



**Bu bir MMO
yayıdır**

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

İL BAZINDA ÇİFT VE ÜÇ CAMLI PENCERELER İÇİN OPTİMUM HAVA TABAKASI KALINLIĞI ANALİZİ

**HAKAN PUL
MUSTAFA ERTÜRK
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ**

**ALİ KEÇEBAŞ
MUĞLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ**

**TAYFUN UYGUNOĞLU
AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ**

**ALİ DAŞDEMİR
KÖYCEĞİZ MESLEKİ VE TEKNİK EĞİTİM MERKEZİ**



İL BAZINDA ÇİFT VE ÜÇ CAMLI PENCERELER İÇİN OPTİMUM HAVA TABAKASI KALINLIĞI ANALİZİ

Hakan PUL
Mustafa ERTÜRK
Ali KEÇEBAŞ
Tayfun UYGUNOĞLU
Ali DAŞDEMİR

ÖZET

Bu çalışmada ülkemizin yedi bölgesinde farklı dış hava sıcaklığına sahip her il (Afyon, Antalya, Bursa, Gaziantep, Kars, Konya, Ordu) için ayrı ayrı düşey konumda iki cam plaka arasına hapsedilen hava tabakası 1mm' den başlayıp 300 mm' ye kadar hava boşluğunun penceredeki yalıtıma etkileri analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre pencerelerde her il için optimum hava tabakası kalınlığı yaklaşımları getirilmiştir. Yedi il için optimum hava tabakası kalınlıkları; Afyon 11.5 mm, Antalya 13.5 mm, Bursa 12.1 mm, Gaziantep 11.8 mm, Kars 10.2 mm, Konya 12.3 mm, Ordu 10.9 mm'dir. Ayrıca her il için belirlenen optimum hava tabakası kalınlığı baz alınarak düşey konumda üç cam plaka arasına iki tabaka olarak hava boşluğu hesaplamalarında ısı kaybı; Afyon'da %40.18, Antalya'da %40.978, Bursa'da %40.324, Gaziantep'te %40.395, Kars'ta % 40.545, Konya'da %40.547, Ordu'da % 40.099 azaldığı tespit edilmiştir.

Bu çalışma pencerelerde hava boşluğu kalınlığının her il için ayrı ayrı olarak belirleyen ilk çalışma olması nedeniyle önem arz etmektedir.

Anahtar kelimeler: Pencerelerde yalıtım, hava boşluğu, optimum hava tabakası kalınlığı.

ABSTRACT

In this study, the insulation effects of the air layer captured in between two glass plates with the distance changing from 1 to 300 mm was analysed considering cities with various temperature characteristics in 7 region of ur country. According to the analysis, optimum air layer thickness approach for each city was brought. Optimum air layer thicknesses for 7 cities are; Afyon,.....,Ordu. Furthermore, considering the optimum ait layer thickness for each city, it was realized that using 3 glass plates with 2 layers of air gaps reduced the heat loss by %40.18 in Afyon, in Antalya %40.978, in Bursa %40.324, in Gaziantep %40.395, in Kars % 40.545, in Konya %40.547 and % 40.099 in Ordu.

The study was essential owing to its being the fast study stating the optimum air gap thicknesses for windows in each city respectively.

Keywords: Insulation on windows, air gaps, optimum air layer thickness.

1.GİRİŞ

Teknolojik gelişmelerin enerjiye bağımlı olarak gelişmesi ve artan dünya nüfusu enerjiye olan talebi sürekli olarak artırmaktadır. Dünyadaki enerji, büyük oranda fosil türü kaynaklardan karşılanmaktadır. Fosil türü yakıtların yeniden oluşmasına göre enerjiye olan talebin çok hızlı artması fosil türü yakıt rezervlerinin azalmasına ve küresel enerji krizlerine neden olacağı aşikardır.

Binalarda enerjinin etkin kullanımında ilk oluşturulan standart ve yönetmeliklerde ısı kayıpları en düşük düzeye çekilmeye çalışılmıştır. Daha sonrasındaki süreçte ısıtma, soğutma ve iklimlendirme sistemlerinin verimliliği üzerinde yoğunlaşmıştır. 2000'li yılların başından itibaren mevcut kaynakların gelecek nesillere yetmeyeceği fark edilerek 'sürdürülebilirlik' kavramıyla fosil yakıt kullanımının olabildiğince azaltımı sağlanmaya çalışılmıştır [1]. 2012 yılı itibarıyla Türkiye'de enerji tüketimi sektörel olarak dağılımı; sanayi, konut ve hizmetlerde %26, ulaştırma da %17, çevrim santrallerinde %26, tarımda %3 ve diğer %2'dir [2]. 14 Haziran 2000 tarihinden itibaren TS 825'e göre ülkemizde inşa edilecek olan tüm ruhsatlı binalarda mecburi standart olarak binaların dış duvarlarında yalıtımın zorunlu hale getirilmesi ve yalıtıma devlet teşviği neticesinde 2007 yılında konut ve hizmetlerde tüketilen enerji %30 iken 2012 yılında %26'ya düşmüştür.

Her geçen gün fosil enerji kaynak rezervleri tartışıla dururken, dünya bu kez canlı hayatını tehlikeli boyutlarda etkisi altına alan baca gazı salınımlarıyla karşı karşıya kalmıştır. Sera gazı salınımlarının artması küresel olarak ısınmaya ve ozon tabakasının incelmeye neden olmaktadır. 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 [3,4]. Binalarda ısı yalıtımının ekonomik ve çevresel boyutunu irdeleyen farklı çalışmalar literatürde bulunmaktadır.

Isı yalıtımı, doğru uygulandıklarında, iletim (kondüksiyon), taşınım (konveksiyon) ve ışıyım (radyasyon) yoluyla gerçekleşen ısı akış hızını azaltan malzeme ya da malzemeler kombinasyonudur. Isı yalıtım malzemeleri, dış hacimlerden binalara veya binalardan dış hacimlere olan ısı akış hızını yüksek ısı direnç özellikleri sayesinde azaltırlar. Isı yalıtım malzemeleri, içerdikleri sayısız mikroskobik kapalı hava hücresinin (bünyelerindeki havanın hareket etmesine izin vermemek) taşınım ile olan ısı transferini engellemesi sonucu, ısı akısına direnç gösterirler. Isıl direnci gösteren, yalıtım malzemesi değil yalıtım malzemesinin bünyesinde bulunan hava hücreleridir Küçük hücre boyutuna sahip (kapalı hücre yapısına sahip) ısı yalıtım malzemeleri aynı zamanda, radyasyon etkisini de azaltır. Bunun yanında ısı yalıtım malzemesindeki hücre boyutunun küçülerek yoğunluğun artması genellikle iletim ile olan ısı transferini artırır. Tipik olarak, ölü hava hücreli ısı yalıtım malzemeleri durgun havanın gösterdiği ısı direnci aşamazlar [5].

Binalardaki ısı kayıplarının %40'ı dış duvarlardan, %30'u pencerelerden, %17'si kapılardan, %7'si çatılardan ve %6'sı döşemelerden olmaktadır [6]. Pencerelerden ısı kaybı ve kazançlarını azaltmak için şeffaflığı etkilemeyen bir malzemeyle yalıtılmalıdır. Havanın 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 ülkemizin yedi bölgesinde bulunan farklı dış hava sıcaklığına sahip her il (Afyon, Antalya, Bursa, Gaziantep, Kars, Konya, Ordu) için ayrı ayrı düşey konumda iki cam plaka arasına hapsedilen hava tabakası 1mm' den başlayıp 300 mm' ye kadar hava boşluğunun pencerelerdeki yalıtıma etkileri araştırılmıştır. Araştırmalara göre literatüre pencerelerde her il için optimum hava tabakası kalınlığı yaklaşımları getirilmiştir. Ayrıca her il için belirlenen optimum hava tabakası kalınlığı baz alınarak düşey konumda üç cam plaka arasına iki tabaka olarak hava boşluğunun yalıtıma olan etkisi araştırılmıştır.

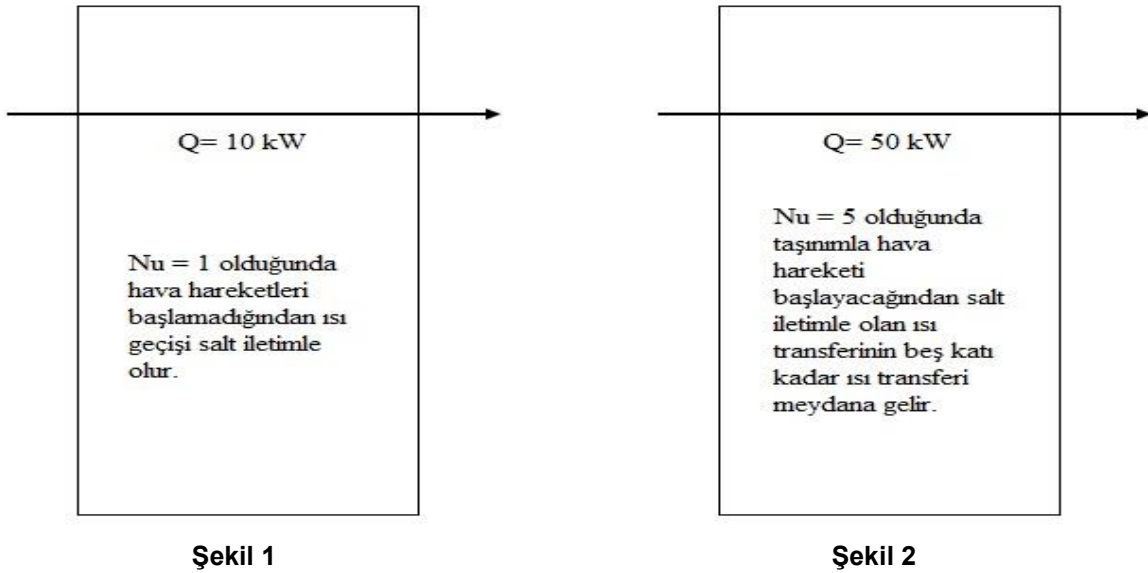
2. HESAPLAMA YÖNTEMİ

Bu çalışmada Afyon, Antalya, Bursa, Gaziantep, Kars, Konya, Ordu illeri için dış hava sıcaklıkları TS 825'e göre baz alınıp her il için farklı kalınlıkta hava tabakası kalınlığının toplam ısı transfer katsayıları ve ısı kaybına etkisi hesaplanmıştır.

2.1 Düşey Konumda Kapalı İki Cam Plaka Arasında Isı Geçişi

Düşey konumda iki cam plaka arasına hapsedilen hava, sıcak yüzeye bitişik (iç ortamdaki cam) akışkanın yükselip soğuk yüzeye (dış ortamdaki cam) bitişik akışkanın dönme hareketi Nusselt sayısına bağlı olarak başlamaktadır. Nusselt sayısı ≤ 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 Nu sayısı kadar katıdır [7].

Şekil 1'de kapalı aralıkta Nusselt sayısı 1 olduğu için hava hareketi başlamadığından iletimle ısı geçişi, Şekil 2'de Nusselt sayısı 5 olduğu için doğal taşınım ile hava hareketi başlayacağından iletimle transfer edilen ısının beş katı kadar fazla ısı geçişi olacaktır.



Şekil 1. ve 2. Nusselt sayısına bağlı olarak ısı transfer şekli ve miktarı.

Rayleigh sayısı < 1708 olduğunda kaldırma kuvveti akışkan direncinin yenemeyeceği için iletimle ısı transferi gerçekleşir. Rayleigh sayısı > 1708 olduğundan kaldırma kuvveti akışkan direncini yener ve Bernard hücreleri olarak adlandırılan ve sekizgen hücreler biçiminde olduğu gözlenen laminar akış başlayacağı için taşınım ile ısı transferi gerçekleşir. $Ra > 3 \times 10^5$ için de Bernard hücreleri bozulur ve akış türbülanslı olur. (yunus hoca)

Rayleigh sayısı (Ra) denklem 1 de, ideal akışkanlarda genişleme katsayısı (β) denklem 2-3' te verilmiştir.

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

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



$$T_{film} = \frac{T_1 + T_2}{2} \quad (3)$$

Her il için belirlenen optimum hava tabakası kalınlığının üzerinde Nusselt sayısı 1 den büyük olacağı için Bernard hücreleri hareket edip laminar akışı başlatacaktır. Bu durum hava tabakasının katı bir cisim gibi davranmayıp akışkan gibi davranmasına neden olacaktır. Düşey kapalı aralık için Nusselt sayısı ve ısı taşınım katsayısı denklem 4-5 te verilmiştir. Taşınım ile olan ısı transferi denklem 8' de verilmiştir.

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

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

2.2 Düşey Konumda Kapalı İki Cam Plaka Arasında Toplam Isı Transferi

Pencerelerde ısı kayıpları akış türüne göre; iletim, taşınım ve ışınım ile olmaktadır.

Optimum hava tabakası hesaplamalarında hava boşluğu katı cisim gibi davranacağından iletimle ısı transferini oluşturacaktır. Bu hesaplamada optimum ısı geçişi (Q_{opt}) denklem 6'da, toplam ısı transfer katsayısı (k_T) denklem 7'de, optimum hava tabakasına kadar olan toplam ısı geçişi (Q_{T_1}) denklem 8'de verilmiştir.

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

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

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

Düşey konumda iki cam arasındaki optimum hava boşluğunun artması, havanın tabakasının akışkan gibi davranması, boşlukta taşınım ile ısı geçişine neden olmaktadır. Bu durumda hava tabakasının kalınlığına göre ısı taşınım katsayısı denklem 4-5'le bulunarak denklem 9'da düzenlenmiştir. Optimum hava tabakası kalınlığının üzerindeki pencerelerde ısı transferi (Q_A) denklem 9'da, toplam ısı transfer katsayısı (k_T) denklem 10'da verilmiştir.

$$Q_A = k_T \cdot A_{pencere} \cdot (T_1 - T_2) \quad (9)$$

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

Pencerelerde ışınım ile ısı geçişi denklem 11'de, düşey plakalarda cam yüzeylerin yayıcılığı ε denklem 12'de ve optimum hava boşluğu üzerindeki hava boşluklarındaki toplam ısı transferi denklem 13'te verilmiştir.

$$Q_{ışınım} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A_{pencere} \cdot (T_1^4 - T_2^4) \quad (11)$$

$$\varepsilon = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \quad (12)$$

$$Q_{T_2} = Q_A + Q_{ışınım} \quad (13)$$

3. ANALİZ

Yedi bölgemizdeki yedi il için dış hava sıcaklıkları TS 825'e göre, pencere alanı $1,2m^2$ ve 4mm kalınlıkta iki cam için farklı kalınlıkta hava tabakası kalınlığının toplam ısı transfer katsayıları ve ısı kaybına etkileri her il için ayrı ayrı analiz edilmiştir. Analizlerde kullanılan havanın termofiziksel özellikleri Tablo 1' de, analiz sonuçları Tablo 2'de Afyon için verilmiştir. Diğer altı il içinde bu çalışma yapılmış olup bildiri metninin uzamaması için tablo özeti her il için ayrı ayrı şekil olarak gösterilmiştir.

Tablo 1. Havanın termofiziksel özellikleri [8].

İl	İç Ortam Sıcaklığı (°C)	Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	Genleşme Katsayısı (1/°K)	Kinematik Viskozite (m^2/s)	İletim Katsayısı (W/m^2K)	Prandl Sayısı (-)
Afyon	21	-12	0.0036036	0.000013763	0.024458	0.71866
Antalya	22	3	0.0035026	0.000014207	0.025068	0.71698
Bursa	22	-6	0.0035587	0.000014029	0.024687	0.71802
Gaziantep	22	-9	0.0035778	0.000013940	0.024611	0.71823
Kars	22	-27	0.0036969	0.000013630	0.023841	0.72045
Konya	22	-5	0.0035529	0.000014118	0.024764	0.71780
Ordu	22	-18	0.0036636	0.000013499	0.024227	0.71932

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

Afyon, Antalya, Bursa, Gaziantep, Kars, Konya, Ordu olmak üzere her il için ayrı ayrı düşey konumda $1.2 m^2$ iki cam plaka arasına hapsedilen hava boşluğu 1mm'den başlayıp 300 mm' ye kadar hava boşluğunun pencerelerdeki yalıtıma etkisi ve optimum hava tabakası kalınlığı, ayrıca her il için belirlenen maksimum hava boşluğu üç cam plaka arasına iki tabaka olarak hava boşluğunun yalıtım olan etkisi araştırmak için analizler yapılmıştır.

Tablo 2. Afyon için farklı kalınlıkta hava tabakasının yalıtıma etkisi

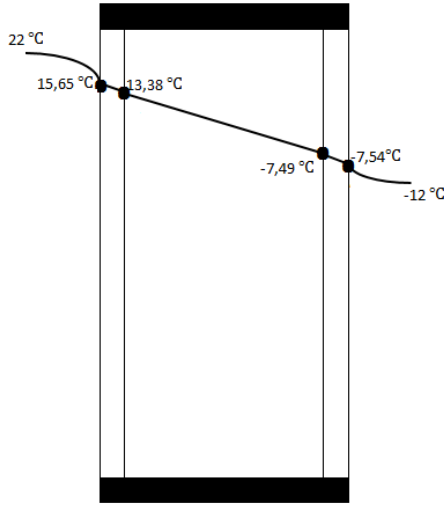
Hava Boşluğu (mm)	Toplam Isı Transfer Katsayısı (W/m^2K)	Isı Transferi (W)
1	2.973467780	121.3174854
2	2.651155073	108.1671270
3	2.391883871	97.58886194
4	2.178806285	88.89529641
5	2.00058684	81.62394306
6	1.849318455	75.45219295
7	1.719317415	70.14815054
8	1.606393225	65.54084357
9	1.507388457	61.50144906
10	1.419878888	57.93105863
11.5	1.305789251	53.27620143
12	1.307496456	53.34585541
13	1.310709468	53.47694629
14	1.31368684	53.59842306
16	1.319057839	53.81755982
18	1.323801971	54.01112043
20	1.328050905	54.18447693

22	1.331898689	54.34146652
24	1.335414855	54.48492608
26	1.338652266	54.61701244
28	1.341652056	54.73940390
30	1.344446867	54.85343218

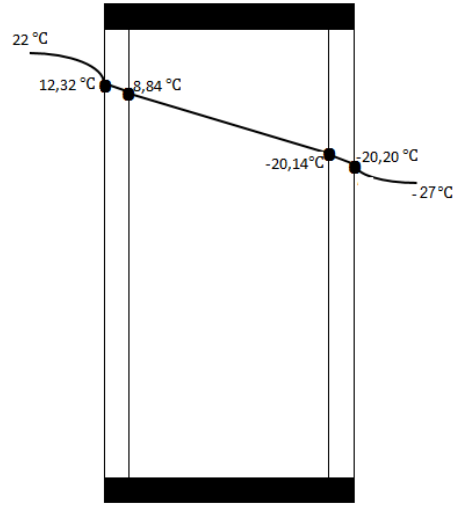
3.2 Optimum Hava Tabakası Kalınlığının Her İl İçin Belirlenmesi

Yedi il için optimum hava tabakaları Tablo 3 ve Şekil 5,...,11'de gösterilmiştir. Tablo 2'de Afyon için düşey konumda iki cam arasındaki 1 mm hava boşluğu için $k_T = 2.97346778 (W/m^2K)$, $Q = 121.3174854 W$ olarak bulunmuştur. Hava tabakası kalınlığı 11.5 mm'ye kadar arttıkça k_T ve ısı transferi azalmaktadır. Afyon için optimum hava tabakası kalınlığı 11.5 mm'ye göre $k_T = 1.305789251 (W/m^2K)$, $Q_{opt} = 53.27620143 W$ hesaplanmıştır. 30 mm hava boşluğu için $k_T = 1.344446867 (W/m^2K)$, $Q_A = 54.85343218 W$ hesaplanmıştır. Hava tabakası 11.5 mm'ye kadar katı bir madde olarak davrandığı için iletim özelliğinden dolayı k_T ve ısı geçişini azaltmıştır. Hava boşluğunun 11.5 mm üzerine çıkmasıyla havanın iletim özelliği taşınımına dönüşmüştür. Bu durum optimum hava tabakası üzerindeki hava boşluğu için k_T ve ısı geçişini artırarak negatif etki göstermektedir.

Şekil 3,4'te Afyon ve Kars illeri için x_{opt} 'a göre paralel levhaların her iki yanında akışkan bulunması durumuna göre yüzey sıcaklıkları verilmiştir. Afyon için T_2 sıcaklığı $13.38^\circ C$, T_3 sıcaklığı $-7.49^\circ C$, Kars için T_2 sıcaklığı $8.84^\circ C$, T_3 sıcaklığı $13.38^\circ C$ olduğu görülmektedir.



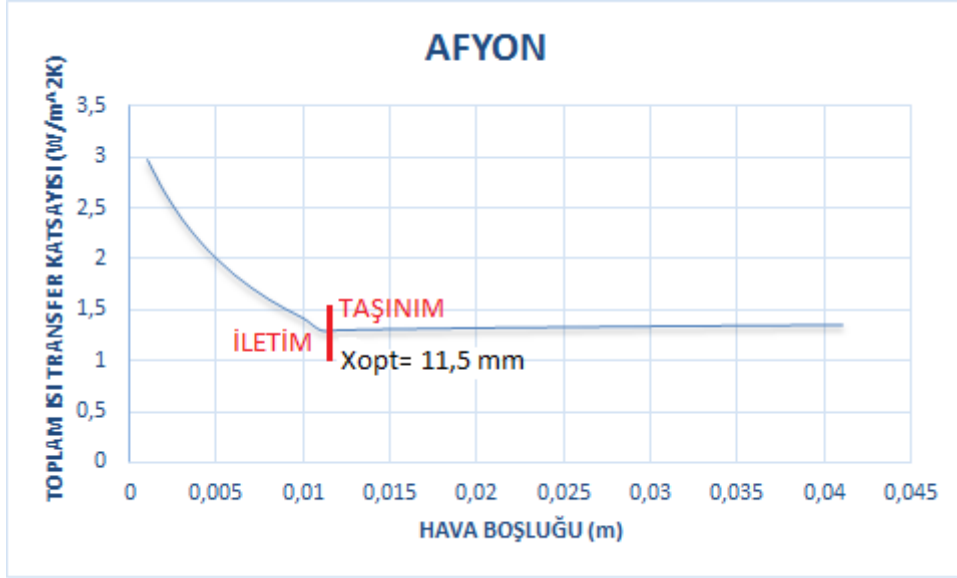
Şekil 3. Afyon için.



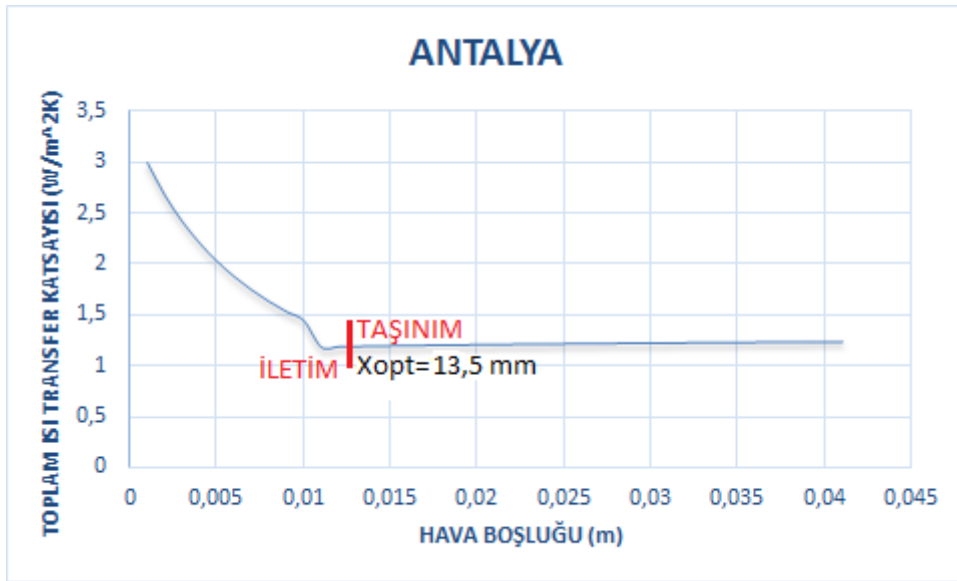
Şekil 4. Kars için.

Şekil 3.4. Afyon, Kars illeri için x_{opt} hava tabakasında iki cam yüzey sıcaklıkları.

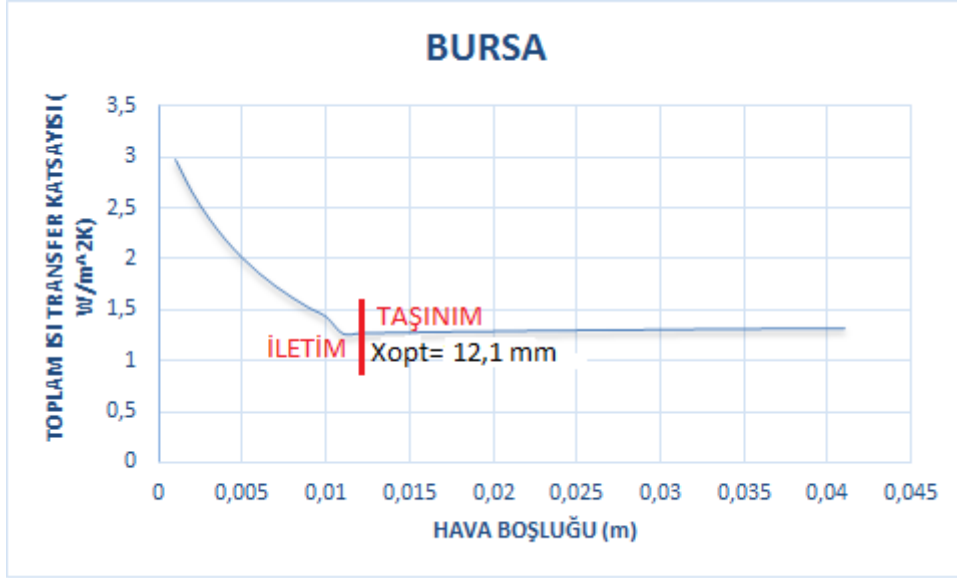
Şekil 5'te Afyon için hava tabakasının 11.5 mm ye kadar, k_T 'nin azaldığı, 11.5 mm'den sonraki hava boşluğunda artışa geçtiği görülmektedir. Afyon için 11.5 mm optimum hava tabakası kalınlığı (x_{opt}) olarak literatüre ilk defa kazandırılmıştır. Optimum hava tabakasına göre hava boşluğu 30 mm olduğunda k_T ve ısı transferi % 4 artmıştır. Bu durum optimum hava tabakası üzerindeki hava boşluğu için k_T ve ısı geçişini artırarak negatif etki göstermektedir.



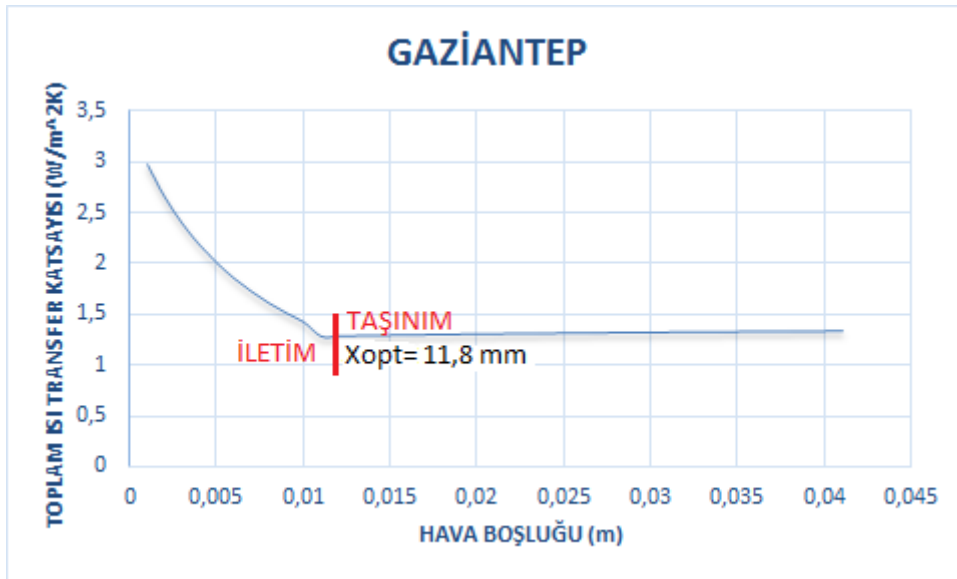
Şekil 5. Afyon için optimum hava tabakası.



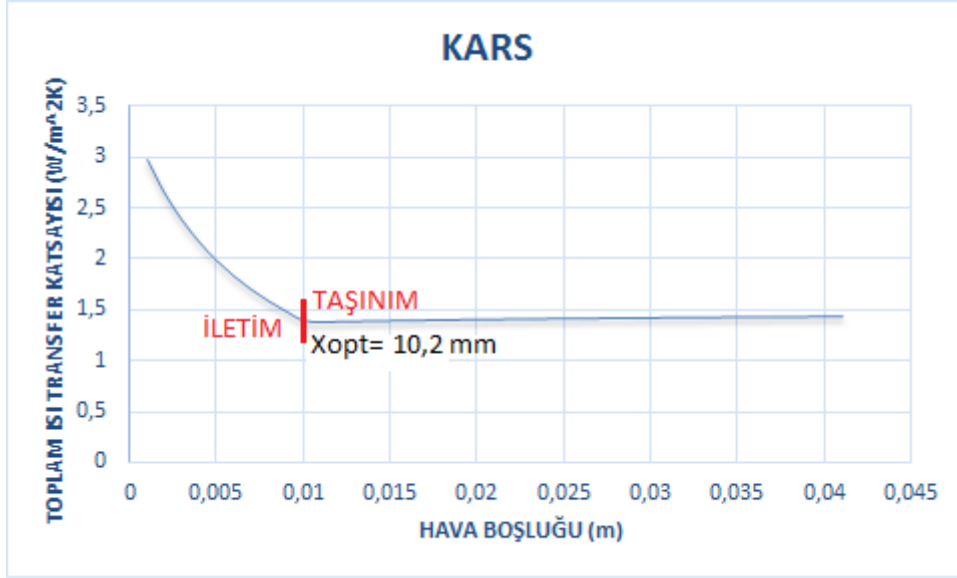
Şekil 6. Antalya için optimum hava tabakası.



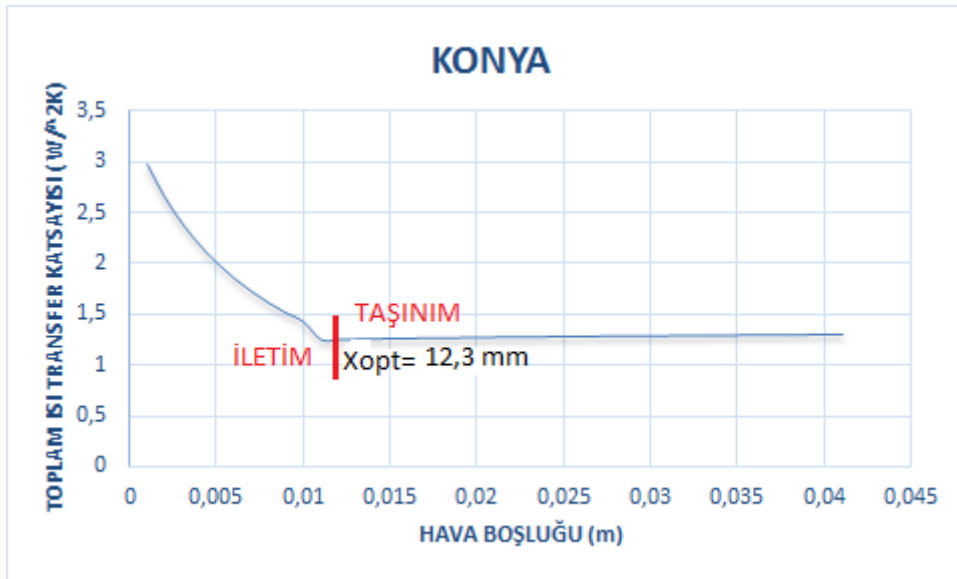
Şekil 7. Bursa için optimum hava tabakası.



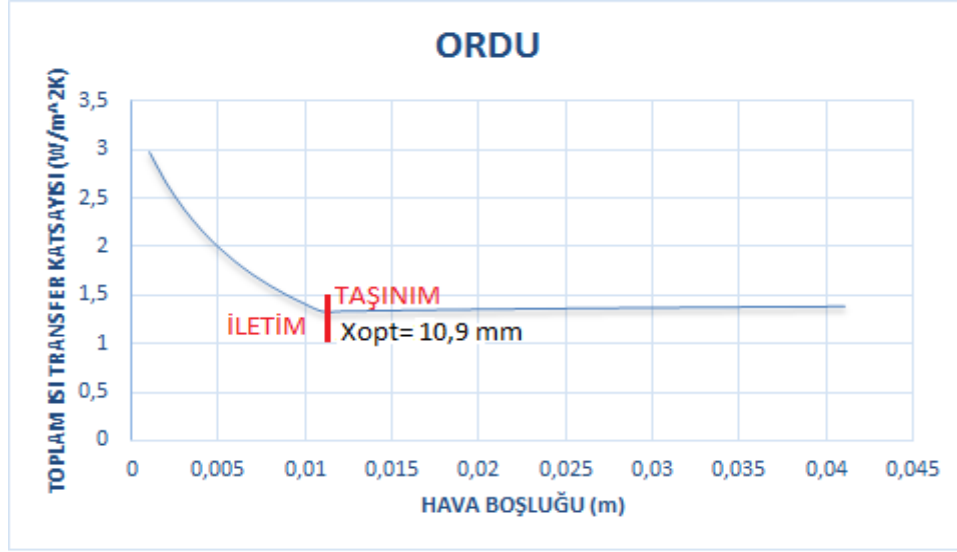
Şekil 8. Gaziantep için optimum hava tabakası.



Şekil 9. Kars için optimum hava tabakası.



Şekil 10. Konya için optimum hava tabakası.



Şekil 11. Ordu için optimum hava tabakası.

Tablo 3. İllere Göre x_{opt} ve Q_{opt} .

İL	x_{opt} (mm)	Q_{opt} (W)
AFYON	11.5	53.20348687
ANTALYA	13.5	27.12865794
BURSA	12.1	42.43036574
GAZİANTEP	11.8	47.77314082
KARS	10.2	82.25309255
KONYA	12.3	40.66739672
ORDU	10.9	64.28511038

3.3 Düşey Konumda Üç Cam Plaka Arasında İki Katmanlı Optimum Hava Kalınlığının Isı Transfer Geçişine Analizi

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 iki tabaka halinde üç cam plaka arasına optimum hava boşluğu hapsedilerek yalıtım etkisi araştırılmıştır. Üç cam arasına optimum hava tabakası uygulanması halinde iki cam uygulamasına göre ısı kayıpları; Afyon'da %40.18, Antalya'da %40.978, Bursa'da %40.324, Gaziantep'te %40.395, Kars'ta % 40.545, Konya'da %40.547, Ordu'da % 40.099 azaldığı Tablo 4'te görülmektedir.

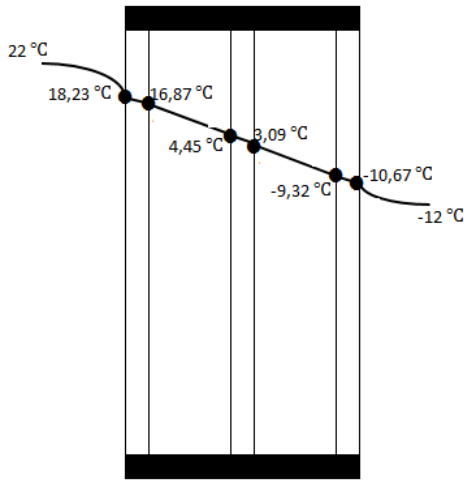
Tablo 4. İller için Çift Cam İle Üç Camın Q_{opt} 'lerinin Karşılaştırılması.

İl	Çift Cam		Üç Cam	
	x_{opt} (mm)	Q_{opt} (W)	x_{opt} (mm)	Q_{opt} (W)
Afyon	11.5	53.20348687	11.5	31.69939279
Antalya	13.5	27.12865794	13.5	16.01378123
Bursa	12.1	42.43036574	12.1	25.32072323
Gaziantep	11.8	47.77314082	11.8	28.49212103
Kars	10.2	82.25309255	10.2	48.90333024
Konya	12.3	40.66739672	12.3	24.17764696
Ordu	10.9	64.28511038	10.9	38.50702461

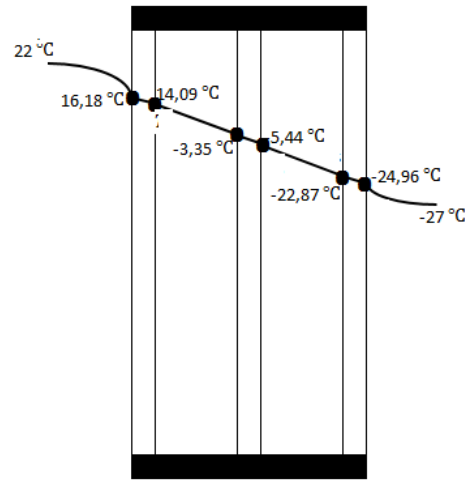
Yedi il için üç cam uygulamasına göre yüzey sıcaklıkları Tablo 5'te, Afyon ve Kars içinde x_{opt} 'a göre yüzey sıcaklıkları Şekil 12 ve 13'te verilmiştir.

Tablo 5. Yedi farklı il için düşey konumda üç cam plaka arasında iki katmanlı optimum hava tabakası kalınlığına göre yüzey sıcaklıkları.

Yüzey Sıcaklıkları °C	Afyon	Antalya	Bursa	Gaziantep	Kars	Konya	Ordu
T_1	18.2	20.10	18.99	18.61	16.18	19.12	17.42
T_2	16.9	19.4	17.9	17.39	14.09	18.09	15.77
T_3	4.45	12.22	7.56	6.01	-3.34	8.08	1.33
T_4	3.09	11.54	6.48	4.79	-5.43	7.05	-0.31
T_5	-9.30	4.35	-3.86	-6.59	-22.87	-2.96	-14.75
T_6	-10.68	3.67	-4.94	-7.81	-24.96	-3.99	-16.39



Şekil 11. Afyon için.



Şekil 12. Kars için.

Şekil 11.,12. Afyon, Kars illeri için x_{opt} 'a göre üç cam uygulaması cam yüzey sıcaklıkları.

SONUÇ

Bu çalışmada farklı dış hava sıcaklığına sahip yedi il için, düşey konumda iki cam plaka arasına 1 mm' den başlayıp 300 mm'ye kadar hava boşluğunun penceredeki yalıtıma etkisi analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre; optimum hava tabakası kalınlığına kadar taşınım ile olan ısı transferi engellendiği için pozitif etki, optimum hava tabakasının üzerine çıkılması ise negatif etki oluşturmaktadır. Afyon için 11.5 mm hesaplanan x_{opt} , hava tabakası kalınlığı 300 mm'ye çıkarıldığında k_T ve ısı transferi % 4 artmıştır. Diğer altı il içinde bu yaklaşım farklı oranlarda gerçekleşmektedir. Her il için belirlenen optimum hava tabakası kalınlığı baz alınarak düşey konumda üç cam plaka arasına iki tabaka olarak hava boşluğu uygulaması hesaplamalarında ısı kaybı; Afyon'da %40.18, Antalya'da %40.978, Bursa'da %40.324, Gaziantep'te %40.395, Kars'ta % 40.545, Konya'da %40.547, Ordu'da % 40.099 azaldığı tespit edilmiştir.



Dış duvarlardaki ısı kayıpları en fazla pencerelerde olduğu için, 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. Teorik olarak analiz edilen bu çalışma, farklı kalınlıkta hava boşluğuna sahip 15 numuneyle deneyleri yapıp bu çalışmayla karşılaştırılmaları paylaşılacaktır.

SEMBOLLER

- Ra : Rayleigh Sayısı (Boyutsuz)
 Pr : Prandl Sayısı (Boyutsuz)
 g : Yer çekim ivmesi (m^2/s)
 β : Genleşme Katsayısı ($1/^\circ K$)
 T_1 : İç Ortam Sıcaklığı ($^\circ C$)
 T_2 : Dış Ortam Sıcaklığı ($^\circ C$)
 L_h : Hava Boşluğu Uzunluğu (m)
 ν : Havanın Kinematik Viskositesi (m^2/s)
 k_T : Toplam Isı Transfer Katsayısı ($W/m^2.K$)
 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)
 H : Pencere Yüksekliği (m)
 Q_{opt} : Optimum Hava Boşluğu İçin Isı Transferi (W)
 Q_A : Optimum Hava Boşluğundan Sonra Gerçekleşen Isı Transferi (W)
 $Q_{ışınım}$: Işınım İle Isı Transfer Miktarı (W)
 Q_{T_1} : Optimum Hava Boşluğuna Kadar Olan Toplam Isı Transfer Miktarı (W)
 Q_{T_2} : Optimum Hava Boşluğundan Sonra Gerçekleşen Toplam Isı Transfer Miktarı (W)
 σ : Stefan- Boltzman 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)
 x_{opt} : Optimum Hava Boşluğu (mm)

KAYNAKLAR

- [1] Arısoy A., TTMD Eskişehir çalıştay, (Şubat 2009)
- [2] www.tuik.gov.tr
- [3] Ogulatar.G., "Sectoral energy consumption in Turkey", Renewable and Sustainable Energy Reviews, No 6, 471-480, 2002.
- [4] Kaygusuz K., Kaygusuz A., "Energy and sustainable development. Part II: Environmental impacts of energy use", Energy Sources, No 26, 1071-1082, 2004.
- [5] Al-Homoud, M.S., "Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials", *Building and Environment*, 40 (2005), 353–366.
- [6] www.enerji.gov.tr
- [7] Çengel Y., Heat Transfer: A practical APP Roach. Mc Graw Hill, 2003
- [8] www.mhlt.uwaterloo.ca/old/onlinetools/airprop/airprop.html



ÖZGEÇMİŞ

Hakan PUL

1990 yılında Giresun'da doğmuştur. 2013 yılında Balıkesir Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. 2013 yılında Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisans öğrenimine başladı. Dış duvar ve pencerelerde hava boşluğunun yalıtım malzemesi olarak kullanılması konusunda çalışmaktadır.

Mustafa ERTÜRK

1987 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Tesisat Anabilim Dalından lisans derecesini aldı. 1998 yılında Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Bölümünden yüksek lisans derecesini aldı. 2012'de Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Bölümü Termodinamik-Enerji Anabilim dalından Doktora derecesini aldı. 03-02-2014'de Balıkesir Üniversitesi Balıkesir MYO İklimlendirme ve Soğutma programına Yrd. Doç. Dr. olarak atanmıştır. Binalarda yalıtım, Etkin enerji kullanımı, Pasif ısıtma-soğutma, Soğutma, Havalandırma, İç hava kalitesi, İklimlendirme, Isıtma, Değişik kaynaklı ısı pompaları, Endüstriyel kurutma, Güneş enerjisi, Ön lisans düzeyinde soğutma, iklimlendirme, tesisat alanlarına yönelik laboratuvar cihazlarının tasarımı, projelendirilmesi ve imalatı konularında çalışmaktadır.

Ali KEÇEBAŞ

1980 yılında Fethiye'de doğmuştur. 2003'te Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü'nden lisans mezunu olmuştur. Yüksek lisansını 2005 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Makine Eğitimi ABD'den ve doktora derecesini 2011 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Makine Mühendisliği ABD'den almıştır. 2013 yılından beri Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'nde Doçent Doktor olarak çalışmaktadır. Çalışma konuları; akışkanlar mekaniği, yenilenebilir enerji kaynakları, jeotermal ve hidrolik enerjiler ve termodinamik analiz metodlarıdır. Dergi ve konferanslarda sunulmuş 70'in üzerinde makalesi bulunmaktadır.

Tayfun UYGUNOĞLU

2001'de Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü'nden lisans derecesini, 2005'de Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Ana Bilim Dalından Yüksek lisans derecesini, 2008'de SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Yapı Malzemeleri Ana bilim Dalından Doktora derecesini almıştır. 2011 yılından beri Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde Doçent Doktor olarak çalışmaktadır. Çalışma konuları; yapı malzemeleri, beton teknolojisi, bina yalıtımı ve uygulamalarıdır.

Ali DAŞDEMİR

1982 Yılında Köyceğiz'de doğdu. İlk ve ortaokulu aynı ilçede, lise öğrenimini Aydın'da tamamladı. 2008 yılında Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Tesisat Öğretmenliği programını Birincilik ile bitirdikten sonra, 2011 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde yüksek lisansını, aynı derece ile tamamlamıştır. Yalıtım ve Klima Hijyeni üzerine çalışmaları mevcuttur. 2011 yılından bu yana Köyceğiz Mesleki ve Teknik Eğitim Merkezinde Tesisat Teknolojisi ve İklimlendirme Öğretmeni olarak çalışmaktadır.

