

# Farklı Yakıt Türü ve Yalıtım Malzemelerine Göre Optimum Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi

Meral ÖZEL  
Serhat ŞENGÜR

## ÖZET

*Bu çalışmada, Antalya ve Kars illeri için üç farklı yakıt türü ve üç farklı yalıtım malzemeleri kullanılarak bina dış duvarlarının optimum yalıtım kalınlıkları belirlenmiştir. Hesaplamalar ömür maliyet analizine göre ısıtma ve soğutma derece gün değerlerini kullanarak yapılmıştır. Yakıt olarak kömür, fuel-oil ve doğalgaz kullanılmış. Yalıtım malzemesi olarak Taş yünü, Foamboard ve İzopor plus seçilmiştir. Bu durumda dış duvarlara bu yalıtım malzemeleri uygulanarak, artan yalıtım kalınlıklarına göre optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu ve geri ödeme süresi hesaplanmıştır. Sonuç olarak, optimum yalıtım kalınlığı, Taş yünü yalıtım malzemesi ve doğal gaz yakıtının kullanılması halinde Antalya için 0.032 m ve Kars için 0.068 m olarak elde edilmiştir.*

**Anahtar Kelimeler:** Optimum Yalıtım Kalınlığı, Enerji Tasarrufu, Geri Ödeme Süresi, Derece-Gün, Yakıt Türü.

## 1. GİRİŞ

Enerji tüketimi; sanayi, bina, ulaştırma ve tarım gibi dört ana sektör arasında dağılım göstermektedir. Bunların arasında, sanayi sektöründen sonra en geniş enerji tüketimine sahip olan sektör bina sektörüdür. Binalarda tüketilen enerjinin çoğunluğu ise ısı konforu sağlamak amacıyla binaların ısıtılması ve soğutulması için harcanmaktadır. Bu yüzden, kış aylarında ısı kayıplarını yaz aylarında da ısı kazançlarını azaltmak için en etkin yol bina dış kabuk elemanlarının yalıtılmasıdır.

Bilindiği gibi yalıtım kalınlığı arttıkça ısı kazanç ve kayıpları önemli ölçüde azalırken, yalıtım maliyeti ise artacaktır. Bu durumda yalıtım kalınlığının optimum değeri maliyet analizi yapılarak belirlenmelidir. Bu konuyla ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde binaların yıllık ısıtma ve soğutma gereksinimleri genellikle ısıtma derece gün metodu kullanılarak hesaplanmıştır. Çomaklı ve Yüksel [1] Erzurum, Kars ve Erzincan gibi Türkiye'nin en soğuk üç şehri için optimum

## Abstract:

In this study, optimum insulation thicknesses of external walls of building were determined by using three different fuel types and three different insulation materials. Calculations were done by using heating and cooling degree-days values with respect to life-cycle cost analysis. Fuel-oil and natural gas as fuel were used. Rock wool, Foamboard and İzopor plus as insulation materials were selected. In this case, optimum insulation thickness, energy saving and pay back period with respect to increasing insulation thicknesses was calculated by applying these insulation materials on the external walls. As result, the optimum insulation thicknesses were obtained to be 0.032 m for Antalya and 0.068 m for Kars by using Rock wool insulation and natural gas.

## Key Words:

Optimum Insulation Thicknes, Energy Saving And Pay Back Period, Degree-Days, Fuel Type.

## Makale

yalıtım kalınlığını derece gün sayılarını esas alarak araştırmışlar. Gölçü vd. [2] Denizli'deki binalarda, ısıtma için farklı enerji kaynaklarının kullanılması halinde dış duvarlar için optimum yalııtım kalınlığını Derece-Gün sayısını esas alarak hesaplamışlar. Hasan [3] duvarların optimum kalınlığını bulmak için ömür maliyet analizini ve derece gün fikrini kullanmıştır. Sonuç olarak duvar yapısının tiplerine bağlı olarak geri ödeme periyodunun polistiren yalııtımı için 1 ile 1.7 yılları arasında değiştiğini ve taş yünü yalııtımı için ise 1.3 ile 2.3 yılları arasında değiştiğini göstermiştir. Bolattürk [4] Isparta bölgesindeki binaların duvar ve çatı döşemeleri için optimum yalııtım kalınlıkları ve enerji tasarruflarını araştırmıştır. Bunun için yine Derece-Gün sayısı esas alınmıştır. Bolattürk'ün başka bir çalışmasında, Türkiye'nin 4 iklim bölgesinden seçilen 16 Őehir için ısıtma derece-gün fikrini kullanarak optimum yalııtım kalınlıkları ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır [5]. Yıldız vd. [6] yapılarda ısı yalııtım kalınlığının ekonomik ve çevresel analizini yapmışlar. Bunun için ekonomik analizde kullanılan ısı yükleri derece gün metodu kullanılarak hesaplanmıştır. Ozel ve Pıhtılı [7] ısıtma ve soğutma derece gün değerlerini kullanarak beş farklı il için optimum yalııtım kalınlıklarını belirlemişlerdir.

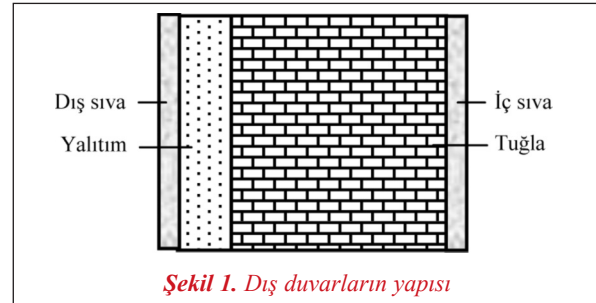
Bolattürk [8] binaların dış duvarlarındaki optimum yalııtım kalınlığı yıllık ısıtma ve soğutma yüklerine dayandırılarak analiz edilmiştir. Bunun için yıllık ısıtma ve soğutma derece saatleri hesaplanarak, ekonomik model P1-P2 metoduna göre belirlenmiştir. Kaynaklı [9] Bursa'daki binaların dış duvarları için 1992'den 2005'e kadar dış hava sıcaklık değerleri dikkate alınarak ısıtma mevsimi için derece-saat değerleri hesaplanmış ve optimum yalııtım kalınlığı belirlenmiştir. Al-Sanea vd. [10] Riyad'ın iklim Őatlarını kullanarak dinamik Őartlar altında elektrik tarifesinin bina duvarlarındaki optimum yalııtım kalınlığına olan etkisini araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, değişik elektrik tarifeleri için, minimum toplam maliyetin optimum yalııtım kalınlığı ile lineer olarak değiştiğini göstermişlerdir. Ozel [11] dinamik yaklaşım ve maliyet analizini kullanarak bina dış duvarlarının optimum yalııtım kalınlıklarını üç farklı

yakıt türü için hesaplamış ve derece gün metodu ile karşılaştırmıştır.

Bu çalışmada ise üç farklı yalııtım malzemesi ve üç farklı yakıt türü için Antalya ve Kars illerinin optimum yalııtım kalınlıkları, enerji tasarrufları ve geri ödeme süreleri sadece ısıtma, sadece soğutma ve hem ısıtma hem de soğutma derece-gün sayıları göz önüne alınarak ayrı ayrı hesaplanmıştır.

## 2. DIş DUVARLARIN YAPISI

Optimum yalııtım kalınlığını hesaplamak için Şekil 1'de görölen dıştan yalııtımlı bir duvar yapısı ele alınmıştır. Őekilden göröldüğü gibi duvar; dış ve iç yüzeyinde 2 cm'lik sıva, 20 cm kalınlığında tuğla ve yalııtım malzemesinden oluşmaktadır. Yalııtım malzemesi Taş yünü, Foamboard ve İzopor plus seçilmiştir. Bu malzemelerin ısı iletim katsayıları ve birim fiyatları Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Dış duvarların yapısı

Tablo 1. Yalııtım malzemelerinin ısı iletim katsayıları ve birim fiyatları [13]

Ürün kodu	Yalııtım malzemesi	Isı iletim katsayısı (W/mK)	Fiyatı (TL/m <sup>3</sup> )
T409-0027	Taş yünü	0.039	424.16
X150-0274	Foamboard	0.035	243.33
S106-0004	İzopor plus	0.032	133.33

## 3. DIş DUVARLARIN ISI KAZANÇ VE KAYBI

Binalardaki ısı kazanç ve kayıpları genel olarak dış duvarlardan, pencerelerden, tavan ve döşemeler ile hava infiltrasyonu sonucu gerçektelemektedir. Ancak bu çalışmada sadece dış duvarlarda oluşan ısı kazanç ve kayıpları göz önüne alınarak optimum yalııtım kalınlığı hesaplanmıştır. Dış duvarın birim yüzeyinden oluşan ısı kazanç ve kaybı aşağıdaki Őekildedir:

$$q = U \cdot \Delta T \quad (1)$$

Burada U toplam ısı transfer katsayısı  $\Delta T$  ise gün boyunca değişen dış ortam sıcaklığı ile sabit iç ortam sıcaklığının farkıdır. Bu durumda derece-gün sayılarına bağlı olarak birim yüzeyden gerçekleşen yıllık ısı kazanç ve kaybı;

$$q_A = 86400 \cdot DG \cdot U \quad (2)$$

şeklindedir. Duvarın toplam ısı transfer katsayısı ise aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$U = \frac{1}{R_i + R_w + R_y + R_o} \quad (3)$$

Burada  $R_i$  ve  $R_o$  iç ve dış ortamın ısı dirençleri,  $R_w$  yalıtımsız duvar tabakalarının ısı direncidir.  $R_y$  ise yalıtım malzemesinin ısı direnci olup aşağıdaki şekilde yazılmaktadır.

$$R_y = \frac{x}{k} \quad (4)$$

Burada x yalıtım malzemesinin kalınlığı, k ise ısı iletkenliğidir.  $R_{wt}$  yalıtım malzemesi hariç duvarın toplam ısı direnci olmak üzere toplam ısı transfer katsayısı aşağıdaki gibidir:

$$U = \frac{1}{R_{wt} + (x/k)} \quad (5)$$

Duvarın iç ve dış yüzeyindeki ısı transfer katsayısı sırasıyla 6 ve 22 W/m<sup>2</sup>K olarak alınmış ve  $R_{wt} = 0.5903$  m<sup>2</sup>K/W olarak elde edilmiştir.

#### 4. OPTİMUM YALITIM KALINLIĞI İÇİN MALİYET ANALİZİ

Binaların dış duvarlarına yalıtım uygulanarak ısı kazanç ve kaybı önemli ölçüde azaltılmış olur. Bu durumda enerji tasarrufu açısından yalıtımın optimum kalınlığının bilinmesi gerekmektedir. Yalıtımın optimum kalınlığı, yalıtım maliyeti ve binanın ömrü üzerinden enerji tüketim maliyetini içine alan minimum toplam maliyeti sağlayan değerdir. Bu yüzden maliyet analizi yapılarak optimum yalıtım kalınlığı tespit edilmelidir. Isıtma ve soğutmanın yıllık enerji maliyeti sırasıyla aşağıdaki gibidir.

$$C_{A,I} = \frac{86400 \cdot U \cdot IDG \cdot C_f}{H_u \cdot \eta} \quad (6)$$

$$C_{A,S} = \frac{86400 \cdot U \cdot SDG \cdot C_e}{COP} \quad (7)$$

Burada, IDG ve SDG sırasıyla ısıtma derece-gün ve soğutma derece-gün sayıları olup Antalya ve Kars illeri için Tablo 2'de verilmiştir.  $C_f$ ,  $C_e$ ,  $H_u$ ,  $\eta$  ve COP ise sırasıyla yakıt fiyatı (TL/kg), elektriğin fiyatı (TL/kWh), yakıtın alt ısı değeri (J/kg), ısıtma sisteminin verimi ve soğutma performans katsayısıdır. Bu durumda toplam yıllık enerji maliyeti aşağıdaki şekilde yazılır.

$$C_A = C_{A,I} + C_{A,S} \quad (8)$$

Yalıtılmış bir binanın toplam maliyeti aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$C_t = C_A \cdot PWF + C_y \cdot x \quad (9)$$

burada  $C_y$  ve x sırasıyla, yalıtımın fiyatı (TL/m<sup>3</sup>) ve kalınlığıdır.  $C_A$  birim yüzey için yıllık ısıtma ve soğutma maliyetinin toplamıdır. Optimum yalıtım kalınlığı belirlenirken, N yıllık ömür üzerinden toplam ısıtma maliyeti şimdiki değer faktörü (PWF) ile birlikte değerlendirilmelidir. PWF, faiz oranı (i) ve enflasyon oranı (g)'ye bağlı olarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$PWF = \frac{(1+r)^N - 1}{r(1+r)^N}, \quad \begin{cases} i > g & r = \frac{i-g}{1+g} \\ i < g & r = \frac{g-i}{1+i} \end{cases} \quad (10)$$

Toplam maliyeti minimum yapacak yalıtım kalınlığı bize optimum yalıtım kalınlığını vermektedir. Buna göre optimum yalıtım kalınlığı, toplam maliyeti veren (9) no'lu denklemin yalıtım kalınlığına (x) göre türevi alınarak aşağıdaki gibi elde edilir.

$$x_{op} = 293.94 \cdot \left( \frac{IDG \cdot C_f \cdot PWF \cdot k}{C_y \cdot H_u \cdot \eta} + \frac{SDG \cdot C_e \cdot PWF \cdot k}{C_y \cdot COP} \right)^{1/2} - k \cdot R_{wt} \quad (11)$$

Yukarıdaki denklemde birim dönüşümleri hazırlanmış olan bilgisayar programında dikkate alınmıştır.

**Makale****Tablo 2. İllere göre ısıtma ve soğutma derece gün değerleri [12].**

İl	Isıtma Derece-Gün sayısı, (°C.gün)	Soğutma Derece-Gün sayısı, (°C.gün)
Antalya	1083	562
Kars	4772	2

**Tablo 3. Hesaplamalarda kullanılan parametreler[14,15].**

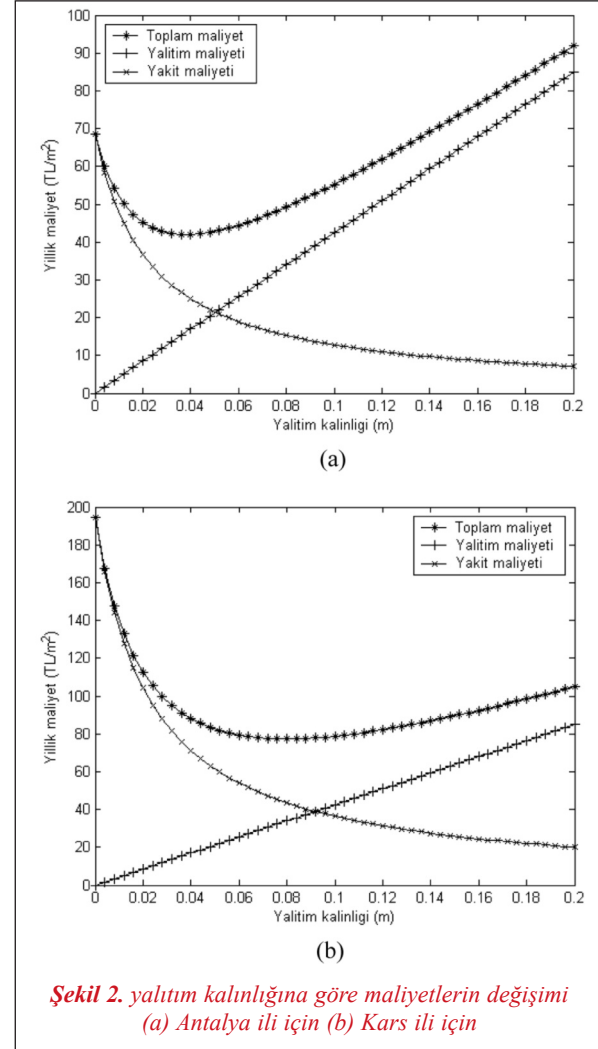
Parametre	Değeri
Yakıt	
<b>İthal kömür</b>	0.565 TL/kg
Fiyatı	$29.307 \cdot 10^6$ J/kg
$H_u$	% 65
$\eta$	
<b>Fuel-oil</b>	
Fiyatı	1.960 TL/kg
$H_u$	$41.344 \cdot 10^6$ J/kg
$\eta$	%80
<b>Doğalgaz</b>	
Fiyatı	0.735 TL/m <sup>3</sup>
$H_u$	$34.5411 \cdot 10^6$ J/kg
$\eta$	%93
<b>Elektrik (soğutma için)</b>	
Fiyatı	0.283 TL/kWh
cop	2.5
$R_{wt}$	$0.5903 \text{ m}^2\text{K/W}$
Faiz oranı, (i)	% 8.75
Enflasyon oranı, (g)	% 7.50
N	10 yıl

**5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME**

Bu çalışmada, hem ısıtma derece-gün sayısı hem de soğutma derece-gün sayısı esas alınarak üç farklı yalıtım malzemesi ve üç farklı yakıt türü için iki farklı iklim bölgesinde bulunan Antalya ve Kars illerinin optimum yalıtım kalınlıkları, enerji tasarrufları ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Hesaplar ömür maliyet analizine göre yapılmıştır. Bunun için seçilen illerinin yıllık ısıtma ve soğutma derece gün değerleri ısıtma için 18 °C ve soğutma için 22 °C temel sıcaklıklar esas alınarak seçilmiştir (Tablo 2). Hesaplamalarda kullanılan yakıtların özellikleri ve diğer parametreler ise Tablo 3’de verilmiştir.

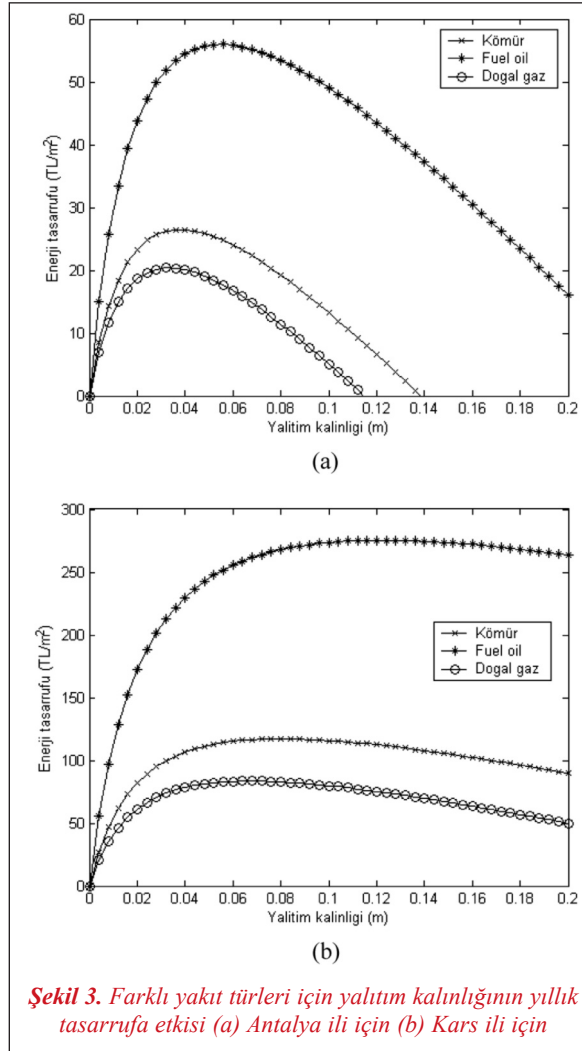
Şekil 2(a) ve (b) sırasıyla Antalya ve Kars illeri için, yalıtım malzemesi olarak Taş yünü ve yakıt türü olarak kömür kullanılması halinde yalıtım kalınlığına göre maliyetlerin değişimini göstermektedir. Şekillerden görüldüğü gibi artan yalıtım kalınlığı ile yakıt maliyeti azalırken yalıtım maliyeti ise lineer

olarak artmaktadır. Toplam maliyet ise belirli bir değere kadar azalmakta ve bu değerden sonra artmaktadır. Dolayısıyla toplam maliyetin minimum olduğu değer optimum yalıtım kalınlığını vermektedir. Burada Antalya ve Kars illeri için hem ısıtma hem de soğutma yükü birlikte ele alınarak optimum yalıtım kalınlıkları sırasıyla 3.6 ve 8.0 cm olarak elde edilmiştir.



Antalya ve Kars illerinde farklı yakıt türleri için yalıtım kalınlığının enerji tasarrufuna etkisi Taş yünü yalıtım malzemesinin kullanılması halinde sırasıyla şekil 3(a) ve (b)’de gösterilmiştir. Grafiklerden görüldüğü gibi enerji korunumları yakıtın maliyeti ile doğru orantılıdır. Yakıtın maliyeti attıkça enerji tasarrufu da artmaktadır. Örneğin Fuel-oil gibi yük-

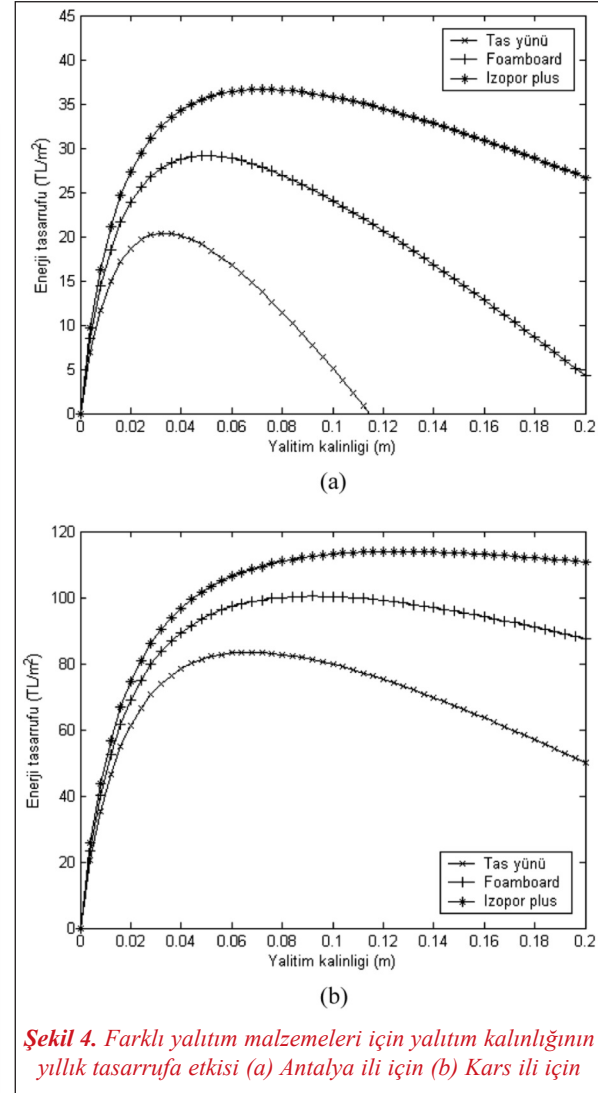
sek maliyetli yakıtların enerji tasarrufları doğal gaz ve kömür gibi düşük maliyetli yakıtların enerji tasarruflarından oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca enerji korunumu açısından iklim şartları da önemlidir. Şekil 3(a)'da görüldüğü gibi ısıtma yükü büyük olan Kars ilinin enerji tasarrufu bütün yakıt türleri için Antalya ilininkinden oldukça yüksektir. Bu durumda enerji tasarrufu soğuk bölgelerde daha önemli hale gelmektedir.



**Şekil 3.** Farklı yakıt türleri için yalıtım kalınlığının yıllık tasarrufa etkisi (a) Antalya ili için (b) Kars ili için

Şekil 4(a) ve (b) sırasıyla Antalya ve Kars illeri için doğal gaz yakıtının kullanılması halinde farklı yalıtım malzemelerinin artan kalınlıklarına göre yıllık tasarrufun değişimini göstermektedir. Yıllık tasarruf yalıtım malzemelerinin maliyetleri ile ters orantılıdır. Maliyet arttıkça enerji tasarrufunun azaldığı

görülmektedir. İncelenen yalıtım malzemeleri arasında en düşük maliyetli İzopor plus yalıtım malzemesinin enerji tasarrufu maksimum olurken en yüksek maliyetli taş yünü yalıtım malzemesinin kullanılması halinde minimum enerji tasarrufu elde edilmiştir.



**Şekil 4.** Farklı yalıtım malzemeleri için yalıtım kalınlığının yıllık tasarrufa etkisi (a) Antalya ili için (b) Kars ili için

Tablo 4 Antalya ve Kars illerinde ısıtma olarak doğal gaz yakıtının kullanılması halinde sadece ısıtma ve sadece soğutma durumları için üç farklı yalıtım malzemesinin optimum yalıtım kalınlığı, yıllık tasarruf ve geri ödeme süresini göstermektedir. Tablodan görüldüğü gibi soğutma derece-gün sayısı oldukça düşük olan Kars ili için yapılan maliyet hesaplamalarında sadece ısıtma derece-gün sayısı dikkate alın-

**Makale**

malıdır. Soğutma derece-gün sayısının hiçbir etkisi olmamaktadır. Soğutma derece-gün sayısı büyük olan Antalya ili için yapılan hesaplamalarda ise hem ısıtma hem de soğutma derece-gün değerleri dikkate alınmalıdır. Örneğin Antalya ili için, İzopor plus yalıtım malzemesinin kullanılması halinde ısıtma yükü için enerji tasarrufu 18.08 TL/m<sup>2</sup> ve soğutma için 11.16 TL/m<sup>2</sup>'dir. Halbuki hem ısıtma hem de soğutma yükü için bu değer 36.65 TL/m<sup>2</sup> olarak elde edilmiştir.

Optimum yalıtım kalınlıkları ise sadece ısıtma, sadece soğutma ve hem ısıtma hem de soğutma durumları için sırasıyla 0.052, 0.040 ve 0.072 m olarak elde edilmiştir. Bu üç durum için geri ödeme süreleri de

sırasıyla 1.88, 2.17 ve 1.59 yıl olarak elde edilmiş ve Tablo 4-6'da gösterilmiştir. Bu durumda, Antalya gibi sıcak iklim bölgelerinde yani soğutma derece gün değerlerinin yüksek olduğu illerde optimum yalıtım kalınlıkları, enerji tasarrufları ve geri ödeme süreleri hesaplanırken hem ısıtma hem de soğutma durumları birlikte ele alınarak hesaplanmalıdır. Ancak, Kars gibi ısıtma derece gün değerinin soğutma derece gün değerinden oldukça büyük olduğu illerde ise maliyet hesaplamaları yapılırken sadece ısıtma derece gün değerlerinin dikkate alınarak hesaplanması yeterli olabilmektedir.

Tablo 5 ve 6 Antalya ve Kars illerinin hem ısıtma hem de soğutma durumları için yakıt ve yalıtım tür-

**Tablo 4. Antalya ve Kars illerinde ısıtma için doğal gazın kullanılması halinde üç farklı yalıtım malzemesi için yıllık ısıtma ve soğutma yüklerine göre optimum yalıtım kalınlığı, yıllık tasarruf ve geri ödeme süresi**

İL	Yalıtım malzemesi	Sadece Isıtma			Sadece Soğutma		
		Opt. Yal. kalınlığı (m)	Yıllık tasarruf (TL/m <sup>2</sup> )	Geri öde. süresi (yıl)	Opt. Yal. kalınlığı (m)	Yıllık tasarruf (TL/m <sup>2</sup> )	Geri öde. süresi (yıl)
Antalya	Taş yünü	0.020	7.37	4.62	0.012	3.23	7.51
	Foamboard	0.032	12.93	21.63	0.024	7.21	3.36
	İzopor plus	0.052	18.08	1.88	0.040	11.16	2.17
Kars	Taş yünü	0.068	83.38	1.80	-	-	-
	Foamboard	0.092	100.29	1.49	-	-	-
	İzopor plus	0.128	113.84	1.32	-	-	-

**Tablo 5. Antalya ve Kars illerinde üç farklı yakıt türü ve üç farklı yalıtım malzemesi için optimum yalıtım kalınlığı (ısıtma + soğutma yüklerine göre)**

Yakıt türü	Optimum yalıtım kalınlığı (m)					
	Antalya			Kars		
	Taş yünü	Foamboard	İzopor plus	Taş yünü	Foamboard	İzopor plus
İthal kömür	0.036	0.056	0.080	0.080	0.108	0.148
Fuel-oil	0.056	0.076	0.108	0.124	0.160	0.200
Doğal gaz	0.032	0.048	0.072	0.068	0.092	0.128

**Tablo 6. Antalya ve Kars illerinde üç farklı yakıt türü ve üç farklı yalıtım malzemesi için yıllık tasarruf ve geri ödeme süresi (ısıtma + soğutma yüklerine göre)**

İL	Yakıt türü	Yıllık tasarruf (TL/m <sup>2</sup> )			Geri ödeme süresi (yıl)		
		Taş yünü	Foamboard	İzopor plus	Taş yünü	Foamboard	İzopor plus
Antalya	İthal kömür	26.47	36.36	44.69	2.58	1.88	1.53
	Fuel-oil	55.97	69.95	81.34	2.01	1.61	1.38
	Doğal gaz	20.38	29.13	36.65	2.86	2.00	1.59
Kars	İthal kömür	117.18	137.07	152.84	1.66	1.42	1.27
	Fuel-oil	275.26	305.34	328.51	1.41	1.27	1.18
	Doğal gaz	83.45	100.36	113.92	1.80	1.50	1.32

tım malzemesi ve yakıt olarak Fuel-oil'in kullanılması halinde 10.8 ve 20 cm olarak elde edilmiştir. İncelenen illerde yakıtın türüne ve yalıtım malzemelerine bağlı olarak yıllık tasarrufun 20.38 ile 328.51 TL/m<sup>2</sup> arasında değiştiği ve geri ödeme süresinin ise 1.18 ile 2.86 yıl arasında değiştiği görülmüştür.

### SEMBOLLER

$C_{A,I}$  : Isıtma için yıllık ısıtma maliyeti, (TL/m<sup>2</sup> yıl)  
 $C_{A,S}$  : Soğutma için yıllık soğutma maliyeti, (TL/m<sup>2</sup> yıl)  
 $C_A$  : Toplam yıllık enerji maliyeti, (TL/m<sup>2</sup> yıl)  
 $C_e$  : Elektrik fiyatı (TL/kWh)  
 $C_f$  : Yakıt fiyatı, (TL/kg)  
 $C_y$  : Yalıtımın fiyatı, (TL/m<sup>3</sup>)  
COP : Soğutma performans katsayısı  
 $g$  : Enflasyon oranı  
 $H_u$  : Yakıtın alt ısıl değeri, (J/kg)  
IDG : Isıtma derece-gün sayısı, (oC.gün)  
 $i$  : Faiz oranı  
 $k$  : Yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı, (W/mK)  
 $N$  : Ömür (yıl)  
 $x$  : Yalıtımın kalınlığı, (m)  
PWF : Şimdiki değer faktörü  
 $R_{wt}$  : Yalıtım malzemesi hariç duvarın toplam ısı direnci  
SDG: Soğutma derece-gün sayısı

### KAYNAKLAR

- [1] Çomaklı, K. and Yüksel, B., "Optimum Insulation Thickness of External Walls for Energy Saving", Applied Thermal Engineering, 23, 473-479, 2003.
- [2] Gölcü, M., Dombaycı, Ö. A. ve Abalı S., "Denizli için Optimum Yalıtım Kalınlığının Enerji Tasarrufuna Etkisi ve Sonuçları", Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi, 21(4), 639-644, 2006.
- [3] Hasan, A., "Optimizing Insulation Thickness for Buildings using Life Cycle Cost", Applied Energy, 63, 115-124, 1999.
- [4] Bolattürk, A., "Binalarda Optimum Yalıtım Kalınlıklarının Hesabı ve Enerji Tasarrufundaki Rolü", 14. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 41-47, Eylül 2003.
- [5] Bolattürk, A., "Determination of Optimum Insulation Thickness for Building Walls With Respect to Various Fuels and Climate Zones in Turkey", Applied Thermal Engineering, 26, 1301-1309, 2006.
- [6] Yıldız, A., Gürlek, G., Erkek, M. and Özbalta, N., "Economical and Environmental Analyses of Thermal Insulation Thickness in Buildings", Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 28(2), 25-34, 2008.
- [7] Ozel, M., Pıhtılı, K., "Isıtma ve soğutma derece gün değerlerini kullanarak optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi", Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 26(3), 191-198, 2008.
- [8] Bolattürk, A., "Optimum Insulation Thicknesses for Building Walls with Respect to Cooling and Heating Degree-Hours in the Warmest Zone of Turkey", Building and Environment, 43, 1055-1064, 2008.
- [9] Kaynaklı, O., "A Study on Residential Heating Energy Requirement and Optimum Insulation Thickness", Renewable Energy, 33, 1164-1172, 2008.
- [10] Al-Sanea, S. A., Zedan, M. F. and Al-Ajlan, S.A., "Effect of electricity tarif on the optimum insulation-thickness in building walls as determined by a dynamic heat-transfer model", Applied Energy, 82, 313-330, 2005.
- [11] Ozel, M., "Bina dış duvarlarının optimum yalıtım kalınlıkları için dinamik yaklaşım ve maliyet analizi", Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi, 23(4), 879-884, 2008.
- [12] Bulut, H., Büyükalaca, O. ve Yılmaz, T., "Türkiye İçin Isıtma ve Soğutma Derece-Gün Bölgeleri", 16. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Kayseri, 30 Mayıs-2 Haziran, 2007.
- [13] İZOCAM fiyat listesi.
- [14] <http://www.dosider.org>.
- [15] <http://www.tcmb.gov.tr>.