

DOI: 10. 7596/taksad. v1i4

## Karabük İçin Dış Duvar Optimum Yalıtım Kalınlığının Enerji Tasarrufu Ve Hava Kirliliğine Etkileri\*

Ali Etem Gürel<sup>1</sup>, Yusuf Çay<sup>2</sup>,  
Ali Daşdemir<sup>3</sup>, Enver Küçükkulahlı<sup>4</sup>

### Özet

Bina dış duvarlarında yapılacak ısı yalıtım uygulamaları, yakıt tüketimini düşürerek enerji tasarrufu sağlamanın yanında, fosil kaynaklı yakıt kullanımından kaynaklanan ve hava kirliliğine neden olan emisyonların düşürülmesinde de son derece etkilidir. Bu çalışmada Karabük'te kömür ve doğalgaz kullanımında dış duvar optimum yalıtım kalınlığı tespitinin ekonomik ve çevresel analizi yapılmıştır. Çalışmanın ekonomik boyutu, yaşam döngüsü maliyet analizine (LCCA) dayanan P<sub>1</sub>-P<sub>2</sub> yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonuçları, yakıt olarak kömür kullanıldığında optimum yalıtım kalınlığı ve enerji tasarrufunun sırasıyla 0.134 m ve 117.14 TL/m<sup>2</sup> olduğunu göstermiştir. Yakıt olarak doğalgaz kullanımında ise bu değerler sırasıyla 0.116 m ve 88.39 TL/m<sup>2</sup> olarak bulunmuştur. Optimum yalıtım kalınlığının hava kirliliğine olan etkileri incelendiğinde, yalıtımsız bina dış duvarında hesaplanan CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> emisyonlarının yakıt tipine bağlı olarak optimum yalıtım kalınlığı noktasında %85.4'e kadar azaldığı hesaplanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Yalıtım, hava kirliliği, ekonomik analiz, LCCA.

\* Bu makale Karabük Üniversitesi tarafından düzenlenmiş olan "Tüketim Toplumu ve Çevre" konulu Ulusal Sempozyumda sunulan tebliğin geliştirilmiş şeklidir.

<sup>1</sup> Öğr. Gör. Düzce Üniversitesi, Düzce Meslek Yüksekokulu İklimlendirme-Soğutma Teknolojisi, etemgurel@gmail.com

<sup>2</sup> Doç. Dr., Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, yusufcay@karabuk.edu.tr

<sup>3</sup> Teknik Öğretmen, Muğla Köyceğiz Mesleki ve Teknik Eğitim Merkezi, dasdemirali@gmail.com

<sup>4</sup> Öğr. Gör., Düzce Üniversitesi Düzce Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Programcılığı, enverkulahli@gmail.com

# The Effect of External Wall Optimum Insulation Thickness on Energy Saving and Air Pollution For Karabük

## Abstract

Heat insulation applications carried out on external walls of building provides energy saving by decreasing fuel consumption and also quite important in decreasing emission which results from fossil-based fuel usage and causes air pollution. In this study, economic and environmental analyses were done for determination of external wall optimum thickness in using coal and natural gas usage in Karabük. Economic extent of the study was done with P<sub>1</sub>-P<sub>2</sub> method which is based on life cycle cost analysis (LCCA). The results show that optimum insulation thickness and energy saving are 0.134 m and 117.14 TL/m<sup>2</sup> respectively when coal is used as a fuel. These values are 0.116 m and 88.39 TL/m<sup>2</sup> when natural gas is used as fuel. When the effects of optimum insulation thickness on air pollution are observed, CO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub> emissions calculated on external wall of uninsulated building decreased up to 85.4% at the point of optimum insulation thickness according to fuel type.

**Keywords:** Insulation, air pollution, economic analysis, LCCA.

## 1. GİRİŞ

Günümüzde, küresel ısınma ve kirlilik, enerji elde etmek için fosil kaynaklı yakıtların ağırlıklı olarak kullanılmasının da etkisiyle, dünyadaki yaşamsal faaliyetleri tehdit edecek bir boyuta ulaşmıştır. Bu çevresel etkilerin yanı sıra enerjiye olan talep, hızla artan dünya nüfusuna paralel olarak sürekli artmakta ve bu hızlı artış sınırlı rezervlere sahip fosil kaynaklı yakıtların büyük bir hızla tüketilmesine neden olmaktadır. Bu açıdan bakıldığında, enerji kaynaklarının tasarruflu kullanımına yönelik yapılacak çalışmaların büyük bir önem taşıdığı görülmektedir. Konutlarda tüketilen enerjinin %80'inin ısıtma-soğutma amaçlı kullanıldığı Türkiye'de, ısı yalıtım teknolojileri ile enerjiden yüksek oranda tasarruf sağlanabilir. Uygun bir biçimde yalıtılmış binalarda yapılan yalıtım maliyeti, bina ömrü boyunca kendini birçok kez öder. Enerji tüketimi ve buna bağlı olarak fosil yakıtların kullanımından dolayı oluşan baca gazı emisyonları azalır [1,2].

Yalıtım aşağıdaki işlevlerden bir veya birkaçını yaparak ısı enerjisi akışını geciktiren malzemeler veya bu malzemelerin kombinasyonları olarak tanımlanır: (i) ısı kaybı ve kazancını azaltmak için enerjiyi muhafaza etmesi, (ii) personel güvenliği ve konforu için yüzey sıcaklıklarını kontrol etmesi, (iii) bir işlemin sıcaklık kontrolünü kolaylaştırması, (iv) soğuk yüzeylerde buhar akışı ve su yoğunlaşmasını önlemesi, (v) ticari ve endüstriyel tesislerde bulunan ısıtma/havalandırma/soğutma, sıhhi tesisat, buhar ve güç sistemlerinin işletme

verimliliğini arttırması ve (vi) ekipmanları ateş veya aşındırıcı atmosferlere maruz kalmaktan korunması veya zararı azaltmasıdır. Yalıtım malzemesinin seçiminde bölgenin ortalama dış ortam sıcaklığı, yalıtım malzemesinin ısı iletkenliği ve maliyeti en önemli parametrelerdir. Yalıtım malzemesinin kalınlığının artmasıyla ısıtma ve soğutma için enerji tüketimi azalacaktır. Ancak bu durumda yalıtım maliyeti artacak ve bu durum toplam yatırım maliyetini de arttıracaktır. Bu nedenle yalıtım uygulamalarında toplam yatırım maliyetinin minimize edildiği optimum bir yalıtım kalınlığı değeri değer söz konusudur. Bu optimum değerin tespiti ekonomik analiz için kritik önem taşımaktadır [3,4].

Literatürde binalarda optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesine ilişkin farklı çalışmalar bulunmaktadır. Yıldız vd. [5] yaptıkları çalışmada binalarda ısı yalıtımının ekonomik ve çevresel analizini yapmışlardır. Çalışmada Ankara ve İzmir illeri seçilmiştir. Yakıt olarak kömür, doğalgaz, fuel-oil, LPG ve elektrik kullanılan çalışmada farklı şehirler için yalıtım kalınlığının ekonomik ve çevresel etkileri incelenmiştir. Bolattürk [6] Türkiye'nin dört farklı iklim bölgesinden seçilen on altı farklı şehir için optimum yalıtım kalınlıkları, enerji tasarrufları ve geri ödeme sürelerini hesaplamıştır. Hesaplama sonucunda, bu değerleri sırasıyla 0.02–0.17 m arasında, %22-%79 arasında ve 1.3–4.5 yıl arasında olarak belirlemiştir. Uçar ve Balo [7] yaptıkları çalışmada, Türkiye'nin dört farklı iklim bölgesinde bulunan şehirler için optimum yalıtım kalınlıkları, enerji tasarrufları ve geri ödeme sürelerini hesaplamışlardır. Sonuçlar şehir ve yakıt seçimine bağlı olarak optimum yalıtım kalınlıklarının 1.06–7.64 cm arasında, enerji tasarruflarının 19 – 47 \$/m<sup>2</sup> ve geri ödeme sürelerinin 1.8–3.7 yıl arasında değiştiğini göstermiştir. Çomaklı ve Yüksel [8] çalışmalarında binalarda ısı yalıtımının çevresel etkilerini incelemişlerdir. Çalışma sonuçları optimum yalıtım kalınlığında CO<sub>2</sub> salınımının yaklaşık %50 azaldığı belirlenmiştir. Dombaycı [9] yaptığı çalışmada Denizli'de bina dış duvarlarında optimum yalıtım kalınlığının çevresel analizini gerçekleştirmiştir.

Bu çalışmada Karabük'te kömür ve doğalgaz kullanımında dış duvar optimum yalıtım kalınlığı tespitinin ekonomik analizi yapılmıştır. Analiz yaşam döngüsü maliyet analizine (LCCA) dayanan P<sub>1</sub>-P<sub>2</sub> yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Ayrıca azalan yakıt tüketimine bağlı olarak CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> emisyonları da hesaplanıp çevresel bir değerlendirilmede bulunulmuştur.

## 2. Dış duvar için ısı yükü

Binalarda ısı kayıpları genellikle dış duvar yüzeyinden, pencerelerden, tavandan ve hava infiltrasyonu ile meydana gelmektedir [10, 11]. Yapılan çalışmada ısı kayıplarının sadece dış duvar yüzeyinden meydana geldiği kabul edilmiştir. Çalışmada, kullanılan dış duvarı oluşturan malzemeler sırasıyla 2 cm kalınlığında iç sıva (k=0.87 W/mK), 19 cm kalınlığında yatay delikli tuğla (k=0.45 W/mK) ve 3 cm kalınlığında dış sıvadan (1.4 W/mK) oluşmaktadır.

Dış duvarın birim alanından gerçekleşen ısı kaybı aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanabilir.

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

Isıtma derece gün sayısına bağlı olarak birim yüzeyden gerçekleşen yıllık ısı kaybı Eşitlik (2) kullanılarak hesaplanabilir.

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

Yalıtımlı veya yalıtımsız bir duvarda ısıtma amaçlı tüketilen yıllık enerji miktarı aşağıdaki şekilde hesaplanır.

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

Eşitliklerde  $U$  toplam ısı geçiş katsayısını ( $W/m^2K$ ) ifade etmektedir.

Tipik bir yalıtımsız duvar için toplam ısı geçiş katsayısı  $U_{ysız}$  aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır:

$$U_{ysız} = \frac{1}{R_i + R_d + R_o} \quad (4)$$

Burada  $R_i$  ve  $R_o$  sırasıyla iç ve dış yüzey ısı dirençleridir.  $R_d$  yalıtımsız duvar tabakasının ısı direncidir.

Yalıtılmış bir duvar için toplam ısı geçiş katsayısı Eşitlik (5) kullanılarak hesaplanır.

$$U_{yal} = \frac{1}{R_i + R_d + R_{yal} + R_o} \quad (5)$$

Burada  $R_{yal}$  yalıtım malzemesinin ısı direnci olup  $x/k$  ifadesi ile hesaplanır. Bu ifadede  $x$  yalıtım malzemesinin kalınlığını (m),  $k$  ise yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısını ( $W/mK$ ) ifade eder.

Eğer  $R_{td}$ ,  $R_i$ ,  $R_d$  ve  $R_o$  toplamı kabul edilirse  $U_{ysız}$  ve  $U_{yal}$  arasındaki fark aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır.

$$\Delta U = \frac{1}{R_{td}} - \frac{1}{R_{td} + x/k} \quad (6)$$

### 3. Yalıtım kalınlıklarının optimizasyonu ve enerji tasarruflarının hesabı

Bu çalışmada iki ekonomik gösterge temel alınmıştır. Birincisi ( $P_1$ ), ilk yıl için yakıt fiyatına ömür yakıt fiyatının oranıdır.  $P_1$ 'in en düşük değeri, ortalama yakıt fiyatlarının

yüksek olduğunu gösterir bu potansiyel ortalama yakıt kazancının belirlenmesi açısından önemlidir. İkincisi ( $P_2$ ), yatırım miktarına artırımın sonucu olarak giren ömürlük masrafların oranıdır.  $P_2$ 'nin en yüksek değeri, yatırım en düşük ilk maliyete sahip olduğunda elde edilir. Fakat en yüksek fiyatlar donatılara aittir [3].

$P_1$  değeri, faiz oranı ( $i$ ) ve enflasyon oranını ( $d$ ) ye bağlı olarak değişir ve aşağıdaki şekilde hesaplanır. Bu çalışmadaki hesaplamalarda  $i=10\%$  ve  $d=9\%$  olarak alınmıştır.

$$P_1(N, i, d) = \sum_{j=1}^N \frac{(1+i)^{j-1}}{(1+d)^j} = \begin{cases} \frac{1}{d-i} \left[ 1 - \left( \frac{1+i}{1+d} \right)^N \right] & i \neq d \\ \frac{N}{1+i} & i = d \end{cases} \quad (7)$$

$P_2$  ise yalıtımın ilk yatırım maliyeti, işletme giderleri ve bakım giderleri olarak alınmıştır.  $P_2$  aşağıda verilen eşitlik yardımıyla hesaplanabilir.

$$P_2 = 1 + P_1 M_s - \frac{R_v}{(1+d)^N} \quad (8)$$

Burada  $M_s$  yıllık bakım maliyeti ve işletme maliyeti olarak belirlenir  $R_v$  ilk yatırım maliyeti olarak kabul edilir. Eğer bakım ve işletme maliyeti sıfır olarak belirlenirse  $P_2 = 1$  olarak alınabilir.

Birim yüzey için yalıtım maliyeti  $C_{yal}$  (TL/m<sup>2</sup>),  $C_y$  yalıtım malzemesi birim metreküp fiyatı (TL/m<sup>3</sup>) ve  $x$  yalıtım malzemesi kalınlığı (m) olmak üzere aşağıdaki eşitlikten bulunabilir.

$$C_{yal} = C_y \cdot x \quad (9)$$

Yalıtılmış bir binanın toplam ısıtma maliyeti Eşitlik (10) kullanılarak hesaplanabilir.

$$C_t = \frac{86400 \cdot P_1 \cdot U \cdot IDG \cdot C_f}{H_u \cdot \eta} + P_2 \cdot C_y \cdot x \quad (10)$$

Eşitlikte  $H_u$  ve  $\eta$  sırası ile yakıtın alt ısı değeri ve verimidir. Çalışmada kullanılan yakıtlara ait özellikler Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Çalışmada kullanılan yakıtlar ve özellikleri

Yakıt	Fiyat [12]	$H_u$	$\eta$	Kimyasal formülü [5]
Kömür	0.8000 TL/kg	$29.295 \times 10^6$ J/kg	0.65	$C_{7.078}H_{5.149}O_{0.517}S_{0.01}N_{0.086}$
Doğalgaz	1.0634 TL/m <sup>3</sup>	$34.526 \times 10^6$ J/m <sup>3</sup>	0.93	$C_{1.05}H_4O_{0.034}N_{0.022}$

Isıtma için enerji tasarrufu Eşitlik (11) kullanılarak belirlenebilir.

$$S = \frac{86400.P_1.\Delta U.IDG.C_f}{H_u.\eta} - P_2.C_y.x \quad (11)$$

Optimum yalıtım kalınlığı toplam maliyet minimize edilerek ya da enerji tasarrufu maksimize edilerek bulunabilir. Toplam ısıtma maliyetinin yalıtım kalınlığına (x) göre türevi alındığında optimum yalıtım kalınlığı elde edilir [13].

$$x_{opt} = \sqrt{\frac{86400.P_1.k.IDG.C_f}{P_2.C_y.H_u.\eta} - R_{td}.k} \quad (12)$$

Bu çalışmada kullanılan parametreler ve değerleri Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2.** Çalışmada kullanılan parametreler ve değerleri

Parametre	Değer
Isıtma derece gün sayısı (IDG)	2945 °C-gün [14]
Yakıtlar	Tablo 1.
Yalıtım Malzemesi	
EPS	
Isı iletim katsayısı, $k$	0.036 W/mK
Ömür, $N$	10 yıl
$P_1$	9.56
$P_2$	1
$R_{td}$	0.636 m <sup>2</sup> K/W

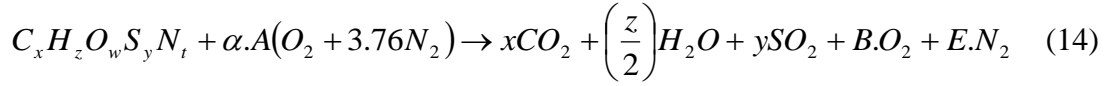
#### 4. Yanma prosesinin hesabı

Yalıtımsız binalarda ısı kaybı yüksek olur. Bu nedenle yakıt tüketimi ve dolayısıyla hava kirliliği artar. Bu durum çevresel kirliliğe neden olur. Yalıtılmış binalarda ısı kayıpları düşer ve yakıt tüketimi azalır.

Yıllık yakıt tüketimi  $m_{fA}$  (kg/m<sup>2</sup>-yıl veya m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>-yıl) aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanabilir.

$$m_{fA} = \frac{86400.IDGU}{H_u \cdot \eta} \quad (13)$$

Yakıt için yanmanın genel kimyasal formülü aşağıdaki gibidir.



A, B ve E sabitleri oksijen denge formüllerinden (15–17) aşağıdaki gibi hesaplanır [3].

$$A = \left(x + \frac{z}{4} + y - \frac{w}{2}\right) \quad (15)$$

$$B = (\alpha - 1) \left(x + \frac{z}{4} + y - \frac{w}{2}\right) \quad (16)$$

$$E = 3.76\alpha \left(x + \frac{z}{4} + y - \frac{w}{2}\right) + \frac{t}{2} \quad (17)$$

Eşitlik 14'te CO ve NO<sub>x</sub> emisyonları ihmal edilmiştir.

Yıllık yakıt tüketimine bağlı olarak toplam CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> emisyonları aşağıdaki eşitlikler ile belirlenebilir.

$$m_{CO_2} = \frac{44.x}{M} m_{fA} \quad (18)$$

$$m_{SO_2} = \frac{64.y}{M} m_{fA} \quad (19)$$

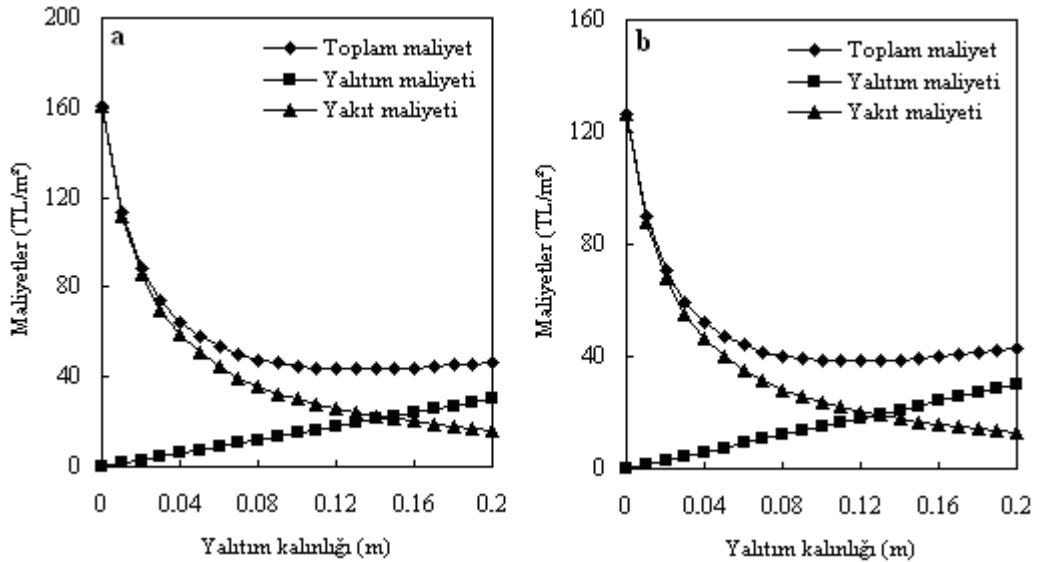
Eşitliklerde  $M$  yakıt için mol kütlesi olup aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$M = 12x + z + 16w + 32y + 14t \quad (20)$$

## 5. Sonuçlar

Yalıtılmış bir binanın toplam maliyetini etkileyen iki parametre vardır. Bunlar yalıtım ve yakıt maliyetleridir. Binalarda yalıtım kalınlığının artmasına bağlı olarak ısı kaybı azalır. Bu yüzden birim alanı ısıtmak için gerekli enerji ihtiyacı azalır ve toplam maliyet düşer. Ancak yalıtım kalınlığının gereğinden fazla arttırılması yalıtım maliyetini arttırır. Bu durumda yüksek yalıtım maliyeti nedeniyle belli bir noktadan sonra toplam maliyet artmaya başlar.

Şekil 1'de yakıt olarak kömür (a) ve doğalgaz (b) kullanımında oluşan maliyetler verilmiştir. Her iki yakıt türü için de toplam maliyet ve yakıt maliyeti yalıtım kalınlığının artmasıyla birlikte azalmaya başlamaktadır. Ancak bir noktadan sonra yalıtım kalınlığının fazla arttırılması toplam maliyeti arttırmaya başlamaktadır. Toplam maliyet, optimum yalıtım kalınlığı noktasında minimumdur.



Şekil 1. Farklı yakıt türleri için oluşan yıllık maliyetler

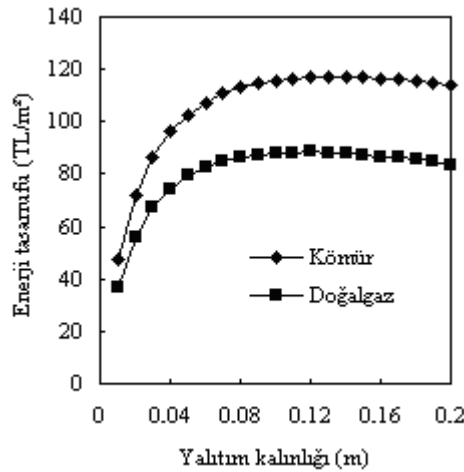


Kömür ve doğalgaz kullanımında birim alandan elde edilen enerji tasarrufları Şekil 2’de verilmiştir. Enerji tasarrufu yalıtım kalınlığının artmasıyla birlikte yükselmektedir. Enerji tasarrufu değeri optimum yalıtım kalınlığı noktasında maksimum olur. Yakıt olarak kömür kullanılması durumunda elde edilecek enerji tasarrufu, yakıt olarak doğalgaz kullanımından elde edilecek enerji tasarrufundan fazladır. Bunun nedeni kömürün düşük verimi ve alt ısı değeridir. Dolayısıyla birim alanı ısıtmak için gerekli enerjinin maliyeti kömür için doğalgaza göre daha fazladır.

Çalışmada hesaplanan optimum yalıtım kalınlıkları ve enerji tasarrufları Tablo 3’te verilmiştir.

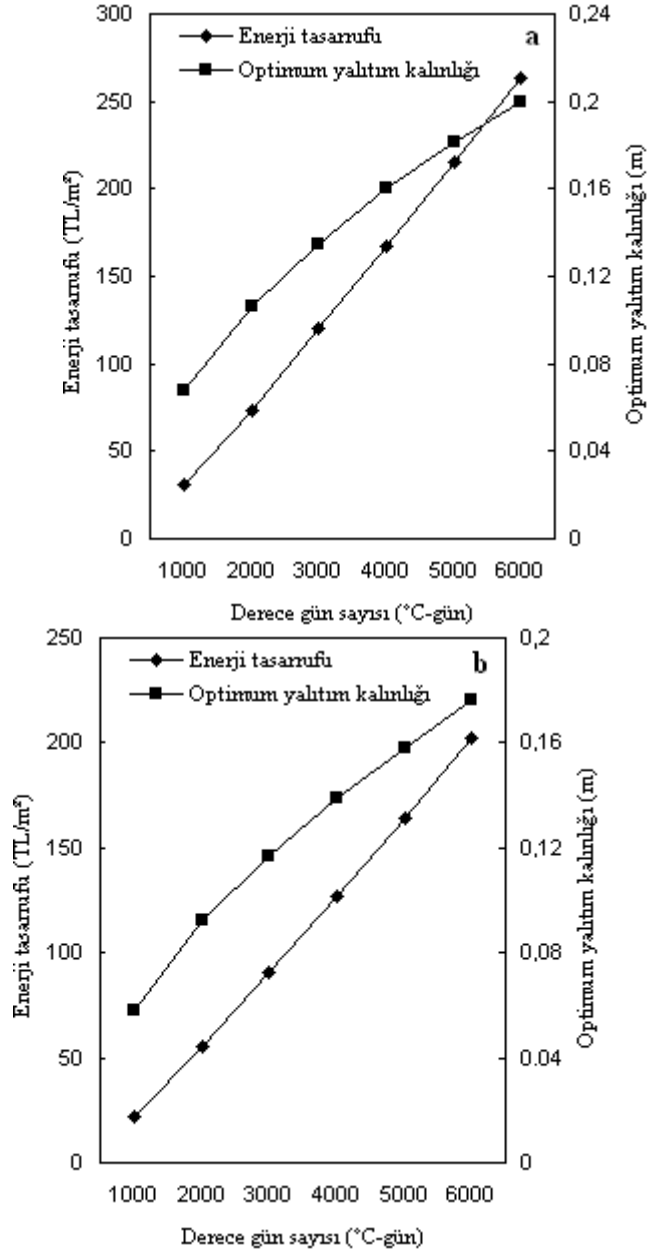
**Tablo 3.** Çalışmada hesaplanan optimum yalıtım kalınlıkları ve enerji tasarrufları

Yakıt tipi	Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Enerji tasarrufu (TL/m <sup>2</sup> )
Kömür	0.134	117.14
Doğalgaz	0.116	88.39



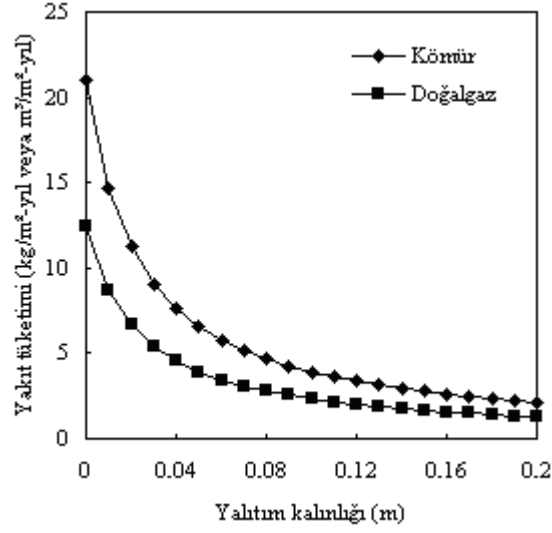
**Şekil 2.** Farklı yakıtların kullanımında elde edilen enerji tasarrufları

Şekil 3’te farklı derece gün sayılarının optimum yalıtım kalınlıkları ve enerji tasarrufları üzerinde etkisi gösterilmiştir. Isıtma derece gün sayısının artması, bölgenin soğuk bir iklim bölgesinde yer aldığını gösterir. Bu durumda birim alandan gerçekleşecek ısı kaybı artacaktır. Dolayısıyla bina dış duvarı için hesaplanan optimum yalıtım kalınlığı da artacaktır. Isıtma derece gün sayısının yükselmesiyle birlikte birim alandan elde edilen enerji tasarrufu da artmaktadır. Dolayısıyla soğuk iklim bölgelerinde yalıtım uygulamalarından daha fazla enerji tasarrufu yapılabileceği yorumu yapılabilir.



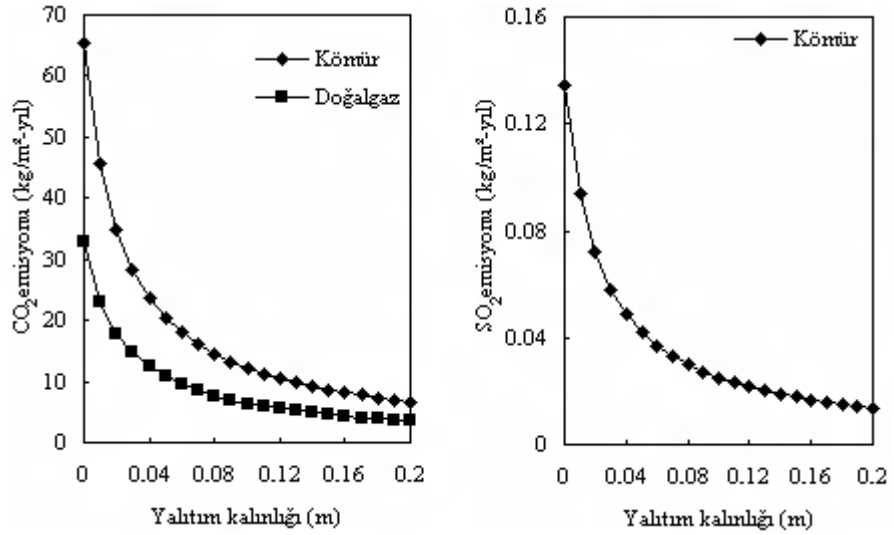
**Şekil 3.** Derece gün sayısının optimum yalıtım kalınlıkları ve enerji tasarruflarına etkisi

Şekil 4'te yakıt olarak kömür ve doğalgaz kullanımında oluşacak birim alan başına yıllık yakıt tüketimleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde yakıt tüketiminin, her iki yakıtın kullanımında da yalıtım kalınlığına bağlı olarak ısı kayıplarının azalmasıyla düştüğü görülmektedir. Bu düşüşe bağlı olarak birim alanı ısıtmak için kullanılan yakıt tüketimi azalacak ve dolayısıyla hava kirliliğine neden olan emisyonlar azalacaktır.



Şekil 4. Yıllık yakıt tüketimleri

Yıllık CO<sub>2</sub> (a) ve SO<sub>2</sub> (b) emisyonlarının yalıtım kalınlığına bağlı olarak değişimi Şekil 5'te verilmiştir. Yalıtım kalınlığının artmasıyla birlikte yıllık yakıt tüketimi azalacak dolayısıyla kullanılan yakıtların yanması sonucu açığa çıkan emisyonlar da azalacaktır. Bu durum şüphesiz fosil kaynaklı yakıtların yanması sonucu ortaya çıkan hava kirliliğini de azaltacaktır. Farklı yalıtım kalınlıkları için hesaplanan emisyon miktarları Tablo 4'te verilmiştir.



Şekil 5. Yıllık CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> emisyonları

**Tablo 4.** Farklı yalıtım kalınlıklarında hesaplanan emisyonlar

Yakıt tipi	Yalıtımsız duvar için emisyonlar (kg/m <sup>2</sup> -yıl)		3 cm yalıtım kalınlığında emisyonlar (kg/m <sup>2</sup> -yıl)		6 cm yalıtım kalınlığında emisyonlar (kg/m <sup>2</sup> -yıl)		9 cm yalıtım kalınlığında emisyonlar (kg/m <sup>2</sup> -yıl)		Optimum yalıtım kalınlığında emisyonlar (kg/m <sup>2</sup> -yıl)	
	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>
<b>Kömür</b>	65.51	0.134	28.36	0.058	18.09	0.037	13.29	0.027	9.56	0.02
<b>Doğalgaz</b>	32.98	-	14.28	-	9.11	-	6.69	-	5.44	-

Bu çalışmada Karabük ili için optimum yalıtım kalınlığı tespitinin ekonomik analizi ve hava kirliliğine olan etkileri incelenmiştir. Çalışma yaşam döngüsü maliyet analizine dayanan P<sub>1</sub>-P<sub>2</sub> metodu ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ekonomik boyutu, yakıt olarak kömür kullanıldığında optimum yalıtım kalınlığı ve enerji tasarrufunun sırasıyla 0.134 m ve 117.14 TL/m<sup>2</sup> olduğunu göstermiştir. Yakıt olarak doğalgaz kullanımında ise bu değerler sırasıyla 0.116 m ve 88.39 TL/m<sup>2</sup> olarak bulunmuştur. Optimum yalıtım kalınlığının hava kirliliğine olan etkileri incelendiğinde, yalıtımsız bina dış duvarında hesaplanan yıllık yakıt tüketimi, CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> emisyonlarının optimum yalıtım kalınlığı noktasında kömür için %85.4 azaldığı belirlenmiştir. Doğalgaz kullanımında ise yıllık yakıt tüketimi ve CO<sub>2</sub> emisyon miktarı optimum yalıtım kalınlığı noktasında %83.5 azalmıştır.

Bu veriler, binalarda yalıtım uygulamalarının önemini göstermektedir. Özellikle Karabük gibi uzun yıllardır devam eden hava kirliliği problemleri olan bir şehirde yalıtım uygulaması ekonomik boyutu kadar çevresel boyutuyla da önem kazanmaktadır.

### Kaynaklar

Bedeloğlu A., Demir B., Bozkurt Y. (2010). Fotovoltaik Teknolojisi: Türkiye ve Dünyadaki Durumu, Genel Uygulama Alanları ve Fotovoltaik Tekstiller. Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi, 4(2) 43-58

Dombaycı ÖA. (2009). Degree-days maps of Turkey for various base temperatures. Energy, 34, 1807-1812

Keçebaş A. (2012). Bölgesel ısıtma sistemlerinde boru yalıtımı yoluyla enerji tasarrufu için optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi. Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 9(1) 1-14

Özkan DB, Onan C. (2011). Optimization of insulation thickness for different glazing areas in buildings for various climatic regions in Turkey. Applied Energy, 81, 1331-1342

Yıldız A., Gürlek G., Erkek M., Özbalta N. (2008). Economical and environmental analyses of thermal insulation thickness in buildings, *Journal of Thermal Science of Technology*, 28, 25–34

Bolattürk A. (2006). Determination of optimum insulation thickness for building walls with respect to various fuels and climate zones in Turkey, *Applied Thermal Energy*, 26, 1301–1309

Ucar A., Balo F. (2009). Effect of fuel type on the optimum thickness of selected insulation materials for the four different climatic regions of Turkey, *Applied Energy*, 86, 730–736

Çomaklı K., Yüksel B. (2004). Environmental impact of thermal insulation thickness in buildings, *Applied Thermal Engineering*, 24, 933-940

Dombaycı Ö.A. (2007). The environmental impact of optimum insulation thickness for external walls of buildings. *Building and Environment*, 42, 3855–3859

Ucar A Balo F. (2010). Determination of the energy savings and the optimum insulation thickness in the four different insulated exterior walls. *Renewable Energy*, 35, 88-94

Mahlia TMI., Iqbal A. (2010). Cost benefits analysis and emission reductions of optimum thickness and air gaps for selected insulation materials for building walls in Maldives. *Energy*, 35, 2242-2250

Teknik Yayıncılık A.Ş. Yakıt fiyatları, Tesisat Enerji Teknolojileri ve Mekanik Tesisat Dergisi, <http://www.tesisat.com.tr/> [Erişim tarihi: 01/10/2012].

Çay Y., Gürel AE. Determination of optimum insulation thickness, energy savings, and environmental impact for different climatic regions of Turkey., *Environmental Progress and Sustainable Energy*, DOI: 10.1002/ep.

Kurt, H. (2011). The usage of air gap in the composite wall for energy saving and air pollution, *Environmental Progress and Sustainable Energy*, 30, 450–458