlik derecesini almıştır. 1998-2019 yılları arasında Balıkesir Üniversitesi Balıkesir MYO İklimlendirme ve Soğutma programında öğretim görevlisi, Yrd.Doç. Dr ve Doç.Dr olarak görev almıştır. 2019 yılından beri Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır. Akademik olarak çok sayıda ulusal ve uluslararası yayın çalışmalarını birlikte bilimsel projelerde araştırmacı olarak görevler yapmıştır. Farklı enerji kaynaklı ısı pompaları, farklı faz akışkanlı ısı değiştiricileri, soğutma, havalandırma, iklimlendirme, yalıtım ve güneş enerjisi konularında çalışmaları vardır.

Ahmet AYDIN

1989 yılı Çorum doğumludur. İlk ve orta eğitimlerini Yozgat ili, lise eğitimini Sivas ilinde tamamlamıştır. 2007 yılında Sivas Cumhuriyet Anadolu Lisesi'nden mezun olmuştur. 2011 yılında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden lisans derecesini almıştır. 2014 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Enerji B. D' da Bölümünden yüksek lisans derecesini almıştır. Aynı yıl aynı bölüm ve bilim dalında doktora eğitimine başlamıştır. 2020 yılında doktora eğitimini tamamlamıştır. 2015 yılında Sakarya Üniversitesi Araştırma-Geliştirme Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde öğretim görevlisi olarak göreve başlamıştır. Şu anda Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır.