

BİNA DIŞ DUVARLARININ OPTİMUM YALITIM KALINLIKLARI İÇİN DİNAMİK YAKLAŞIM VE MALİYET ANALİZİ

Meral ÖZEL

Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, 23119, Elazığ
mozel@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 19.02.2008 ; Kabul/Accepted: 17.08.2008)

ÖZET

Bu çalışmada bina dış duvarlarına uygulanan yalıtımın optimum kalınlığı dinamik şartlar altında araştırılmıştır. Bunun için yıllık ısıtma yükü kararlı periyodik şartlar altında implicit sonlu farklar metodunu kullanarak hesaplanmıştır. Hesaplamalar Elazığ ilinin dış ortam şartları göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Yalıtım malzemesi olarak ekstrüde polistren ve yakıt olarak ithal kömür, fuel-oil ve doğal gaz kullanılmıştır. Bu durumda, dıştan yalıtımlı güneye bakan bir duvar için maliyet analizi yapılmış ve her bir yakıt türü için optimum yalıtım kalınlıkları, enerji tasarrufları ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Sonuç olarak, Elazığ ili için optimum yalıtım kalınlığı 0.040 m olarak doğal gaz yakıtı kullanıldığı zaman elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yalıtım kalınlığı; bina duvarı; yıllık ısıtma yükü; maliyet analizi.

DYNAMIC APPROACH AND COST ANALYSIS FOR OPTIMUM INSULATION THICKNESSES OF THE BUILDING EXTERNAL WALLS

ABSTRACT

The optimum thickness of insulation applying on external walls of building was investigated under dynamic thermal conditions. Therefore, the yearly heating transmission load was calculated by using an implicit finite differences method under steady periodic conditions. Calculations were done by considering external environment conditions of Elazığ city. Extruded polystyrene was used as the insulation material, and coal, fuel-oil and natural gas were used as fuel. Then, cost analysis was done for a south facing wall insulated on outside. The optimum insulation thicknesses, the energy savings and payback periods were calculated for every fuel type. As result, optimum insulation thickness for Elazığ was obtained to be 0.040 m when natural gas was used.

Key words: Insulation thickness; building wall; yearly heating load, cost analysis.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Teknolojinin gelişmesi, sanayinin ilerlemesi ve dünya nüfusunun artışı enerjiye olan ihtiyacı artırmaktadır. Bu talebin sürekli artması fosil yakıt tüketimini ve dolayısıyla çevre kirliliğini beraberinde getirmektedir. Ülkemizde enerjinin % 35-40' ı binalarda tüketilmekte ve bu rakamın % 85' i ise binaların ısıtılması amacıyla kullanılmaktadır [1]. Bunun için bina dış kabuğunun uygun yalıtım malzemeleriyle yalıtılması enerjinin korunumu açısından önemlidir.

Yalıtım kalınlığının artırılması binalardaki ısı kazanç ve kayıplarını azaltmaktadır. Ancak, kalınlığın artması yalıtımın maliyetini artıracığı için optimum

kalınlığın belirlenmesi gerekmektedir. Gölcü vd.[2] Denizli' deki binalarda, ısıtma için farklı enerji kaynaklarının kullanılması halinde dış duvarlar için optimum yalıtım kalınlığını derece-gün sayısını esas alarak hesaplamışlardır. Bolattürk [3] Isparta bölgesindeki binaların duvar ve çatı döşemeleri için optimum yalıtım 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 şehir için ısıtma derece-gün fikrini kullanarak optimum yalıtım kalınlıkları ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır [4]. Yine aynı yazarın bir diğer çalışmasında binaların dış duvarlarındaki optimum yalıtım 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 [5]. Kaynaklı [6] Bursa' daki binaların dış duvarları için 1992' den 2005' e kadar dış hava sıcaklık değerlerini dikkate alarak ısıtma mevsimi için derece-saat değerlerini hesaplayarak optimum yalıtım kalınlığını belirlemiştir. Çomaklı ve Yüksel [7] Erzurum, Kars ve Erzincan gibi Türkiye'nin en soğuk üç şehri için optimum yalıtım kalınlığını derece gün sayılarını esas alarak araştırmışlardır. Hasan [8] duvarların optimum kalınlığını bulmak için ömür maliyet analizini ve derece-gün yöntemini kullanmıştır. Sonuç olarak duvar yapısının polistren yalıtımı bağlı olarak geri ödeme sürelerinin polistren yalıtımı için 1-1.7 yılları ve taş yünü yalıtımı için ise 1.3-2.3 yılları arasında değiştiğini göstermiştir. Sisman vd. [9] dört farklı derece gün değerlerine sahip olan İzmir, Bursa, Eskişehir ve Erzurum illeri için dış duvarlar ve çatının optimum yalıtım kalınlıklarını belirlemiştir. Aksoy ve Keleşoğlu [10] bina kabuğu yüzey alanı ve yalıtım kalınlığının ısıtma enerjisi üzerindeki etkisini görmek amacıyla, dar cepheleri kuzey-güney, uzun cepheleri doğu-batı yönünde konumlandırılmış penceresiz bir yapıdaki ısıtma enerjisi miktarı, geri dönüşüm süresi ve tasarruf oranlarını hesaplamışlardır. Sonuç olarak yalıtım kalınlığına bağlı olarak %19-%77 arasında değişen enerji tasarrufu elde etmişlerdir. Al-Sanea vd. [11] Riyad' ın iklim şartlarını kullanarak dinamik şartlar altında elektrik tarifesinin bina duvarlarındaki optimum yalıtım kalınlığına olan etkisini araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, değişik elektrik tarifeleri için, minimum toplam maliyetin optimum yalıtım kalınlığı ile lineer olarak değiştiğini göstermişlerdir.

Binaların ısı performansının doğru olarak değerlendirilebilmesi için dinamik durumda incelenmeleri gerekmektedir. Bu yüzden bu çalışmada, yıllık ısıtma yükleri kararlı periyodik şartlar altında implicit sonlu farklar metodu kullanılarak hesaplanmış ve maliyet analizi yöntemiyle optimum yalıtım kalınlığı, Elazığ ili için üç farklı yakıt türüne göre belirlenmiştir.

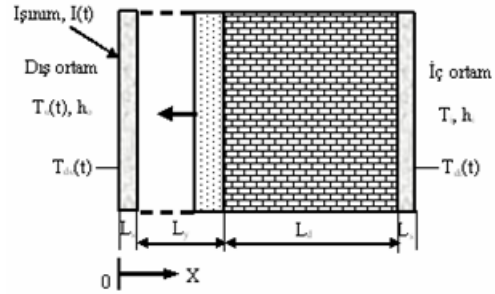
2. MATEMATİKSEL METOD (MATHEMATICAL METHOD)

Bu çalışmada, dıştan yalıtımlı bir duvarın optimum yalıtım kalınlığını hesaplamak için, Şekil 1.' de görüldüğü gibi dış ve iç yüzeyinde 2 cm lik sıva bulunan 20 cm kalınlığında tuğla duvarın dış yüzeyindeki yalıtım kalınlığı 10 cm oluncaya kadar artırılan dört katmanlı bir duvar yapısı ele alınıyor.

Şekil 1'deki dıştan yalıtımlı bir duvardan x doğrultusunda ısı geçişi için zamana bağlı bir boyutlu ısı iletim denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\rho \cdot c_p \frac{\partial T(x,t)}{\partial t} = k \frac{\partial^2 T(x,t)}{\partial x^2} \quad (1)$$

Burada ρ , c_p ve k sırasıyla yapı elemanının yoğunluğu, özgül ısı ve ısı iletim katsayısıdır.



Şekil 1. Duvar yapısı ve sınır şartları (Wall structure and boundary conditions)

Dış ve iç duvar yüzeylerindeki taşınım sınır şartları ile başlangıç şartı ise sırasıyla aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$-k \left(\frac{\partial T_y}{\partial x} \right)_{x=0} = h_o (T_e - T_{do}), \quad (2)$$

$$-k \left(\frac{\partial T_d}{\partial x} \right)_{x=L} = h_i (T_{di} - T_i), \quad (3)$$

$$T(x,0) = T_b \quad (4)$$

Yukarıdaki eşitliklerde, h_o ve h_i sırasıyla yapının dış ve iç yüzeyindeki ısı taşınım katsayılarıdır. T_{do} ve T_{di} ise sırasıyla yapı elemanının dış ve iç yüzey sıcaklıklarıdır. T_b başlangıç sıcaklığı ve T_i iç ortam sıcaklığıdır. T_e ise eşdeğer çevre sıcaklığı olarak adlandırılır ve dış hava sıcaklığıyla güneş ışınımı şiddetini birlikte ifade edebilen ve gün boyunca periyodik bir değişim gösteren bir teorik sıcaklık olup dik yüzeyler için aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır [12]:

$$T_e = T_o + \frac{\alpha I}{h_o} \quad (5)$$

Burada T_o dış hava sıcaklığı ve α opak yapının yutma oranıdır. I ise toplam güneş ışınımı şiddeti olup dik duvar yüzeyleri için aşağıdaki gibi ifade edilmektedir [13].

$$I = R_d I_d + (I_y + I_a \rho_y) / 2 \quad (6)$$

Burada, I_d , I_y ve I_a sırasıyla yatay yüzeye direk, yayılı ve yansıtılarak gelen ışınımlardır. ρ_y yerin yansıtma oranı olup 0.2 olarak seçilmiştir. R_d parametresi ise yine dik yüzeyler için aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

$$R_d = \frac{\cos \delta \sin \phi \cos \gamma \cos \omega + \cos \delta \sin \gamma \sin \omega - \sin \delta \cos \phi \cos \gamma}{\cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta} \quad (7)$$

Burada δ deklinasyon açısı, ϕ enlem açısı, γ yüzey azimut açısı olup eğik düzlemin yatay düzlem içinde konumunu verir. Güneye bakan bir eğik düzlem için $\gamma = 0^\circ$ dir. Güneyden doğuya doğru, kuzeye kadar negatif (-) ve güneyden batıya doğru, kuzeye kadar pozitif (+) alınır, yani $-180^\circ < \gamma < +180^\circ$ değerlerini alır. ω ise saat açısı olup 15 derece bir saate eşdeğerdir. Öğlen saatinde $\omega = 0^\circ$ dir. Saat açısı öğleden önce negatif (-) öğleden sonra ise pozitif (+) olarak alınır. (6) ve (7) eşitliklerindeki parametrelerin ve açıların hesap yöntemi [13] nolu kaynakta ayrıntılı olarak mevcuttur.

Diferansiyel denklem ile sınır şartları implicit sonlu fark yaklaşımını kullanarak çözülmüş ve yapı içerisindeki sıcaklık dağılımı bulunmuştur. Yapı elemanının aynı eşdeğer sıcaklık değişimine her periyot (24 h) sonunda tekrar maruz kaldığı dikkate alınarak sıcaklık dağılımının sanki sürekli hale ulaşması sağlanmıştır [14]. Bu durumda iç ortama transfer edilen anlık ısı akısı miktarı ise elde edilen duvar iç yüzey sıcaklıklarından faydalanarak aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$q_i = h_i(T_{di} - T_i) \quad (8)$$

3. MALİYET ANALİZİ (COST ANALYSIS)

Yalıtılmış bir binanın toplam ısıtma maliyeti aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanmaktadır.

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

Burada C_y ve L_y sırasıyla, yalıtımın fiyatı (YTL/m³) ve kalınlığıdır. C_A birim yüzey için yıllık ısıtma maliyeti (YTL/m² yıl) olup aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$C_A = \frac{Q C_F}{\eta H_u} \quad (10)$$

Burada Q ısıtma mevsimi boyunca duvarın birim yüzeyinden olan toplam ısı kaybıdır. C_F , H_u ve η sırasıyla yakıt fiyatı (YTL/m³, YTL/kg), yakıtın alt ısı değeri (J/m³, J/kg) ve ısıtma sisteminin verimidir. 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.

$$PWF = \frac{(1+r)^N - 1}{r(1+r)^N}, \quad \left\{ \begin{array}{l} i > g \quad r = \frac{i-g}{1+g} \\ i < g \quad r = \frac{g-i}{1+i} \end{array} \right\} \quad (11)$$

$$PWF = \frac{1}{1+i}, \quad i = g \quad (12)$$

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME (RESULTS AND EVALUATION)

Bu çalışmada, enerjinin korunumu açısından optimum yalıtım kalınlığı dinamik şartlar altında incelenmiştir. Bu amaçla yıllık ısıtma yükleri kararlı periyodik şartlar altında implicit sonlu farklar metodunu kullanarak MATLAB' da hazırlanmış bir bilgisayar programı yardımı ile hesaplanmış ve maliyet analizini kullanarak optimum yalıtım kalınlığı Elazığ ili için belirlenmiştir. Bu yüzden, ısıtma mevsimindeki her ayın 15' i temsili bir gün olarak seçilmiş ve anlık ısı akıları bulunmuştur. Daha sonra ise, günlük toplam ısı geçiş yükünü hesaplamak için anlık ısı akıları 24 h periyodu üzerinden entegre edilmiştir. Yıllık ısıtma yükü ise günlük toplam ısı geçiş yüklerini toplayarak elde edilmiştir. Hesaplamalar, Elazığ' da dış ortam şartları göz önünde bulundurularak ve güneye bakan duvar için yapılmıştır. Hesaplamalar sırasında kullanılan dış ortam sıcaklıkları meteorolojiden alınmış ve iç ortam sıcaklığı ise 20 °C olarak sabit kabul edilmiştir. Opak yapının yutma oranı $\alpha = 0.9$, içteki ve dıştaki ısı transfer katsayısı ise sırasıyla $h_i = 6$ W/m²K ve $h_o = 22$ W/m²K olarak alınmıştır. Duvar malzemesi olarak tuğla, yalıtım malzemesi olarak ise Ekstrüde polistren kullanılmıştır. Kullanılan malzemelerin özellikleri Tablo 1' de verilmiştir.

Tablo 1. Malzeme özellikleri (Material properties)

Yapı ve Yalıtım Malzemeleri	ρ (kg/m ³)	c_p (J/kgK)	k (W/mK)
Tuğla	1800	840	0.62
Ekstrüde polistren	35	1213	0.029
İç ve Dış sıva	1865	840	0.72

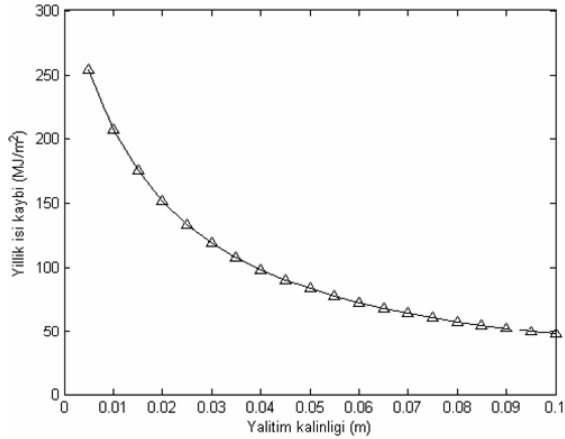
Çalışmada üç farklı yakıt türü kullanılmıştır. Bu durumda kullanılan parametreler ve değerleri Tablo 2' de verilmiştir.

Yukarıdaki parametreler göz önüne alınarak gerekli hesaplamalar yapılmış ve aşağıda grafikler halinde sunulmuştur.

Şekil 2 artan yalıtım kalınlığına göre yıllık ısı kaybının değişimini göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi yalıtım kalınlığının artması ısı kaybını azaltmıştır. Ancak ısı kaybı ve buna bağlı olarak ısıtma yükü ve yakıt maliyeti artan yalıtım kalınlığı ile azalırken yalıtımın maliyeti onun kalınlığı ile lineer olarak artacaktır. Bu durumda toplam maliyeti minimum yapacak optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi gerekir. Yalıtım kalınlığına göre

Tablo 2. Hesaplamalarda kullanılan parametreler (Parameters used in the calculation) [15-17]

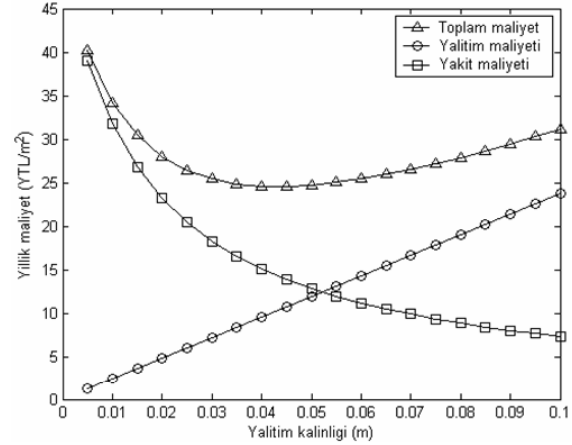
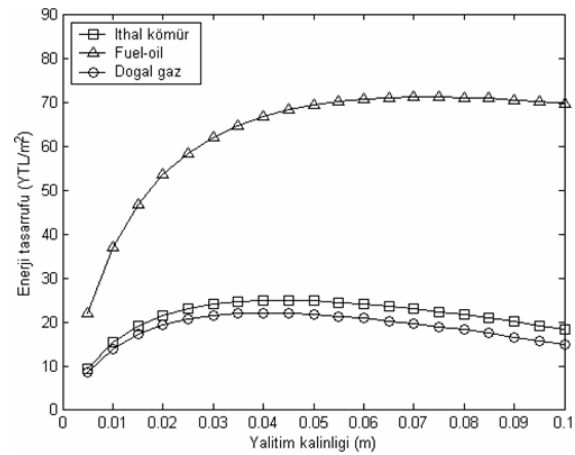
Parametre	Değeri
Yakıt	
İthal kömür	
Fiyatı, (C_F)	0.4000 YTL/kg
Alt ısı değeri, (H_u)	$29.307 \cdot 10^6$ J/kg
Verimi, (η)	% 65
Fuel-oil	
Fiyatı, (C_F)	1.5400 YTL/kg
Alt ısı değeri, (H_u)	$41.345 \cdot 10^6$ J/kg
Verimi, (η)	% 80
Doğal gaz	
Fiyatı, (C_F)	0.6177 YTL/m ³
Alt ısı değeri, (H_u)	$34.541 \cdot 10^6$ J/m ³
Verimi, (η)	% 93
Yalıtım (Ekstrüde polistren)	
Fiyatı, (C_y)	238 YTL/m ³
Faiz oranı, (i)	% 17.50
Enflasyon oranı, (g)	% 10.72

**Şekil 2.** Yalıtım kalınlığına göre yıllık ısı kaybının değişimi (Variation of yearly heat loss to insulation thickness)

maliyetlerin değişimi ithal kömür için Şekil 3'te görülmektedir.

Şekil 3'te görüldüğü gibi toplam maliyet belirli bir değere kadar azalmakta ve bu değerden sonra artmaktadır. Toplam maliyetin minimum olduğu değer optimum yalıtım kalınlığını vermektedir.

Şekil 4'te ise farklı yakıt türleri için yalıtım kalınlığının yıllık tasarrufa etkisi görülmektedir.

**Şekil 3.** Yalıtım kalınlığına göre maliyetlerin değişimi (Variation of cost to insulation thickness)**Şekil 4.** Farklı yakıt türleri için yalıtım kalınlığının enerji tasarrufuna etkisi (Effect of insulation thickness on energy saving for different fuel types)

Şekilden görüldüğü gibi en fazla yıllık tasarruf fuel-oil yakıtının kullanılması halinde görülürken en az tasarrufta doğal gaz için elde edilmiştir. Yıllık tasarruf yakıtın maliyeti ile doğru orantılıdır. Dolayısıyla yüksek maliyetli yakıt kullanıldığında enerji tasarrufa daha önemli hale gelmektedir.

Son olarak, ele alınan çalışma sürekli rejim şartlarının dikkate alındığı derece-gün yöntemi ile mukayese edilmiştir. Bunun için, Elazığ' da farklı yakıt türlerine göre optimum yalıtım kalınlığı, geri ödeme süresi ve yıllık tasarruf derece-gün yöntemine göre ve bu çalışmada ele alınan dinamik yöntemine göre hesaplanarak elde edilen sonuçlar Tablo 3'te

Tablo 3. Elazığ için farklı yakıt türlerine göre elde edilen sonuçlar (Results obtained to different fuel types for Elazığ)

Yakıt türü	Dinamik Yöntem			Derece-Gün Yöntemi		
	Opt. yalıtım kalınlığı (m)	Yıllık tasarruf (YTL/m ²)	Geri ödeme süresi (yıl)	Opt. yalıtım kalınlığı (m)	Yıllık tasarruf (YTL/m ²)	Geri ödeme süresi (yıl)
İthal kömür	0.045	24.91	1.98	0.048	32.55	1.83
Fuel oil	0.075	71.15	1.54	0.080	89.94	1.47
Doğal gaz	0.040	21.98	2.06	0.044	28.86	1.89

verilmiştir. Tablodan görüldüğü gibi dinamik yöntemle elde edilen sonuçların derece-gün yöntemi ile elde edilen sonuçlar ile uyumlu olduğu görülmektedir. Ancak derece-gün yöntemi ile hesaplamaların yapılması durumunda, optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık tasarruf değerlerinde bir miktar artış olurken geri ödeme sürelerinde ise bir azalma olmuştur. Ayrıca, Tablo 3'ten görüldüğü gibi ithal kömür ile doğal gazın sonuçları birbirine yakın çıkmaktadır. Bunun sebebi ise bu iki yakıtın maliyetlerinin birbirine yakın olmasından kaynaklanmaktadır. Fuel-oil yakıtından elde edilen yıllık tasarruf diğer iki yakıt türüne göre hemen hemen 3 kat daha fazla olmuştur. En düşük geri ödeme süresi ise yine Fuel-oil yakıtı için elde edilmiştir.

5. SONUÇ (RESULT)

Bu çalışmada, Elazığ ili için optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu ve geri ödeme süresi üç farklı yakıt türü için dinamik yaklaşım ile hesaplandı. Sonuç olarak doğal gaz, ithal kömür ve fuel-oil için optimum yalıtım kalınlıkları sırasıyla 0.04, 0.045 ve 0.075 m olarak elde edilirken yıllık tasarruf isesırasıyla 21.98, 24.91 ve 71.15 YTL/m² olarak hesaplanmıştır. Yakıt maliyetinin artması hem optimum yalıtım kalınlığının hem de yıllık tasarrufun artmasına neden olmaktadır. Bu durumda, en fazla yıllık tasarruf fuel-oil yakıtının kullanılması halinde elde edilirken, yalıtım kalınlığı açısından en uygun sonucun ise doğal gaz yakıtının kullanılması halinde elde edildiği görülmüştür.

SEMBOLLER (NOMENCLATURE)

α	:Dış yüzeyin güneş ışınımını yutma oranı
c_p	:Özgül ısı, (J/kgK)
C_A	:Birim yüzey için yıllık ısıtma maliyeti, (YTL/m ² yıl)
C_F	:Yakıt fiyatı, (YTL/kg)
C_y	:Yalıtımın fiyatı, (YTL/m ³)
g	:Enflasyon oranı
h_i	:İçteki taşınım katsayısı, (W/m ² °C)
h_o	:Dıştaki taşınım katsayısı, (W/m ² °C)
H_u	:Yakıtın alt ısıl değeri, (J/m ³)
I	:Eğik düzleme gelen anlık tüm güneş ışınımı, (W/m ²)
I_d	:Yatay yüzeye gelen direkt güneş ışınımı, (W/m ²)
I_y	:Yatay yüzeye gelen yayılı güneş ışınımı, (W/m ²)
I_a	:Yatay yüzeye yansiyarak gelen güneş ışınımı, (W/m ²)
i	:Faiz oranı
k	:Malzemenin ısı iletim katsayısı, (W/mK)
L_y	:Yalıtımın kalınlığı, (m)
PWF	:Şimdiki değer faktörü
T_e	:Eşdeğer çevre sıcaklığı, (°C)
T_i	:İç ortam sıcaklığı, (°C)
T_o	:Dış ortam sıcaklığı, (°C)

T_{di}	:İç duvar sıcaklığı, (°C)
T_{do}	:Dış duvar sıcaklığı, (°C)
δ	:Deklinasyon açısı, (derece)
η	:Isıtma sisteminin verimi
ϕ	:Enlem açısı, (derece)
γ	:Yüzey azimut açısı, (derece)
ω	:Saat açısı, (derece)
Q	:Duvarın birim yüzeyinden olan toplam ısı kaybı, (W/m ²)
ρ_y	:Yerin yansıtma oranı
ρ	:Yoğunluk, (kg/m ³)

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- <http://www.eie.gov.tr/>
- Gölcü, M., Dombaycı, Ö. A. ve Abalı S., "Denizli için Optimum Yalıtım Kalınlığının Enerji tasarrufuna Etkisi ve Sonuçları" **Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi**, Cilt 21, No 4, 639-644, 2006.
- Bolattürk, A., "Binalarda Optimum Yalıtım Kalınlıklarının Hesabı ve Enerji Tasarrufundaki Rolü", **14. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi**, Isparta,41-47, 3-5 Eylül 2003.
- 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.
- 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**, Vol. 43, pp. 1055-1064, 2008.
- Kaynaklı, O., "A Study on residential heating energy requirement and optimum insulation thickness", **Renewable Energy**, Vol. 36, pp. 1164-1172, 2008.
- Çomaklı, K. and Yüksel, B., "Optimum insulation thickness of external walls for energy saving", **Applied Thermal Engineering**, Vol. 23, pp. 473-479, 2003.
- Hasan, A., "Optimizing insulation thickness for buildings using life cycle cost", **Applied Energy**, Vol. 63, pp. 115-124, 1999.
- Sisman, N., Kahya, E., Aras, N. and 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.
- Aksoy, U. T. ve Keleşoğlu, Ö., "Bina kabuğu yüzey alanı ve yalıtım kalınlığının ısıtma maliyeti üzerinde etkileri" **Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi**, Cilt 22, No 1, 103-109, 2007.
- 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**, Vol. 82, pp. 313-330, 2005.

12. Threlkeld, J.L., **Thermal Environmental Engineering**, Prentice-Hall, New Jersey, 1970.
13. Kılıç, A. and Öztürk, A., **Güneş Enerjisi**, Kipaş Dağıtımçılık, İstanbul, 1983.
14. Özel, M. ve Pıhtılı, K., “Duvar Yönünün Yalıtım Kalınlığına Etkisi”, **Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi**, 22(1), sayfa: 95-101, Mart 2007.
15. <http://www.birimfiyat.com>
16. <http://www.dosider.org>
17. <http://www.tcmb.gov.tr>