

# BİNA DUVARLARINA UYGULANAN ISIL YALITIM KALINLIĞININ ENERJİ MALİYETİ ODAKLI OPTİMİZASYONU

Ömer KAYNAKLI  
Mustafa MUTLU  
Muhsin KILIÇ

## ÖZET

Bu çalışmada, ülkemizde derece-gün (DG) sınıflandırmasına göre birinci bölgede yer alan Antalya ili için, öngörülen bir ömür süresi dikkate alınarak enerji maliyetini minimize eden optimum ısı yalıtım kalınlığı hesabı yapılmıştır. Antalya ili için güncel dış hava sıcaklık ölçüm verilerinden hareketle hem ısıtma hem de soğutma DG sayıları ve ardından yıllık ısıtma-soğutma enerji gereksinimleri hesaplanmıştır. Optimizasyonda enflasyon ve faiz oranlarının dikkate alındığı ömür döngüsü maliyet analizi kullanılmıştır. Antalya için yapılan analizlerde ısıtma enerji gereksiniminin soğutmaya göre yaklaşık 2,5 kat daha fazla olduğu bulunmuştur. Dış duvarlara uygulanacak optimum yalıtım kalınlığı sadece ısıtma sezonu için 2,6 cm ve sadece soğutma sezonu için 1,2 cm iken yıllık toplam enerji ihtiyacı dikkate alındığında ise 3,7 cm olarak hesaplanmıştır. Optimum yalıtım kalınlığının uygulanmasıyla toplam enerji maliyetindeki tasarruf yaklaşık %63, yalıtımın da dahil olduğu toplam maliyetteki tasarruf ise yaklaşık %32 olmaktadır. Yalıtım geri ödeme süresi 7,5 yıl olarak hesaplanmıştır. Analizler farklı DG değerlerinde de yapılarak, bulgular ülkemizdeki diğer iklim bölgeleri için genişletilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Isıl yalıtım, optimizasyon, enerji maliyeti

## ABSTRACT

In this study, the calculation of an optimum insulation thickness for Antalya, located in the first degree-day (DD) region in Turkey, was carried out to minimize the energy cost considering a predicted lifetime period. Both the heating and cooling DDs and the annual heating and cooling energy requirements were calculated by using the current outside air temperatures for Antalya. The life cycle cost analysis considering the inflation and discount rates was used in the optimization. It was found that the heating energy requirement was 2.5 times greater than the cooling energy requirement for Antalya. The optimum insulation thickness was 3.7 cm for considering the annual total energy requirement while it was 2.6 cm for only heating season and 1.2 cm for only cooling season. The total energy cost savings was approximately 63% and the total cost savings including the insulation cost was approximately 32% with optimum insulation thickness. The payback period of the insulation cost was 7.5 years. The results were generalized by using different DDs to include the other climatic regions in our country.

**Key Words:** Thermal insulation, optimization, energy cost

## 1. GİRİŞ

Ülkelerin enerji tüketimi nüfus artışı, endüstrileşme ve şehirleşme gibi etkenler nedeniyle sürekli olarak artmaktadır. Enerji tüketimi temel itibarıyla binalar, sanayi, ulaşım ve tarım olmak üzere dört ana

sektörde gerçekleşmektedir. Binalarda (ticari ve konut) tüketilen enerji toplam enerjinin yaklaşık üçte birini oluşturmaktadır. Diğer ülkelerde olduğu gibi enerji, bizim ülkemiz için de son derece önemli ve stratejik bir konudur. Enerji kaynakları açısından ülkemizin çok zengin olmadığı bir gerçektir. Aynı zamanda, enerji ihtiyacının çok büyük bir kısmı (%60-65) dışarıdan ithal edilmektedir [1,2].

Isı yalıtımı, tüm dünyada enerji verimliliği kavramına bağlı olarak geliştirilen politikaların en önemli ayağını oluşturmaktadır. Ülkemizde konut ve yapı sektörünün, toplam enerjinin yaklaşık yüzde 30-35'ini tüketmesi ve büyük bir tasarruf potansiyeline sahip olması, bu sektöre yönelik ilgiyi artırmıştır [3,4]. Yalıtımsızlık nedeniyle israf edilen enerji, kükürtdioksit, karbonmonoksit vb. gazlar hava kirliliğine yol açmaktadır. Bu durum sadece Türkiye açısından değil küresel anlamda büyük ve tehlikeli bir problemdir. Bu nedenle, enerji verimliliği ile ilgili çalışmalarda, inşaat sektörüne yönelik düzenlemeler önemli yer tutmaktadır. Birçok ülke 1970'li yıllardan başlayarak, yeni bina kodları ve standartları geliştirmiştir. Bu standartlar, gelişen yalıtım teknolojilerine bağlı olarak sürekli yenilenmektedir.

TS 825 "Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları" standardında ülkemiz, derece-gün (DG) sayılarına göre 4 bölgeye ayrılmıştır. 1. bölge, ısıtma için en az enerji ihtiyacının olduğu, 4. bölge ise en fazla enerji ihtiyacının olduğu bölgeyi temsil etmektedir. Bu sınıflandırma sadece ısıtma derece-gün değerlerine göre yapıldığından soğutma enerji ihtiyacı göz önüne alınmamaktadır. Ancak Antalya gibi bazı illerde binalardaki soğutma ihtiyacını dikkate almamak önemli hatalara yol açabilir.

Bu çalışmada, ısıtma-soğutma enerji ihtiyacından hareketle binaların dış duvarlarına uygulanacak optimum ısı yalıtım kalınlığının belirlenmesine yönelik bir prosedür sunulmuştur. Enerji (doğalgaz ve elektrik) maliyetlerine yalıtımın malzeme ve uygulama maliyetleri de ilave edilerek toplam maliyet elde edilmiştir. Toplam maliyetin minimizasyonunda ömür maliyet analizi (life cycle cost) kullanılmıştır. Antalya için yaklaşık 10 yıllık dış hava sıcaklık verilerinden yararlanarak Isıtma Derece-Gün (IDG) ve Soğutma Derece-Gün (SDG) sayıları tespit edilmiştir. Daha sonra, optimum yalıtım kalınlıkları ve yalıtımın geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Farklı DG sayıları ve farklı DG bölgeleri için de hesaplamalar yapılarak bulgular genelleştirilmiştir.

## 2. MATEMATİKSEL MODEL

### 2.1. Derece-gün Yöntemi

Isıtma ve soğutma enerji gereksiniminin tahmini için kullanılan en yaygın ve basit yöntemlerden biri derece-gün'dür. DG değeri belirli bir denge sıcaklık ( $T_b$ ) referans alınarak hesaplanır. Denge sıcaklığı, binadaki ısı kaynaklarıyla (insan, aydınlatma, güneş ışınımı vs.) binadan olan ısı kayıplarının eşit (dengede) olduğu sıcaklık olarak tanımlanır. Bu nedenle binanın yapısal özellikleri (duvar tipi, yalıtım durumu, hava sızıntıları, güneş ışınımı durumu), iklim koşulları ve bina kullanıcılarının kişisel tercihleri gibi birçok faktör DG değerinin belirlenmesini etkilemektedir [5]. Bu çalışmada yaz ve kış şartları için  $T_b$  sırasıyla 24°C ve 18°C alınmıştır.

Isıtma sezonunda toplam derece-gün sayısı (Isıtma Derece-Gün, IDG) için eşitlik (1) ve (2) kullanılabilir.

$$IDG = \sum_1^{365} (T_b - T_a) \quad (T_a < T_b) \quad (1)$$

$$IDG = 0 \quad (T_a > T_b) \quad (2)$$

Burada  $T_a$  günlük ortalama hava sıcaklığıdır. Benzer olarak, soğutma sezonunda toplam derece-gün sayısı (Soğutma Derece-Gün, SDG) için,

$$SDG = \sum_1^{365} (T_a - T_b) \quad (T_a > T_b) \quad (3)$$

$$SDG = 0 \quad (T_a < T_b) \quad (4)$$

eşitlikleri kullanılabilir.

## 2.2. Isıtma ve Soğutma Yükleri

Sıcaklık farkı nedeniyle dış duvarın birim alanından gerçekleşen ısı kayıp ve kazancı sırasıyla,

$$q = U(T_b - T_a) \quad (6)$$

$$q = U(T_a - T_b) \quad (7)$$

denklemleriyle hesaplanabilir. Burada  $U$  duvarın toplam ısı transfer katsayısıdır. Dış duvarın birim yüzeyinden oluşan ısı kaybı sebebiyle ısıtma için gerekli yıllık enerji miktarı ( $E_{A,H}$ ), yıllık ısı kaybının yakma sisteminin verimine bölünmesiyle hesaplanabilir. Dikkat edilirse yıllık ısı kaybı, derece-gün kavramından yararlanılarak ifade edilmiştir.

$$E_{A,H} = 86400.IDG.U / \eta \quad (8)$$

Benzer şekilde, soğutma için gerekli yıllık enerji miktarı ( $E_{A,C}$ ) aşağıda verilen eşitlikle hesaplanabilir.

$$E_{A,C} = 86400.SDG.U / COP \quad (9)$$

Yalıtımın olduğu tipik bir duvar için toplam ısı geçirgenliği,  $U$ ,

$$U = \frac{1}{1/h_i + R_w + x/k + 1/h_o} \quad (10)$$

şekindedir. Burada  $h_i$  ve  $h_o$  sırasıyla iç ve dış taraftaki ısı taşınım katsayıları,  $R_w$  yalıtımsız duvarın ısı direnci,  $x$  ve  $k$  sırasıyla yalıtım malzemesinin kalınlığı ve ısı iletim katsayısıdır. Binanın iç ve dış tarafındaki ısı taşınım katsayıları için  $h_i = 8,29 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $h_o = 22,7 \text{ W/m}^2\text{K}$  (yaz),  $h_o = 34,0 \text{ W/m}^2\text{K}$  (kış) değerleri kullanılmıştır [6]. Yalıtımsız duvarın toplam ısı direnci  $R_{t,w}$  olmak üzere toplam ısı geçirgenliği yeniden düzenlenirse aşağıda verilen eşitlik elde edilir.

$$U = \frac{1}{R_{t,w} + x/k} \quad (11)$$

## 2.3. Isıtma-Soğutma Maliyeti ve Optimum Yalıtım Kalınlığı

Birim dış duvar yüzey alanı için ısıtmanın ve soğutmanın yıllık enerji maliyeti eşitlik (12) ve (13) ile hesaplanabilir.

$$C_{A,H} = \frac{86400.IDG.C_f}{(R_{t,w} + x/k).Hu.\eta} \quad (12)$$

$$C_{A,C} = \frac{86400.SDG.C_E}{(R_{t,w} + x/k).COP} \quad (13)$$

Bu çalışmada, öngörülen bir ömür süresince enerji maliyeti hesaplamalarında ömür maliyet analizi kullanılmıştır. Toplam ısıtma maliyeti hesaplanırken ömür süresi ( $LT$ ) ve bugünkü değer ( $PWF$ ) birlikte değerlendirilmesi gerekir.  $PWF$  değeri, gerçek faiz oranına ( $r$ ) ve zamana bağlıdır. Gerçek faiz oranı aşağıda verilen denklemlerle bulunur [7,8].

$$r = (i - g)/(1 + g) \quad (14)$$

Burada  $g$  enflasyon oranı ve  $i$  faiz oranıdır. Bu durumda  $PWF$ ,

$$PWF = \frac{(1+r)^{LT} - 1}{r(1+r)^{LT}} \quad (15)$$

Burada  $LT$  ömür süresidir ve 10 yıl olarak alınmıştır [9,10]. Yalıtımın toplam maliyeti ( $C_{t,ins}$ ) aşağıda verilen denklemlerle bulunur.

$$C_{t,ins} = C_{ins}x + C_{uyg} \quad (16)$$

Burada  $C_{ins}$  yalıtım malzemesinin birim maliyeti (TL/m<sup>3</sup>) ve  $C_{uyg}$  yalıtımın uygulama maliyetidir (TL/m<sup>2</sup>). Isıtmanın ve soğutmanın yıllık toplam enerji maliyeti eşitlik (17) ve (18) ile hesaplanabilir.

$$C_{t,H} = \frac{86400IDGC_f PWF}{(R_{t,w} + x/k)Hu\eta} + C_{t,ins} \quad (17)$$

$$C_{t,C} = \frac{86400SDGC_E PWF}{(R_{t,w} + x/k)COP} + C_{t,ins} \quad (18)$$

Toplam maliyet, ısıtma ve soğutma maliyetlerinin toplamından oluşur.

$$C_t = \left( \frac{86400PWF}{R_{t,w} + x/k} \right) \left( \frac{C_f IDG}{Hu\eta} + \frac{C_E SDG}{COP} \right) + (C_{ins}x + C_{uyg}) \quad (19)$$

Verilen bu maliyeti minimize eden yalıtım kalınlığı ( $x$ ) değeri en uygun yalıtım kalınlığını (optimum yalıtım kalınlığını,  $x_{opt}$ ) vermektedir. Bu nedenle toplam maliyet denklemi,  $x$ 'e göre türevi alınıp sıfıra eşitlenirse aşağıda verilen optimum yalıtım kalınlığı eşitliği elde edilir.

$$x_{opt} = \left( \frac{86400PWF \{C_f IDG / (\eta Hu) + C_e SDG / COP\} k}{C_{ins}} \right)^{1/2} - R_{t,w}k \quad (20)$$

## 2.4. Parametreler

Çalışmada kullanılan bazı parametreler Tablo 1'de verilmiştir. Hesaplamalarda kullanılan duvarın yapısal özellikleri, yakıtla ilgili özellikler ve  $PWF$  analizinde kullanılan bazı finansal ve maliyet parametreleri bu tabloda özetlenmiştir.

**Tablo 1.** Hesaplamalarda kullanılan veriler

Parametre	Değer
<b>Dış Duvar</b>	
2 cm	İç sıva
x cm	Yalıtım
19 cm	Tuğla
3 cm	Dış sıva
	İç taraftaki ısı taşınım katsayısı
	Dış taraftaki ısı taşınım katsayısı

$$U = 1/(R_{ins} + 0,617) \text{ W/m}^2\text{K}$$

### Yakıt

Doğalgaz (ısıtmada)

Alt ısıtma değeri ( $H_u$ )

$34,526 \cdot 10^6 \text{ J/m}^3$

Fiyat ( $C_f$ )

$0,680 \text{ TL/m}^3$

Isıtma sisteminin verimi ( $\eta$ )

0,93

Elektrik (soğutmada)

Fiyat ( $C_E$ )

0,230 TL/kWh

COP

2,5

### Yalıtım malzemesi

Polistiren

Isı iletim katsayısı ( $k$ )

0,035 W/mK

Malzeme fiyatı ( $C_{ins}$ )

240 TL/m<sup>3</sup>

Uygulama maliyeti ( $C_{uyg}$ )

9 TL/m<sup>2</sup>

### Finansal parametreler

Enflasyon oranı ( $g$ )

6

Faiz oranı ( $i$ )

9

Ömür ( $LT$ )

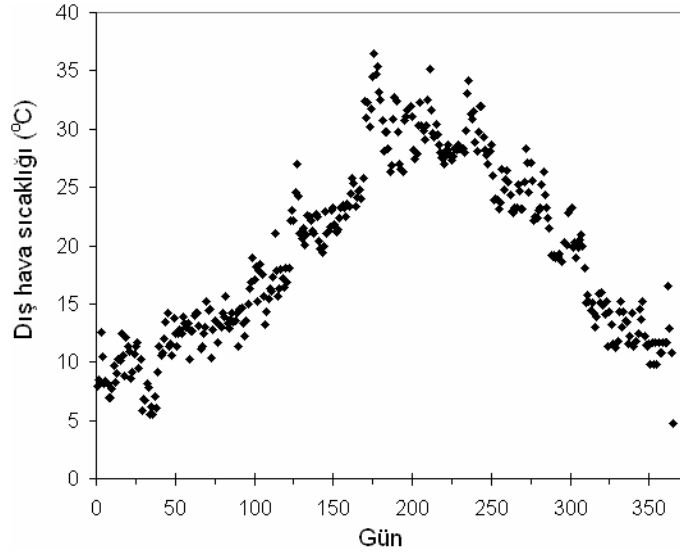
10

Şimdiki değer faktörü ( $PWF$ )

8,6 (eş.15 ile)

### 3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

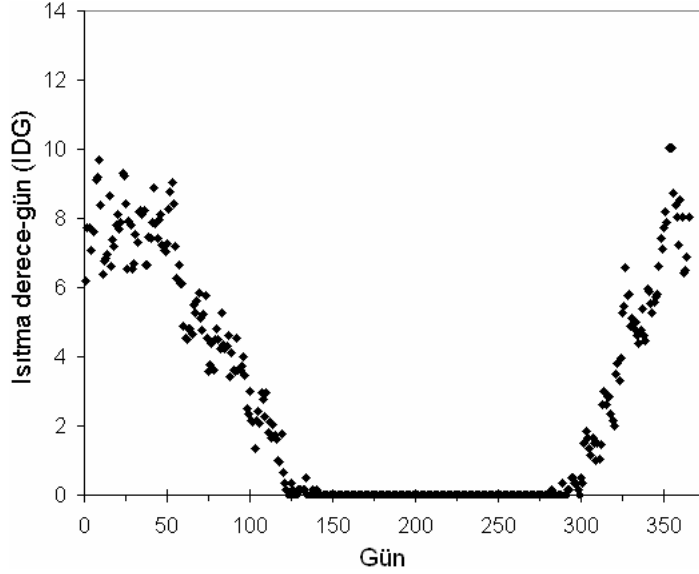
Optimum yalıtım kalınlığı hesabında dış hava sıcaklığı temel parametrelerden biridir. Bu nedenle uzun periyotlu ölçüm verilerinin kullanılması daha güvenilir sonuçların elde edilmesini açısından önemlidir. Bu çalışmada Antalya ili için yaklaşık 10 yıllık ortalama dış hava sıcaklık verilerinin yararlanılmıştır. Örnek olarak 2007 yılına ait günlük ortalama dış hava sıcaklığının yıl içindeki değişimi Şekil 1'de verilmiştir. Yılın ilk ve son günleri kış mevsimine denk geldiğinden sıcaklıklar göreceli olarak düşüktür.



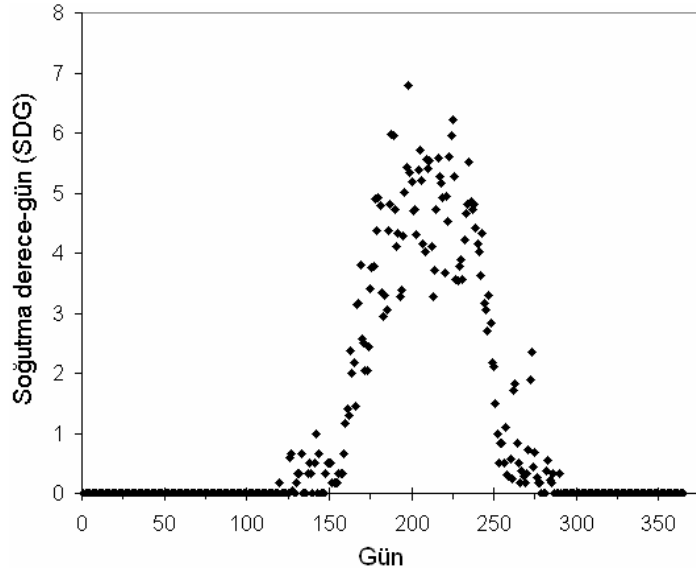
Şekil 1. Günlük ortalama dış hava sıcaklığının yıl içindeki değişimi (2007 yılı)

10 yıllık dış hava sıcaklıklarına göre hesaplanmış ısıtma ve soğutma DG değerlerinin değişimi Şekil 2 ve 3'te görülmektedir. Yılın ilk ve son günlerinde IDG değerleri büyük olduğu görülmektedir. Çünkü bu günlerde dış hava sıcaklığı düşük olduğundan IDG değerleri veya diğer bir deyişle ısıtma için gerekli enerji miktarı daha büyüktür. Her gün için bulunan derece-gün değerleri toplandığında IDG=992,2 elde edilmektedir. SDG ise farklı olarak yılın ilk ve son günlerinde sıfır, hava sıcaklığının yüksek olduğu yaz aylarında maksimum seviyesine çıkmaktadır. Soğutma için derece-günler toplandığında SDG=401,7 elde edilmektedir. Hesaplanan bu değerlerden Antalya'da sıcaklık farkı

nedeniyle duvarın birim alanından gerçekleşen ısıtma yükü soğutma yükünden yaklaşık 2,5 kat daha büyük olduğu görülür.



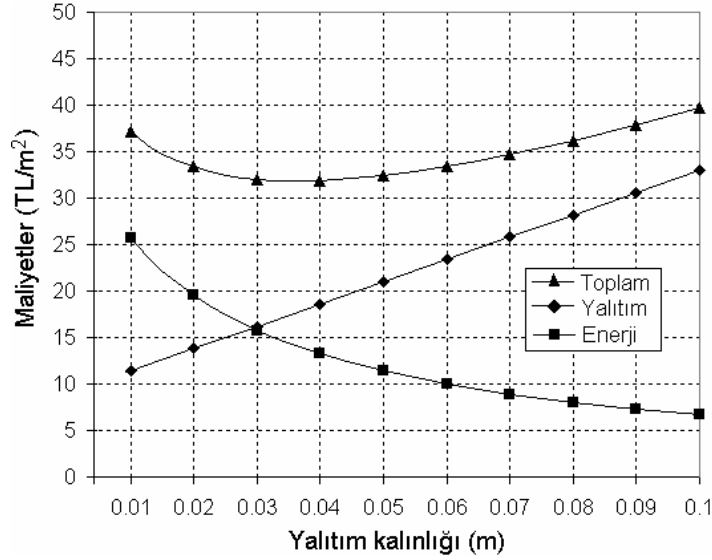
Şekil 2. Isıtma derece-gün değerlerinin değişimi



Şekil 3. Soğutma derece-gün değerlerinin değişimi

Şekil 4'te maliyetlerin (enerji, yalıtım ve toplam maliyet) yalıtım kalınlığı ile değişimi verilmiştir. Dış duvara uygulanan yalıtımın kalınlığı arttıkça doğal olarak toplam ısı direnç ( $R_t$ ) artar ve duvardaki ısı geçişi azalır. Isı geçişinin azalmasıyla şekilden görüldüğü gibi yıllık yakıt maliyeti azalan bir eğimle azalmaktadır. Çünkü yalıtım kalınlığı arttıkça  $R_t$  azalan bir eğimde artmaktadır. Bununla birlikte, yalıtım kalınlığı arttıkça yalıtım maliyeti ( $C_{t,ins}$ ) lineer olarak artmaktadır. Çünkü uygulanan yalıtım kalınlığının artması daha fazla yalıtım malzemesi kullanılması anlamına gelmektedir. Bu iki maliyetin göz önünde bulundurulmasıyla oluşan toplam maliyet ( $C_t$ ), yalıtım kalınlığının artmasıyla baştan azalmasına karşın belli bir değerden itibaren, enerji maliyetinin toplam maliyet içindeki etkinliğini kaybetmesinden dolayı artmaktadır. Toplam maliyeti minimum yapan nokta en uygun yalıtım kalınlığı değerini vermekte ve optimum yalıtım kalınlığı olarak adlandırılmaktadır. Bu noktanın sağında ve solunda (yani daha fazla ve az yalıtım kullanılması durumunda) ya yalıtım ya da yakıt maliyetinden dolayı toplam maliyet artma eğilimi göstermektedir. Yapılan hesaplamalarda optimum yalıtım kalınlığı, sadece IDG değerinin

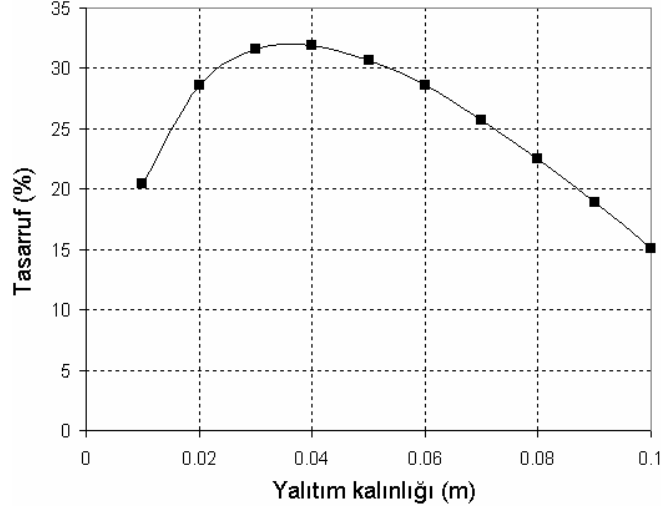
dikkate alınması durumunda 2,6 cm, sadece SDG değerinin dikkate alınması durumunda 1,2 cm ve hem IDG hem SDG birlikte dikkate alındığında ise Şekil 4'den görüldüğü gibi 3,7 cm olarak bulunmuştur. Soğutma için gerekli enerji ısıtmaya göre daha az olduğundan gerekli yalıtım kalınlığı da sadece soğutma dikkate alındığında daha küçük çıkmaktadır.



**Şekil 4.** Enerji ve yalıtım maliyetlerinin yalıtım kalınlığının ile değişimi

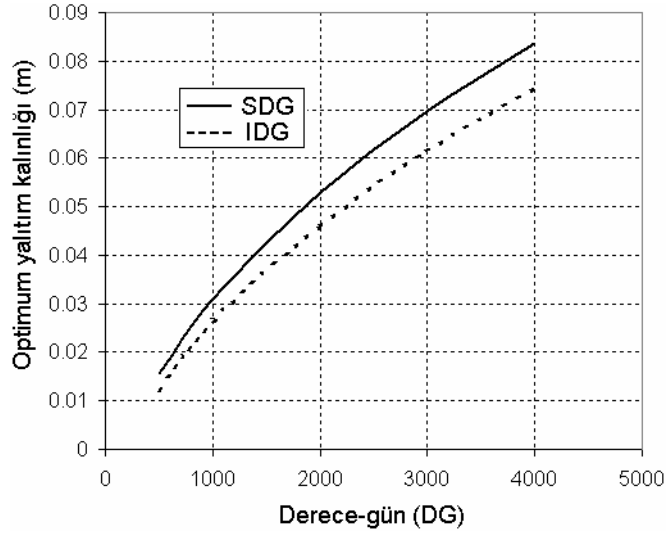
Şekil 5'te dış duvara uygulanan yalıtım kalınlığı ile toplam maliyetteki tasarrufun değişimi görülmektedir. Verilen bu grafikten de Şekil 4'ten olduğu gibi optimum yalıtım kalınlığı belirlenebilir. Tasarrufun maksimum olduğu (eğrinin tepe noktası) en uygun yalıtım kalınlığını vermektedir. Yalıtım kalınlığının artmasıyla ısı kaybı/kazancı azalacağından hem ısıtma hem soğutmada enerji (yakıt) tasarrufu artmaktadır ancak yalıtım maliyeti nedeniyle belirli bir değerden sonra toplam tasarruf azalmaktadır. Yalıtım nedeniyle 10 yılın sonunda enerji maliyetinden sağlanan tasarruf %63'dür. Ancak enerji maliyetine yalıtım maliyetinin de ilave edilmesi durumunda sağlanan gerçek tasarruf Şekil 5'den de görüldüğü gibi 3,7 cm yalıtım kalınlığında %32'dir. Antalya için durum böyle iken ısıtma ve soğutma enerji ihtiyacının daha büyük olduğu koşullarda (daha büyük IDG ve/veya SDG değerlerinde), yapılan yalıtımla daha büyük oranda tasarruf söz konusu olacaktır.

Yapılan yatırımın geri ödeme süresi de önemli parametrelerden biridir. 3,7 cm kalınlığında uygulanacak yalıtımın geri ödeme süresi Tablo 1'de verilen maliyetlerle 7,5 yıl çıkmaktadır. Enerji fiyatlarının yükselmesi, geri ödeme süresini azaltan unsurlardandır. Benzer şekilde ısıtma-soğutma enerji ihtiyacının daha büyük olduğu illerde, yalıtımla yapılacak tasarruf da daha fazla olacağından geri ödeme süreleri kısalmaktadır.



**Şekil 5.** Yalıtım kalınlığı ile toplam maliyetteki tasarrufun değişimi

Yapılan hesaplamalarda Antalya için IDG ve SDG sırasıyla 992,2 ve 401,7 bulunmuştur. DG değerleri iklim koşullarına göre oldukça değişkenlik göstermektedir. DG değerlerinde yani enerji ihtiyacındaki bu değişim, optimum yalıtım kalınlığını da önemli ölçüde etkilemektedir. DG değerlerinin 500 ile 4000 arasında değişmesinin optimum yalıtım kalınlığı üzerindeki etkisi Şekil 6'da gösterilmiştir. Hem ısıtmadaki hem de soğutmadaki enerji ihtiyacına göre uygun yalıtım kalınlığı, verilen şekilden okunabilmektedir. Buradaki dikkat çekici nokta, aynı DG değeri için soğutmada daha fazla yalıtımın gerektiğidir. Yani ısıtma ve soğutma enerji gereksinimlerinin aynı olduğu bir ilde (veya bölgede) dış duvarlara uygulanacak optimum yalıtım kalınlığı soğutma sezonu için daha büyük çıkmaktadır. Bunun nedeni, soğutmada enerjinin birim maliyetinin daha yüksek oluşudur.

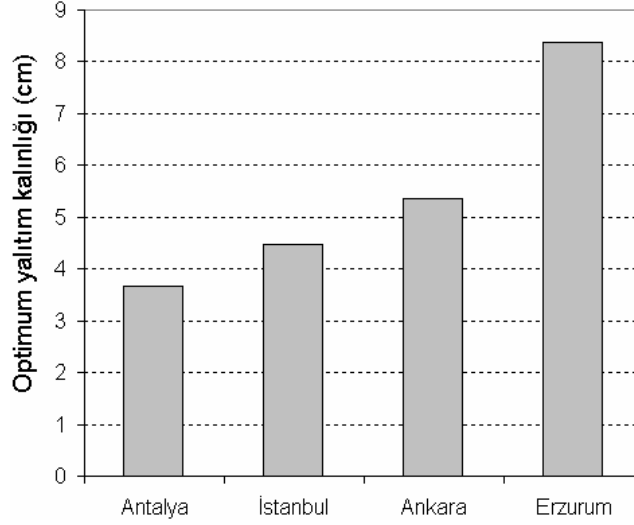


**Şekil 6.** Derece-Gün sayısına göre optimum yalıtım kalınlıkları

Şekil 7'de bazı iller için optimum yalıtım kalınlıkları verilmiştir. Ülkemizdeki derece-gün bölgeleri arasındaki farkı görmek için örnek olarak her bölgeden bir il seçilmiştir. 1. derece-gün bölgesinden Antalya, 2. derece-gün bölgesinden İstanbul (IDG=1865, SDG=47), 3. derece-gün bölgesinden Ankara (IDG=2677, SDG=37) ve 4. derece-gün bölgesinden Erzurum (IDG=4827, SDG=1) örnek olarak alınmıştır. Bu illere ait derece-gün değerleri için Büyükalaca ve ark. [5]'den faydalanılmıştır. Hesaplamalar sonucu bu iller için optimum yalıtım kalınlıkları sırasıyla 3,7 cm, 4,5 cm, 5,4 cm ve 8,4 cm elde edilmiştir. Görüldüğü gibi yıllık ısıtma-soğutma enerji ihtiyacı arttıkça optimum yalıtım kalınlığı da artmaktadır. Erzurum için yalıtımın geri ödeme süresi hesaplandığında ise karşımıza yaklaşık 3 yıl



gibi oldukça kısa bir süre çıkmaktadır. Çünkü burada enerji (doğalgaz) maliyeti önemli miktarda olduğundan yalıtımla yapılacak tasarruf da o ölçüde büyük olmakta ve yatırımın geri ödeme süresi kısalmaktadır.



**Şekil 7.** Farklı derece-gün bölgelerinde yer alan iller için optimum yalıtım kalınlıkları

## SONUÇ

Ülkemizin enerji kaynaklarının sınırlı ve büyük ölçüde dışa bağımlı olması nedeniyle özellikle enerjinin yoğun olarak tüketildiği ve ısı kayıpların çok olduğu konut sektöründe enerjinin korunumu ve verimli kullanımı gün geçtikçe daha fazla önem kazanmaktadır.

Bu çalışmada 1. derece-gün bölgesinde yer alan Antalya ili için ısıtma ve soğutma enerji maliyetleri dikkate alınarak optimum yalıtım kalınlıkları hesaplanmıştır. Optimum yalıtım kalınlıkları ısıtma ve soğutma sezonu için sırasıyla 2,6 cm ve 1,2 cm bulunmuştur. Ancak yapılacak yalıtım hem ısıtma hem soğutma yükünü azaltacağından enerji maliyeti sezonluk yerine yıllık olarak dikkate alındığında optimum yalıtım kalınlığı 3,7 cm olarak hesaplanmıştır. Dış duvarlara optimum yalıtım kalınlığı uygulanarak elde edilebilecek tasarruf oranı ise enerji maliyeti üzerinden yaklaşık %63, toplam maliyet üzerinden yaklaşık %32 mertebesinde dir. Yalıtımın geri ödeme süresi 7,5 yıl olarak hesaplanmıştır.

Farklı IDG ve SDG değerleri için elde edilen optimum yalıtım kalınlıkları incelendiğinde, ülkemiz için soğutmada kullanılan elektrik enerjisinin birim maliyeti ısıtmada kullanılan doğalgaza göre yüksek olduğundan aynı DG değerinde, SDG için elde edilen optimum yalıtım kalınlıkları IDG için elde edilenlerden daha büyük çıkmıştır.

Farklı derece-gün bölgelerinde yer alan illere (Antalya, İstanbul, Ankara ve Erzurum) baktığımızda ise optimum yalıtım kalınlığı en fazla 8,4 cm ile Erzurum için elde edilmiştir. Bu ilde yalıtımın geri ödeme süresi 3 yıl olarak hesaplanmıştır.

## KAYNAKLAR

- [1] OGULATA, R.G., Sectoral energy consumption in Turkey, Renewable and Sustainable Energy Reviews 6, 471-480, 2002.

- [2] KAYGUSUZ, K., KAYGUSUZ, A., Energy and sustainable development. Part II: Environmental impacts of energy use, Energy Sources 26, 1071-1082, 2004.
- [3] DEMİRBAŞ, A., Energy balance, energy sources, energy policy, future developments and energy investments in Turkey, Energy Conversion and Management 42, 1239-1258, 2001.
- [4] KAYGUSUZ, K., KAYGUSUZ, A., Energy and sustainable development in Turkey, Part I: Energy utilization and sustainability, Energy Sources 24, 483-498, 2002.
- [5] BÜYÜKALACA, O., BULUT, H., YILMAZ, T., Analysis of variable-base heating and cooling degree-days for Turkey, Applied Energy 69, 269-283, 2001.
- [6] ÇENGEL, Y.A., "Heat transfer: a practical approach", 1<sup>st</sup> ed. Higtstown: McGraw-Hill; 1998.
- [7] MEARING, T., COFFEE, N., MORGAN, M., "Life cycle cost analysis handbook", State of Alaska, Department of Education & Early Development Education Support Services/Facilities, 1<sup>st</sup> ed., 1999.
- [8] 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.
- [9] ÇOMAKLI, K., YÜKSEL, B. Optimum insulation thickness of external walls for energy saving. Applied Thermal Engineering 23, 473-479, 2003.
- [10] DOMBAYCI, O.A., GOLCU, M., PANCAR, Y. Optimization of insulation thickness for external walls using different energy-sources. Applied Energy 83, 921-928, 2006.

## **ÖZGEÇMİŞ**

### **Ömer KAYNAKLI**

Uludağ Üniversitesi Müh.-Mim. Fak. Makine Mühendisliği Bölümü'nden 1998 yılında mezun oldu. 2000 yılında yüksek lisans, 2004 yılında doktora derecelerini aldı. 2008 yılında Yardımcı Doçentliğe atandı. 2009 yılında Doçentliğini aldı. 2010 yılından beri bölüm başkan yardımcılığı görevini yürütmektedir. Halen Uludağ Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü'nde görevine devam etmektedir. Isıl konfor, enerji ekonomisi, absorpsiyonlu soğutma ve ekserji analizi konularında çalışmaktadır.

### **Mustafa MUTLU**

2007 yılında Uludağ Üniversitesi Müh.-Mim. Fak. Makine Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. Aynı Üniversiteden 2009 yılında Yüksek Mühendis unvanını aldı. 2009 yılından beri Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Enerji Anabilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır. Enerji depolama ve hesaplamalı akışkanlar mekaniği konularında çalışmaktadır.

### **Muhsin KILIÇ**

1986 yılında Uludağ Üniversitesi Müh.-Mim. Fak. Makine Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 1989 yılında O.D.T.Ü.'de yüksek lisans, 2003 yılında Bath Üniversitesi'nde doktora çalışmasını tamamladı. 1996 yılında doçent, 2002 yılında profesör oldu. 2005-2010 yılları arasında Uludağ Üniversitesi Müh.-Mim. Fak. Makine Mühendisliği Bölüm Başkanlığı görevini yürüttü. 2011 yılında Rektör Danışmanlığı görevini üstlendi. Türbo makineler, ısıl konfor, enerji ve ekserji analizi konularında çalışmaktadır.