

PAPER DETAILS

TITLE: Türkiye'nin dört farklı iklim bölgesinde ısıtma ve soğutma yükleri için optimum yalıtım kalınlıklarının belirlenmesi

AUTHORS: Ali Etem GÜREL, Ali DASDEMİR

PAGES: 346-353

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/236199>



Erciyes University Journal of the Institute of Science and Technology
Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi
 ISSN 1012-2354

Cilt (Volume) 27, Sayı (Issue) 4, Ekim/October -2011

<http://fbe.erciyes.edu.tr/>



Türkiye'nin dört farklı iklim bölgesinde ısıtma ve soğutma yükleri için optimum yalıtım kalınlıklarının belirlenmesi

Ali Etem GÜREL¹, Ali DAŞDEMİR²

¹Düzce Üniversitesi, Düzce Meslek Yüksekokulu, Teknik Programlar, Düzce

²Köyceğiz Mesleki ve Teknik Eğitim Merkezi, Muğla

Anahtar Kelimeler

Enerji tasarrufu,
yalıtım kalınlığı,
optimizasyon

ÖZET

Türkiye'de konutlarda tüketilen enerjinin büyük bir kısmından ısıtma-soğutma amacıyla yararlanılmaktadır. Bu tespit konutlarda, ısı yalıtım uygulamalarıyla büyük miktarda enerji tasarrufu elde edilebileceği gerçeğini vurgulamaktadır. Yalıtım uygulamalarında en ekonomik yalıtım kalınlığı değerinin tespiti oldukça önemlidir. Bu çalışmada, Türkiye'nin farklı iklim bölgelerinden seçilen dört şehirde (Aydın, Edirne, Malatya ve Sivas) ısıtma ve soğutma yükleri için oluşan optimum yalıtım kalınlıkları ve enerji tasarrufları hesaplanmıştır. Dış duvarda yalıtım malzemesi olarak XPS (sıkıştırılmış polistiren) ve EPS (genleştirilmiş polistiren) seçilmiştir. Yakıt olarak ısıtma için doğalgaz, soğutma için ise elektrik kullanılmıştır. Çalışmanın ekonomik boyutu $P_1 - P_2$ yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Sonuçlar yalıtım malzemesi ve seçilen ile bağlı olarak optimum yalıtım kalınlıklarının 0.036 ve 0.1 m arasında, enerji tasarruflarının 12.08 TL/m² ve 58.28 TL/m² arasında ve geri ödeme sürelerinin 1.5 ve 2.52 yıl arasında değiştiğini göstermiştir.

Determination of optimum insulation thicknesses for heating and cooling loads in four different climatic regions of Turkey

ABSTRACT

In Turkey, most of the consumed energy in residents is used for heating – cooling purpose. This determination proves that high amount of energy can be saved in residents by heat insulation applications. In insulation applications the determination of the most economical insulation thickness is very important. In this study, optimum insulation thicknesses for heating and cooling loads in 4 selected cities of Turkey (Aydın, Edirne, Malatya and Sivas) and also energy savings. In the outer wall, XPS (Extruded polystyrene) and EPS (Expanded polystyrene) were selected as insulation material. Natural gas was selected for heating and electricity was selected for cooling. The economical dimension of the study was analyzed by $P_1 - P_2$ method. The results show that the optimum insulation thickness interval is 0.036 and 0.1 m and the energy savings interval as 12.08 TL/m² and 58.28 TL/m² and payback period interval 1.5 and 2.52 years depending on the selected insulation material.

Keywords
Energy savings,
insulation thickness,
optimization

1. Giriş

Dünya genelinde hızlı nüfus artışı ve yaşam standartlarını yükseltme çabalarıyla birlikte enerjiye olan talep ve tüketim her geçen gün artmaktadır. Tükettiği enerjinin büyük bir kısmını ithalat yoluyla karşılayan ülkeler, bu talebe karşılık verebilmek adına daha fazla ithalat politikası izlemekte ve bu durum uzun vadede enerji darboğazlarına sebep olabilmektedir. Bu açıdan bakıldığında, enerji kaynaklarının tasarruflu kullanımına yönelik yapılacak çalışmalar enerjiyi ithal etmekten çok daha ucuz bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. 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].

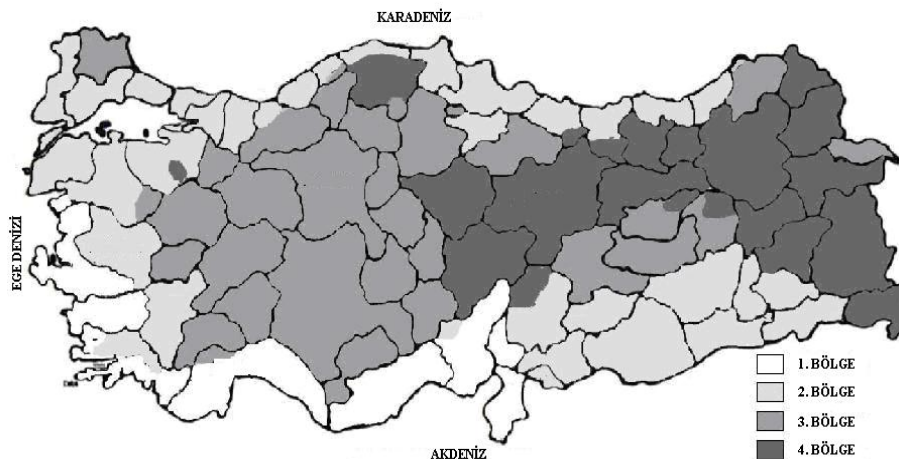
Isı yalıtımı, yakıt tüketimini azaltarak enerji tasarrufu sağlamanın yanında yoğuşma ve küf sorunlarını da azaltarak yapıların ömrünü arttırmaktadır. Yalıtım malzemesinin seçiminde bölgenin ortalama dış ortam sıcaklığı, yalıtım malzemesinin ısı iletkenliği ve maliyeti en önemli parametrelerdir. Yalıtım 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 [2].

Binalar için enerji tüketiminin minimum değerlere düşürülmesinde ulusal düzenlemeler getirilmesi bir zorunluluktur. Bu nedenle Türkiye'nin bu yöndeki ihtiyaçları düşünülerek 1999 yılında "Binalarda ısı yalıtım kuralları" (TS 825) belirlenmiştir. TS825'e göre Türkiye için dört farklı derece gün (DG) bölgesi belirlenmiş ve bu bölgeler Şekil 1'de gösterilmiştir. Binaların ısı yükü ihtiyaçlarını belirleyen en önemli parametre iklim şartlarıdır. 15°C denge sıcaklığı ve

20°C iç ortam sıcaklığı için DG sayıları birinci bölge için 1500'den daha az dördüncü bölge için 4500'den daha fazladır. [3].

Literatürde binalarda optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesine ilişkin farklı çalışmalar bulunmaktadır. Dombaycı vd. [4], Denizli'deki binalarda, ısıtma için farklı enerji kaynaklarının kullanılması halinde dış duvarlar için optimum yalıtım kalınlığını derece gün sayısını esas alarak hesaplamışlardır. Çalışmanın sonucunda optimum yalıtım kalınlığı kullanıldığında, enerji tasarrufu ve geri ödeme sürelerini sırasıyla 14.09\$/m² ve 1.43 yıl olarak belirlemişlerdir. Bolattürk [5] 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. Daouas [6], yaptığı çalışmada Tunus'ta hem ısıtma hem de soğutma yükleri için farklı duvar yönlerinin maliyetler üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışma, en ekonomik sonucun güneye yönlendirilmiş duvar için elde edildiğini göstermiştir. Çomaklı ve Yüksel [7], Türkiye'nin soğuk iklim bölgelerinde bulunan şehirler için optimum yalıtım kalınlıkları, enerji tasarrufları ve geri ödeme sürelerini life-cycle maliyet analizi ile belirlemişlerdir. Hasan [8] optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesinde life-cycle metodunu kullanmıştır. Sonuçlar polistiren ve taş yünü için enerji tasarrufunu 21\$/m² olarak göstermiştir. Çalışmanın sonucunda geri ödeme süresi taş yünü için 1-1.7 yıl polistiren için 1.3-2.3 yıl olarak belirlemiştir. Deniz [9] çalışmasında klasik yalıtım malzemelerini ve vakumlu yalıtım panellerini (VIP) ekonomik boyutta incelemiştir.

Mevcut literatür incelendiğinde, yapılan çalışmaların çoğunlukla ısıtma derece gün sayıları kullanılarak ele alındığı görülmektedir. Bu çalışmada, Türkiye'nin dört farklı iklim bölgesinden seçilen dört il için hem ısıtma derece gün sayıları hem de soğutma derece gün sayıları kullanılarak optimum yalıtım kalınlıkları, enerji tasarrufları ve geri ödeme süreleri ısıtma ve soğutma yükleri baz alınarak hesaplanmıştır.



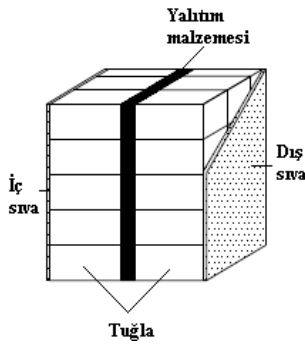
Şekil 1. TSE 825'e göre Türkiye'nin iklim bölgeleri [3].

$$E_{A,i} = \frac{86400.IDG.U}{\eta} \quad (3)$$

2. Dış duvar için ısı yükü

Binalarda ısı kayıpları genellikle dış duvar yüzeyinden, pencerelerden, tavandan ve hava infiltrasyonu ile meydana gelmektedir [10, 11, 12]. Yapılan çalışmada ısı kayıplarının sadece dış duvar yüzeyinden meydana geldiği kabul edilmiştir.

Yalıtım uygulamaları genellikle sandviç duvar olarak adlandırılan kompozit yapıya sahip bir duvar modeli ile gerçekleştirilir. Çalışmada kullanılan duvar modeli Şekil 2'de görülmektedir. Duvar yapısı 2 cm kalınlığında iç sıva, 2 adet 8.5 cm kalınlığında yatay delikli tuğla ve 3 cm kalınlığında dış sıvadan oluşmaktadır.



Şekil 2. Dış duvarın yapısı

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

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

Burada, U dış duvarın toplam ısı geçiş katsayısını, T_b denge sıcaklığını ve T_o günlük ortalama sıcaklığı ifade etmektedir.

Derece gün sayılarına bağlı olarak birim yüzeyden gerçekleşen yıllık ısı kaybı ve kazancı Eşitlik (2) kullanılarak hesaplanabilir.

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

Burada, DG derece gün sayısını ifade etmektedir. Değerlendirilen iller için kullanılan ısıtma ve soğutma derece gün sayıları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. İller için ısıtma ve soğutma derece gün sayıları [13].

Şehir	Derece gün Sayısı (ısıtma için, IDG)	Derece Gün Sayısı (Soğutma için, SDG)
Aydın	1213	895
Edirne	2224	195
Malatya	2461	407
Sivas	3444	27

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

Benzer şekilde yıllık soğutma yükünü belirlemek için Eşitlik (4) kullanılır.

$$E_{A,s} = \frac{86400.SDG.U}{COP} \quad (4)$$

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

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

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

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 (6) kullanılarak hesaplanır.

$$U_{yal} = \frac{1}{R_i + R_d + R_{yal} + R_o} \quad (6)$$

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

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

$$\Delta U = \frac{1}{R_{id}} - \frac{1}{R_{id} + x/k} \quad (7)$$

3. Enerji maliyetleri ve yalıtım kalınlıklarının optimizasyonu

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 [14].

P_1 değeri, faiz oranı (i) ve enflasyon oranını (d) ye bağlı olarak değişir ve aşağıdaki şekilde hesaplanır. Bu çalışmadaki hesaplamalarda $i=5\%$ ve $d=5\%$ olarak alınmıştır.

$$P_1(N, i, d) = \sum_{j=1}^N \frac{(1+i)^{j-1}}{(1+d)^j} = \begin{cases} \frac{1}{d-i} \left[1 - \left(\frac{1+i}{1+d} \right)^N \right] & i \neq d \\ \frac{N}{1+i} & i = d \end{cases} \quad (8)$$

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

$$P_2 = 1 + P_1 M_s - \frac{R_v}{(1+d)^N} \quad (9)$$

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_y yalıtım malzemesi birim metreküp fiyatı (TL/m³) ve x yalıtım malzemesi kalınlığı (m) olmak üzere aşağıdaki eşitlikten bulunabilir.

$$C_{yal} = C_y \cdot x \quad (10)$$

Yalıtılmış bir binanın toplam ısıtma maliyeti Eşitlik (11) kullanılarak hesaplanabilir.

$$C_{t,i} = \frac{86400 \cdot P_1 \cdot U \cdot IDG \cdot C_f}{H_u \cdot \eta} + P_2 \cdot C_y \cdot x \quad (11)$$

Eşitlikte H_u ve η sırası ile yakıtın alt ısı değeri ve verimidir. Çalışmada kullanılan yakıtlara ait özellikler Tablo 2’de verilmiştir. Çalışmada soğutma için elektrik kullanımına yönelik değerlendirme etkinlik katsayısı (COP) ile yapılmıştır. Bu nedenle Tablo 2’de elektriğe ait H_u ve η değerleri verilmemiştir.

Tablo 2. Kullanılan yakıtlara ait değerler

Yakıt	Fiyat	H_u	η
Doğalgaz	0.625 TL/m ³	34.526 x 10 ⁶ J/m ³	0.93
Elektrik	0.234 TL/kWh	-	-

Isıtma ve soğutma yüklerinin toplamı için yalıtılmış bir binanın toplam maliyet ise aşağıdaki şekilde hesaplanır [15,16].

$$C_{t,IS} = P_1 \cdot \left(\frac{0.024 \cdot U \cdot SDG \cdot C_e}{COP} + \frac{86400 \cdot U \cdot IDG \cdot C_f}{H_u \cdot \eta} \right) + P_2 \cdot C_y \cdot x \quad (12)$$

Isıtma için enerji tasarrufu Eşitlik (13) kullanılarak belirlenebilir.

$$S_i = \frac{86400 \cdot P_1 \cdot \Delta U \cdot IDG \cdot C_f}{H_u \cdot \eta} - P_2 \cdot C_y \cdot x \quad (13)$$

Isıtma ve soğutma yükleri için enerji tasarrufu aşağıdaki eşitlik ile bulunur.

$$S_{IS} = P_1 \cdot \left(\frac{0.024 \cdot \Delta U \cdot SDG \cdot C_e}{COP} + \frac{86400 \cdot \Delta U \cdot IDG \cdot C_f}{H_u \cdot \eta} \right) - P_2 \cdot C_y \cdot x \quad (14)$$

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 [11].

Isıtma yükü için optimum yalıtım kalınlığı aşağıdaki eşitlik kullanılarak belirlenir.

$$x_{opt,i} = \sqrt{\frac{86400 \cdot P_1 \cdot k \cdot IDG \cdot C_f}{P_2 \cdot C_y \cdot H_u \cdot \eta}} - R_{td} \cdot k \quad (15)$$

Isıtma ve soğutma yüklerinin toplamı için optimum yalıtım kalınlığı Eşitlik (16) kullanılarak elde edilir.

$$x_{opt,IS} = \sqrt{\frac{P_1 \cdot k \cdot \left(\frac{0.024 \cdot SDG \cdot C_e}{COP} + \frac{86400 \cdot IDG \cdot C_f}{H_u \cdot \eta} \right)}{P_2 \cdot C_y}} - R_{td} \cdot k \quad (16)$$

Bu çalışmada kullanılan parametreler ve değerleri Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Çalışmada kullanılan parametreler ve değerleri

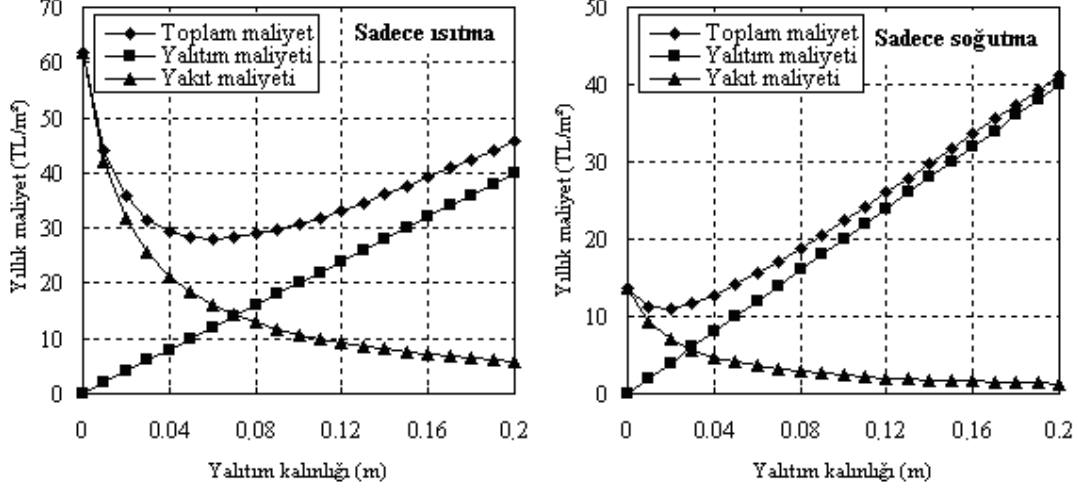
Parametre	Değer
Yalıtım Malzemesi	
XPS	
Isı iletim katsayısı, k	0.033 W/mK
Maliyet, C_y	200 TL/m ³
EPS	
Isı iletim katsayısı, k	0.036 W/mK
Maliyet, C_y	130 TL/m ³
R_{td}	0.636 m ² K/W
COP	2.5
Ömür, N	10 yıl
P_1	9.52
P_2	1

4. Bulgular ve değerlendirme

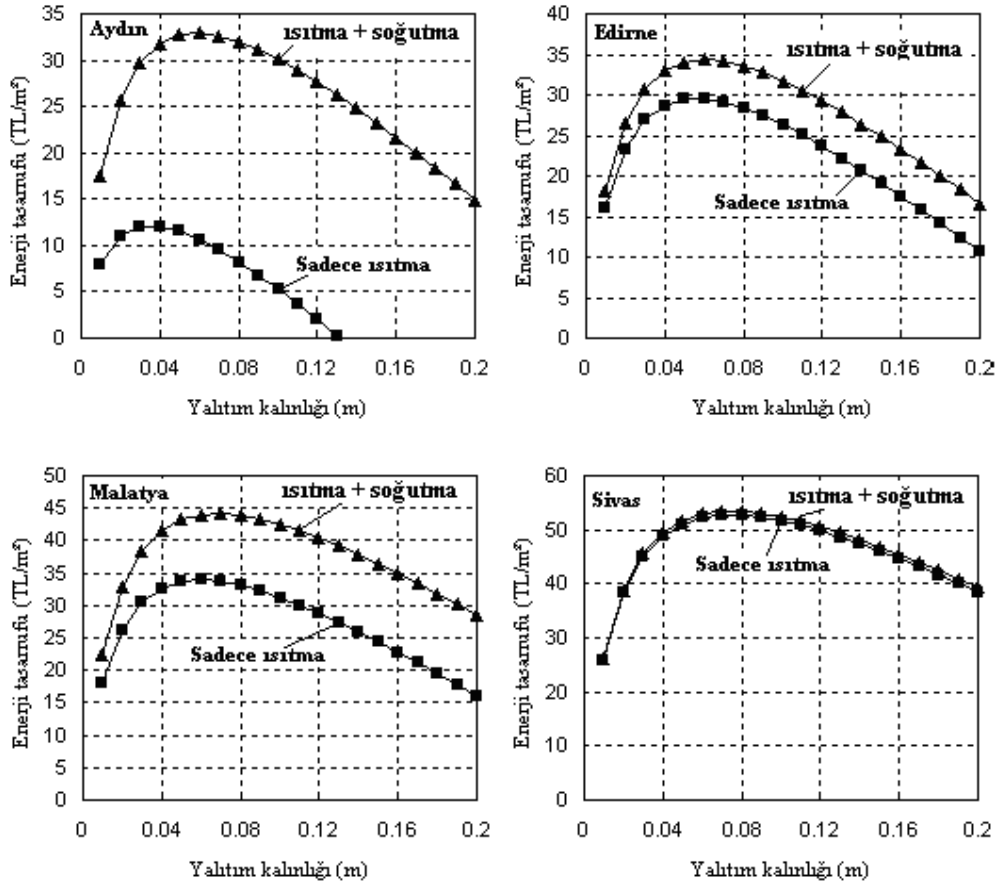
Yalıtılmış bir binanın yıllık toplam maliyetini etkileyen iki parametre vardır. Bunlar yalıtım ve yakıt maliyetleridir. Binalarda yalıtım kalınlığının artmasına bağlı olarak ısı kaybı veya kazancı azalır. Bu yüzden birim alanı ısıtmak ya da soğutmak için gerekli enerji ihtiyacı azalır ve toplam maliyet düşer. Ancak yalıtım kalınlığının gereğinden fazla artırılması yalıtım maliyetini arttırır. Bu durumda yüksek yalıtım maliyeti nedeniyle belli bir noktadan sonra toplam maliyet artmaya başlar. Toplam maliyetin minimum olduğu bu nokta optimum yalıtım kalınlığı değeri olarak ifade edilmektedir. Şekil 3’te Malatya’da sadece ısıtma ve sadece soğutma yükleri için yalıtım

kalınlığı değişiminin yıllık maliyet üzerindeki etkileri verilmiştir. Her iki grafik incelendiğinde, yalıtım kalınlığının artmasıyla birlikte yakıt ve yalıtım maliyetlerinin birleşiminden oluşan toplam maliyetin hem ısıtma hem de soğutma yükü için de azaldığı gözlemlenmektedir. Bu düşüşün nedeni yalıtım kalınlığının artmasıyla birlikte birim alandan gerçekleşen ısı kaybı veya kazancının azalmasıdır. Ancak yalıtım kalınlığının lüzumundan fazla artırılması yalıtım maliyetlerini

arttırmaktadır. Bu nedenle toplam maliyet artmaya başlamaktadır. Toplam maliyetin minimum olduğu nokta optimum yalıtım kalınlığı değeridir.



Şekil 3. Malatya için ısıtma ve soğutma yüklerinde oluşan maliyetler ve yalıtım kalınlığı ilişkisi



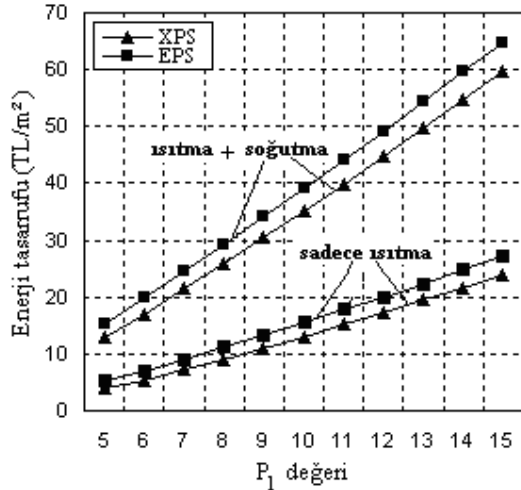
Şekil 4. Farklı şehirlerde oluşan enerji tasarruflarının karşılaştırılması (yalıtım malzemesi olarak XPS kullanıldığında)

Şekil 4'te seçilen şehirlerde sadece ısıtma ve ısıtma ve soğutma yüklerinin toplamından elde edilen enerji tasarrufları verilmiştir. Enerji tasarruflarını etkileyen en önemli parametre bölgenin

derece gün sayısıdır. Bu değere bağlı olarak bir bölgede elde edilen enerji tasarrufu, ısıtma ve soğutma yüklerine göre değişiklik gösterir. Örneğin coğrafi konum itibarıyla sıcak bir

bölgede bulunan Aydın'da sadece ısıtma için elde edilen enerji tasarrufu, bu şehrin kış aylarında ılıman bir iklime sahip olması nedeniyle oldukça düşüktür. Buna rağmen aynı şehir için ısıtma ve soğutma yüklerinin toplamından elde edilen enerji tasarrufu soğutma yükünün fazlalığı nedeni ile daha yüksek bir değerde hesaplanmaktadır. Soğuk bir iklim bölgesinde bulunan Sivas için hesaplanan enerji tasarrufuna yönelik grafik, bu ilin ısıtma derece gün sayısının yüksek, soğutma derece gün sayısının düşük olması nedeniyle her iki değerlendirme için de çok yakın sonuçlar ortaya çıkarmıştır. Yalıtım malzemesi olarak XPS kullanıldığında en yüksek enerji tasarrufu ısıtma ve soğutma yüklerinin toplamı için Sivas'ta 53.45 TL/m² olarak bulunurken, En düşük enerji tasarrufu sadece ısıtma yükü için Aydın'da 12.08 TL/m² olarak bulunmuştur. Dış duvarda yalıtım malzemesi olarak EPS kullanılması durumunda en yüksek enerji tasarrufu ısıtma ve soğutma yüklerinin toplamı için Sivas'ta 58.28 TL/m² olarak bulunurken, en düşük enerji tasarrufu sadece ısıtma yükü için Aydın'da 14.44 TL/m² olarak bulunmuştur.

Farklı yalıtım malzemeleri için P_1 değerinin enerji tasarrufu üzerindeki etkileri Şekil 5'te gösterilmiştir. P_1 değerinin yüksek olması ortalama yakıt fiyatlarının yüksek olduğunun bir ifadesidir. Bu yüzden P_1 değerinin artmasıyla birlikte yalıtım uygulamasından, her bir yalıtım malzemesi için daha fazla enerji tasarrufu sağlanacaktır. Grafikte, yalıtım malzemesi ve P_1 değerine bağlı olarak enerji tasarruflarının 3.82 TL/m² ile 64.78 TL/m² arasında olduğu görülmektedir.



Şekil 5. Farklı yalıtım malzemeleri için P_1 değerinin enerji tasarrufuna etkisi (Aydın için)

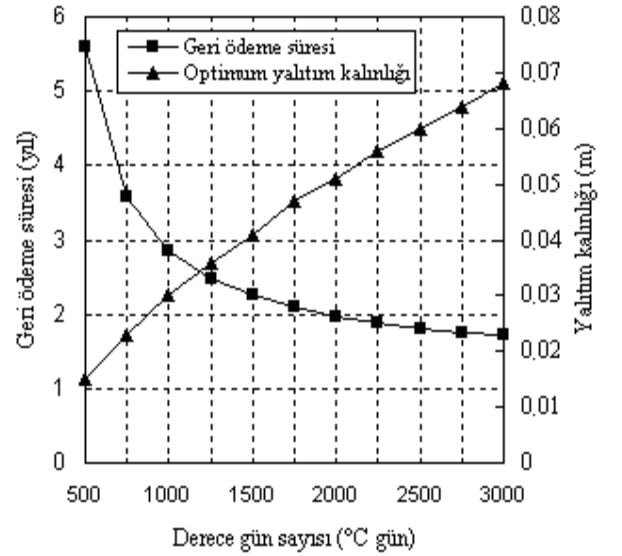
Seçilen şehirlerde, farklı yalıtım malzemeleri için hesaplanan optimum yalıtım kalınlıkları ve enerji tasarrufları Tablo 4'te verilmiştir. Tabloda enerji tasarruflarının yalıtım malzemesine bağlı olarak sadece ısıtma yükü için 12.08 TL/m² ve 57.55 TL/m², ısıtma ve soğutma yüklerinin toplamında ise 32.92 TL/m² ve 58.28 TL/m² arasında değiştiği görülmektedir. En yüksek enerji tasarrufu yalıtım malzemesi olarak EPS kullanıldığında Sivas'ta elde edilirken, en düşük enerji tasarrufu yalıtım malzemesi olarak XPS kullanıldığı zaman Aydın'da hesaplanmıştır.

Tablo 4. Farklı yalıtım malzemeleri ve şehirler için hesaplanan optimum yalıtım kalınlıkları ve enerji tasarrufları

Yalıtım	Şehir	(ısıtma)	(ısıtma+soğ.)	(ısıtma)	(ısıtma+soğ.)
---------	-------	----------	---------------	----------	---------------

		Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Enerji tasarrufu (TL/m ²)	Enerji tasarrufu (TL/m ²)
XPS	Aydın	0.036	0.059	12.08	32.92
	Edirne	0.056	0.06	29.52	34.33
	Malatya	0.06	0.068	33.9	44.19
	Sivas	0.074	0.075	52.74	53.45
EPS	Aydın	0.05	0.08	14.44	36.73
	Edirne	0.076	0.082	33.14	38.23
	Malatya	0.082	0.092	37.77	48.6
	Sivas	0.1	0.1	57.55	58.28

Şekil 6'da derece gün sayısının optimum yalıtım kalınlığı ve geri ödeme süreleri üzerindeki etkileri görülmektedir. Geri ödeme süresi yapılan yalıtım maliyetinin yakıt tasarrufu ile beraber kendisini ödeyeceği süre olarak tanımlanabilir. Geri ödeme süresi, yalıtımsız binanın toplam enerji maliyetinin yıllık toplam maliyet farkına bölünmesi ile elde edilir. Derece gün sayısının (IDG veya SDG) artması ile geri ödeme süresi azalır, optimum yalıtım kalınlığı ise artar. Derece gün sayısı düşük olan sıcak iklimlerde daha az yalıtım kalınlığına ihtiyaç duyulur [17].



Şekil 6. Derece gün sayısının geri ödeme süresi ve optimum yalıtım kalınlığı üzerindeki etkileri (Aydın için yalıtım malzemesi olarak XPS kullanıldığında)

Çalışmanın sonucunda belirlenen geri ödeme süreleri Tablo 5'te verilmiştir. Geri ödeme süreleri incelendiğinde en düşük geri ödeme süresinin Sivas'ta 1.5 yıl, en yüksek geri ödeme süresinin ise Aydın'da 2.52 yıl olarak belirlendiği görülmektedir. Bu durum özellikle yüksek soğutma derece gün sayısına sahip bölgelerde, optimum yalıtım kalınlığı tespitinin ısıtma ve soğutma yüklerinin toplamına göre belirlenmesi gereğini vurgulamaktadır.

Tablo 5. Farklı yalıtım malzemeleri ve şehirler için hesaplanan geri ödeme süreleri

		Sadece ısıtma	Isıtma+soğutma
Yalıtım	Şehir	Geri ödeme süresi (yıl)	Geri ödeme süresi (yıl)

XPS	Aydın	2.52	1.84
	Edirne	1.89	1.82
	Malatya	1.82	1.71
	Sivas	1.64	1.64
EPS	Aydın	2.11	1.65
	Edirne	1.69	1.63
	Malatya	1.64	1.55
	Sivas	1.5	1.5

Günümüzde enerjiye olan hızlı talep ve tüketim neticesinde birçok ülkenin yaşadığı enerji darboğazları enerji tasarrufunun önemini göstermiştir. Özellikle enerji ihtiyacının büyük kısmını ithalat yoluyla karşılayan ülkelerde konutlarda yapılacak yalıtım uygulamalarıyla enerjiden önemli ölçüde tasarruf sağlanabilir. Bu çalışmada, Türkiye'nin dört farklı iklim bölgesinde bulunan Aydın, Edirne, Malatya ve Sivas şehirleri için hem sadece ısıtma hem de ısıtma ve soğutma yüklerinin toplamına göre oluşan optimum yalıtım kalınlıkları, enerji tasarrufları ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Çalışmanın sonuçları, yalıtım malzemesi ve seçilen ile bağlı olarak optimum yalıtım kalınlıklarının 0.036–0.1m arasında, enerji tasarruflarının 12.08 TL/m² ve 58.28 TL/m² arasında ve geri ödeme sürelerinin 1.5–2.52 yıl arasında değiştiğini göstermiştir.

Semboller ve Kısaltmalar

C_e	: Elektrik fiyatı (TL/kWh)
C_f	: Doğalgaz fiyatı (TL/m ³)
C_t	: Toplam maliyet (TL/m ² -yıl)
C_y	: Yalıtım malzemesinin birim metre küp fiyatı (TL/m ³)
C_{yal}	: Birim yüzey için yalıtım maliyeti (TL/m ²)
COP	: Soğutma etkinlik katsayısı
d	: Enflasyon oranı
$E_{A,i}$	: Yıllık ısıtma yükü (J/m ² -yıl)
$E_{A,s}$	: Yıllık soğutma yükü (J/m ² -yıl)
H_u	: Yakıt alt ısı değeri (J/m ³)
IDG	: Isıtma derece gün sayısı (°C gün)
i	: Faiz oranı
k	: Yalıtım malzemesi ısı iletim katsayısı (W/mK)
R_o	: Dış ortam ısı direnci (m ² K/W)
R_i	: İç ortam ısı direnci (m ² K/W)
R_{yal}	: Yalıtım malzemesi ısı direnci (m ² K/W)
R_d	: Yalıtımsız duvar tabakasının ısı direnci (m ² K/W)
R_{td}	: Yalıtımsız duvar tabakasının toplam ısı direnci (m ² K/W)
S	: Enerji tasarrufu (TL/m ²)
SDG	: Soğutma derece gün sayısı (°C gün)
U	: Toplam ısı geçiş katsayısı (W/m ² K)
q_A	: Birim alandan gerçekleşen yıllık ısı kaybı veya kazancı (J/m ² -yıl)
x	: Yalıtım malzemesi kalınlığı (m)
η	: Isıtma sistemi verimi

Kaynaklar

1. Dombaycı ÖA. Degree-days maps of Turkey for various base temperatures. Energy, vol. 34, pp: 1807-1812, 2009.
2. Özkan DB, Onan C. Optimization of insulation thickness for different glazing areas in buildings for various climatic regions in Turkey. Applied Energy vol. 81, pp. 1331-1342, 2011.
3. Şişman N., Kahya E., Aras N., Aras H., Determination of optimum insulation thicknesses of the external walls and

- roof (ceiling) for Turkey's different degree-day regions. Energy Policy, vol. 35, pp. 5151–5155, 2007.
4. Dombaycı ÖA, Gölcü M, Pancar Y. Optimization of insulation thickness for external walls using different energy sources. Applied Energy vol. 83 pp. 921-928. 2006.
5. Bolattürk A. Determination of optimum insulation thickness for building walls with respect to various fuels and climate zones in Turkey. Applied Thermal Engineering, vol. 26, pp. 1301-1309, 2006.
6. Daouas N. A study on optimum insulation thickness in walls and energy savings in Tunisian buildings based on analytical calculation of cooling and heating transmission loads. Applied Energy, Vol. 88, pp. 156-164, 2011.
7. Çomaklı K, Yüksel B. Optimum insulation thickness of external walls for energy saving. Applied Thermal Engineering, vol. 23, pp. 473-479, 2003.
8. Hasan A. Optimizing insulation thickness for buildings using life cycle cost. Applied Energy, vol. 63, pp. 115-24. 1999.
9. Deniz E. Comparative examination of vacuum insulation panels and classical insulation materials used for external insulation of buildings. Energy Education Science and Technology, Part A, Energy Science and Research. 28 (2), pp: 799-810, 2012.
10. Özel M., Pıhtılı K., Isıtma ve soğutma derece-gün değerlerini kullanarak optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi, Sigma, cilt 26 (3), 191-197, 2008.
11. Ucar A, Balo F. Determination of the energy savings and the optimum insulation thickness in the four different insulated exterior walls. Renewable Energy, vol. 35, pp. 88-94, 2010.
12. Mahlia TMI., Iqbal A. Cost benefits analysis and emission reductions of optimum thickness and air gaps for selected insulation materials for building walls in Maldives. Energy, 35, pp: 2242-2250, 2010.
13. Büyükalaca O., Bulut H., Yılmaz T. Alaysis of variable-base heating and cooling degree-days for Turkey. Applied Energy, 69, pp: 269283, 2001.
14. Balo F., Uçar A., İnallı M. Yapıların dış duvarlarında optimum yalıtım kalınlığının üç farklı metodla tespiti. X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi. 273-286. İzmir. 2011
15. Daouas N. A study on optimum insulation thickness in walls and energy savings in Tunisian buildings based on analytical calculation of cooling and heating transmission loads. Applied Energy, 88, pp: 156-164, 2011.
16. Yu J., Yang C., Tian L., Dan L. A study on optimum insulation thicknesses of external walls in hot summer and cold winter zone of China. Applied Energy, 86, pp: 2520-2529, 2009.
17. Gölcü M., ÖA Dombaycı., Abalı S. Denizli için optimum yalıtım kalınlığının enerji tasarrufuna etkisi ve sonuçları. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 21(4), pp: 639-644, 2006.

