

YAPILARIN DIŞ DUVARLARINDA OPTİMUM YALITIM KALINLIĞININ ÜÇ FARKLI METODLA TESPİTİ

Figen BALO
Aynur UÇAR
Mustafa İNALLI

ÖZET

Binalarda ısı enerjisi tasarrufu, ancak doğru uygulanmış bir ısı yalıtımı ile sağlanabilmektedir. Kullandığı enerjinin önemli bir kısmını dışarıdan sağlayan ülkelerde enerjinin verimli olarak kullanılması ve böylece enerjiden tasarruf sağlanması gitgide daha önemli hale gelmektedir. Bu çalışmada, dört iklim bölgesinden birer şehir (İzmir, Diyarbakır, Uşak, Bayburt) için binaların dış duvarlarında kullanılan yalıtım malzemesinin optimum kalınlığının belirlenmesinde, üç farklı metot kullanılmıştır. İlk metot, enerji maliyetlerine bağlı derece gün metodudur. İkinci metot, yakıt ve yalıtım malzemesinin maliyetine bağlı olan termoeconomik optimizasyon metodudur. Son metot olarak, Türkiye’de binaların yalıtım kalınlıklarını tespit etmek için kullanılan TS 825 standardı kullanılmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki, şehirler ve optimizasyon metodlarına bağlı olarak optimum yalıtım kalınlığı 0.038 cm ve 0.144 cm arasında, enerji kazancı 2.122 $\$/m^2$ ve 5.992 $\$/m^2$ arasında, ve geri ödeme süresi 1.99 yıl ve 3.143 yıl arasında değişmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yalıtım kalınlığı; Optimizasyon; Termoeconomik

ABSTRACT

Thermal energy conservations only can be provided with using the countries provide a major amount of their energy from abroad, using of the energy effectively and so obtaining of energy saving become more and more important. In this study, three different methods for determining the optimum thickness of insulation material using in external walls of building for one apiece city (İzmir, Diyarbakır, Uşak, Bayburt) from four climate zones of Turkey are presented. The first method is life cycle cost based on the energetic costs. The second method is thermoeconomic optimization based on the cost of insulation materials and fuel. Finally, the third method is optimization of insulation thickness by Turkish Thermal Insulation Standard-TS 825 based on heat energy requirement of buildings. The results show that the optimum insulation thickness vary between 0.038 cm and 0.144 cm, energy savings vary between 2.122 $\$/m^2$ and 5.992 $\$/m^2$, and payback periods vary between 1.99 years ve 3.143 years depending on the city and optimization method.

Keywords: Insulation thickness; Optimization; Thermoeconomic

GİRİŞ

Enerji, tüm ülkeler için önemli ve stratejik bir kavramdır. Isı, sıcaklık farkından kaynaklanan bir enerji geçişidir. Binalarda ısı enerjisi tasarrufu, ancak doğru uygulanmış bir ısı yalıtımı ile sağlanabilmektedir. Evler ve binalar verimli ve doğru bir şekilde yalıtıldığında, enerji verimi artacak ve parasal olarak tasarruf sağlanacaktır. Isı yalıtımına verilen önemin her geçen gün arttığı ülkemizde yalıtım

uygulamaları da çeşitlilik göstermektedir. Bu doğrultuda, optimal konfor koşullarının sağlanmasında, dış duvar ısı yalıtım sistemlerinin doğru şekilde seçilmesi oldukça önemlidir. Düşük yalıtım kalınlığı, ısının içeriden dışarıya ya da dışarıdan içeriye daha fazla geçmesine neden olur ve sonuçta ısı konfor ve enerji tasarrufu üzerinde olumsuz bir etki oluşturur. Binalarda artan yalıtım kalınlığı ile ısı kaybı dolayısıyla, ısıtma yükü ve yakıt maliyeti azalır. Ancak kalınlığın artması yalıtım maliyetinin artması demektir. Yakıt ve yalıtım maliyetinin toplamından oluşan toplam maliyet, belirli bir değerine kadar azalır; bu seviyeden sonra artar. Dolayısıyla yalıtım kalınlığı için optimum bir değer söz konusudur. Bu nedenle optimum yalıtım kalınlıklarının tespiti ve konutlarda uygulanması önem arz etmektedir.

Değişik metotlar kullanarak binaların dış duvarları için uygulanan yalıtım malzemelerinin optimum yalıtım kalınlıklarını belirlemek amacıyla birçok çalışmalar yapılmıştır. Büyükalaca ve arkadaşlar [1], Türkiye için ısıtma ve soğutma derece gün değerleri üzerinde temel sıcaklığın etkisini araştırmışlardır. Bununla birlikte enlem, boylam ve deniz seviyesinden yüksekliğine bağlı olarak ısıtma ve soğutma derece gün değerlerinin değişimini araştırmışlardır. Isıtma ve soğutma derece gün değerleri için Türkiye'nin iç bölgelerinin kuzeydoğusunda ve tüm Türkiye boyunca mevcut büyük dalgalanmalar olduğunu buna bağlı olarak kıyaslamalı şekilde daha fazla ısı enerjisi gereksinimi olduğunu tespit etmişlerdir. Bolattürk [2], binaların dış duvarlarında yalıtımın kullanımını değişik iklim bölgesindeki şehirler için analiz etmiştir. Optimum yalıtım kalınlığını, farklı yakıtlar için geri dönüşüm periyodu ve enerji kazancı miktarını ömür maliyet analizi metodunu kullanarak hesaplamıştır. Optimum yalıtım kalınlığını, 2 ile 17 cm, geri dönüşüm periyodunu 1.3 ile 4.5 yıl, enerji kazancını 22% ile 79% arasında belirlemişlerdir. Şişman ve arkadaşları [3], Türkiye'nin dört farklı iklim bölgesindeki birer şehir için derece gün değerlerini temel alarak yalıtılmış dış duvarlarda yıllık enerji kazancını ömür maliyet analizi ile belirlemişlerdir. Aslan ve Köse [4], genellikle Kütahya şehrinde mevcut bir bina içinde mevcut farklı referans durumlar için ekserji metodunu kullanmışlardır. Ekserji üzerinde yoğunlaşmış buharın etkisini hesaba katmışlardır. İç sıcaklık 18, 20 ve 22°C olduğunda, enerji kazancını sırasıyla 74.9%, 76.3% ve 78.8%, optimum yalıtım kalınlıklarını 0.060, 0.065, 0.075 m olarak belirlemişlerdir. Yoon ve arkadaşları [5] Kore'deki değişik iklim bölgelerinde optimum yalıtım kalınlığını bulmak için termal kütleli hesaba katarak ısı depolama yapılarının toplam soğutma yükü üzerinde değişik yalıtım sistemlerinin etkisini belirlemiştir.

Tablo 1. Seçilmiş Şehirlerin İklim Karakteristikleri

Şehir	Enlem (derece)	Boylam (derece)	Isıtma derece-gün ($^{\circ}\text{C}$ -günler) (18°C için)	Kış için açık hava sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	Çevrenin doymuş buhar basıncı (Pa)	Çevrenin kısmi buhar basıncı (Pa)
İzmir (1. bölge)	27 ⁰ 09'	38 ⁰ 25'	1865	0	611	488
Diyarbakır (2. bölge)	40 ⁰ 14'	37 ⁰ 55'	2142	-3	476	380
Uşak (3. bölge)	29 ⁰ 25'	38 ⁰ 41'	2414	-12	217	173
Bayburt (4. bölge)	40 ⁰ 15'	40 ⁰ 16'	4149	-15	165	132

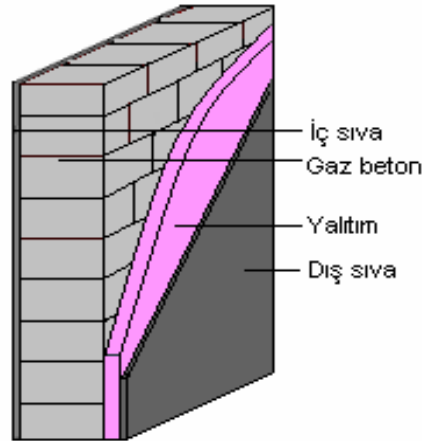
Türkiye ısıtma için ortalama sıcaklıklara göre belirlenmiş derece-gün değerlerine bağlı olarak dört iklim bölgesine bölünmüştür. Bu çalışmada Türkiye'nin dört farklı iklim bölgesinden birer il temel alınarak (İzmir, Diyarbakır, Uşak, Bayburt), üç farklı metot (derece gün metodu, termoeconomik optimizasyon metodu, TS 825 standardı) için kıyaslanması yapılmış, sonuçlar tablolar ve grafikler halinde verilmiştir. 10 yıllık sürede enerji kazancı ve geri ödeme periyodu bu şehirler için belirlenmiştir. Isıtma derece-gün değerleri de bir iklim bölgesinden diğer iklim bölgesine önemli derecede değişmektedir. Bu çalışmada seçilmiş şehirlerin yıllık ısıtma derece-gün değerleri (18°C temel sıcaklığı için) Tablo 1'de verilmiştir.

2. DIŞ DUVARLARIN YAPISI

Bu çalışmada araştırılan duvarların şematik gösterimi Şekil 1’de verilmiştir. Duvarların yapısı 2,5 cm iç sıva, 20 cm gaz beton, yalıtım malzemesi ve 3 cm dış sıva olarak belirlenmiştir. Bu yapı analiz edilen şehirler için hesaplamalarda kullanılmıştır. Bu çalışmada yalıtım malzemesi olarak Ekstrüde Polistiren kullanılmıştır. Optimum yalıtım kalınlığının hesaplanmasında kullanılan parametrelerin değerleri, geri dönüşüm periyodu ve yalıtılmış binalar için net enerji kazancı Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2 Hesaplamalarda Kullanılan Parametreler

Parametreler	Değer
Derece-günler, DD (°C-gün)	Table 1’de verilmiştir
Yakıt	Kömür
C_f	0.2198 \$/kg
H_u	29.272×10^6 J/kg
η_s	0.65
Baca gazlarının sıcaklığı	190°C
Yanma odası sıcaklığı	550°C
İç şartlar	
RH	%50
T_i	20°C
$P_{sat,i}$	2340 Pa
$P_{par,i}$	1170 Pa
Yoğuşma zamanı	1440 h
Yalıtım malzemesi	Ekstrüde polystren
İletkenlik, k	0.037 W/mK
Fiyat, C_i	25.62 \$/m ³
Dış duvarlar	
2,5 cm iç sıva	$k=0.87$ W/mK
20 cm gaz beton	$k=0.15$ W/mK
3 cm dış sıva	$k=0.87$ W/mK
R_{wt}	0.5019 m ² K/W
Faiz oranı, i	8%
Enflasyon oranı, d	10%
Ömür süresi, N	10 yıl



Şekil 1. Dıştan Yalıtımlı Gaz Beton Duvar

3. OPTİMUM YALITIM KALINLIĞININ TESPİTİ

Bu çalışmada optimum yalıtım kalınlığı, dıştan yalıtım ile yalıtılmış yapıların dış duvarlarında, aşağıda verilen üç farklı optimizasyon tekniği kullanılarak tespit edilerek elde edilen sonuçların kıyaslaması yapılmıştır.

3.1.Ömür Maliyet Analizi

Ömür maliyet analizi, yalıtılmış bir binada, ısıtma ve soğutma maliyeti açısından bina ömrü boyunca elde edilen net kazancın belirlenmesinde çok sık kullanılan bir metottür. Bu metod, hem yalıtım malzemelerinin ve yakıtların fiyatlarını hem de enflasyon ve ilk yatırım maliyetlerindeki değişimlerin etkilerini hesaba katarak optimum yalıtım kalınlığını belirlemekte kullanılır. Ömür maliyet analizinin hesaplama metodlarından biri P_1 - P_2 metodudur. Bu metotta;

Her bir birim yüzey için ısıtmanın yıllık enerji maliyeti C_A ,

$$C_A = \frac{86400 DD C_f}{\left(R_{wt} + \frac{x}{k}\right) H_u \eta_s} \quad (1)$$

Burada; C_f (\$/kg) yakıt maliyeti, H_u (J/kg) yakıtın ısı değeri, k yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı (W/mK), R_{wt} ; $R_i + R_w + R_o$ 'nin toplamı (m^2K/W), η_s yakma sisteminin verimi, DD ise Derece gün sayısıdır ($^{\circ}C$ gün).

$$C_{ins} = C_i x \quad (2)$$

Burada yalıtım malzemesinin $\$/m^3$ olarak maliyeti C_i , ve x yalıtım kalınlığını göstermektedir.

Bu metotta iki ekonomik gösterge temel alınır. 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 yatırımın 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. P_1 ve P_2 için denklemler aşağıda verilmiştir [6].

$$P_1(N, i, d) = \sum_{j=1}^N \frac{(1+i)^{j-1}}{(1+d)^j} = \begin{cases} \frac{1}{d-i} \left[1 - \left(\frac{1+i}{1+d} \right)^N \right] & \text{if } i \neq d \\ \frac{N}{1+i} & \text{if } i = d \end{cases} \quad (3)$$

$$P_2 = 1 + P_1 M_s - R_v (1+d)^{-N} \quad (4)$$

Burada; d : Enflasyon oranı, i : Faiz oranı, N : Ömür süresi (yıl), M_s : Başlangıçtaki ilk maliyete, işletme fiyatı ve yıllık bakım fiyatının oranıdır, R_v : ilk maliyete, perakende satış fiyatının oranıdır. Birim alan başına (ömür boyunca) ısıtma için harcanan net enerjinin fiyat kazancı S , aşağıdaki gibi formüle edilebilir [7].

$$S = C_A P_1 - P_2 C_{ins} \quad (5)$$

Veya

$$S = \frac{86400 DD C_f}{\left(R_{wt} + \frac{x}{k}\right) H_u \eta_s} P_1 - P_2 C_i x \quad (6)$$

Net enerji kazancının optimum değeri Denklem 6 maksimize edilerek belirlenebilir. Buna göre fonksiyon olarak Denklem 6 ve MATLAB optimization Toolbox kullanılarak yalıtım kalınlığının optimum değeri elde edilir. Maksimum net enerji kazançları içinde elde edilen değer optimum yalıtım kalınlığı olarak adlandırılır. Geri ödeme süresi N_p , Denklem 7 ile hesaplanabilir.

$$N_p = \frac{\ln[1 - (P_2 C_i H_u \eta_s (R_{wt} + R^2_{wt} k)(d - i)/86400 DD C_f (1 + d))]}{\ln[(1 + i)/(1 + d)]} \quad (7)$$

Denklem 7'de $i=d$ ise geri ödeme süresi N_p , Denklem 8 yardımıyla hesaplanabilir.

$$N_p = \frac{P_2 C_i H_u \eta_s (R_{wt} + R^2_{wt} k)(1 + i)}{86400 DD C_f} \quad (8)$$

3.2. Termoekonomik Optimizasyon

Termoekonomik analiz yakıt ve yalıtım malzemelerinin fiyatları ile birlikte, dış duvarlarda yoğunlaşmış buharı da hesaba katarak yalıtımın kalınlığını optimize etmek için kullanılır.

Isı transferine bağlı olarak yıllık ekserji kayıpları $Ex_{loss,Q}$, Denklem 9 ile hesaplanabilir [8].

$$Ex_{loss,Q} = \frac{86.4 DD}{\left(R_{wt} + x/k\right) \eta_s} \quad (9)$$

Termodinamiğin 2. kanunu, yanma işlemine uygulanırsa, baca gazları yüzünden ekserji kayıpları aşağıdaki gibi belirlenebilir.

$$Ex_{loss,S} = T_{out} \left(\sum n_{out} \bar{s} \right)_{out} - T_{in} \left(\sum n_{in} \bar{s} \right)_{in} \quad (10)$$

veya

$$Ex_{loss,S} = T_{out} \left(\sum n_{out} \left(\bar{s}^o(T, P) \right) - R_u \ln y P_{atm} \right)_{out} - T_{in} \left(\sum n_{in} \left(\bar{s}^o(T, P) \right) - R_u \ln y P_{atm} \right)_{in} \quad (11)$$

Burada; s : entropi (kJ/kmol K, kJ/kg K), n : mol (kmol), P : Basınç (Pa), T : Sıcaklık ($^{\circ}C$), y karışımın mol kesri ve R_u üniversal gaz sabitidir.

Yakıt Q_F kadar enerjiye sahiptir. Bu enerjinin sadece birazı yanma odası etrafından suya transfer edilir. Bu yüzden yakıtın yanmasıyla ortaya çıkan ısının ekserjisi literatür [8]'de verildiği gibi aşağıdaki formülle hesaplanabilir:

$$Ex_F = \left(1 - \frac{T_{rt}}{T_{cc}} \right) Q_F \quad (12)$$

Burada; T_{rt} : Isıtma çevrimi dönüş sıcaklığını, T_{cc} : Yanma odası sıcaklığını ifade etmektedir. Havayı mükemmel gaz olarak düşünersek, yoğunlaşmış buhar yüzünden ekserji yıkımı Denklem 13 ile hesaplanabilir.

$$Ex_d = m_c [(h_i - h_o) - T_0 (s_i - s_o)] \quad (13)$$

Burada h_i ve h_o sırasıyla iç ve dış ortamın entalpisi (kJ/kmol, kJ/kg), m_c : yoğuşmuş buharın miktarıdır [8].

$$m_c = t_c \left[\frac{P_{par,i} - P_{cp}}{1.5 \times 10^6 S_{di}} - \frac{P_{par,o} - P_{cp}}{1.5 \times 10^6 S_{do}} \right] \quad (14)$$

Denklem 14'de $P_{par,i}$, $P_{par,o}$ ve P_{cp} sırasıyla içerdeki ve dışardaki kısmi basınç ile yoğuşma düzeyindeki basıncıdır. Şekil 2, ısıtma sezonunda dış duvar boyunca sıcaklık dağılımını ile doymuş ve kısmi buhar basınçlarının eğrilerini gösterir.

Klasik ekonomik analiz içinde fiyat dengesi genellikle sabit halde çalışan tüm sistem için formüle edilir [9].

$$C_{p,tot} = C_{F,tot} + Z_{tot}^{CI} + Z_{tot}^{OM} \quad (15)$$

Z_{tot}^{CI} : Sermaye yatırım fiyatı (\$), Z_{tot}^{OM} : İşletme ve bakım fiyatı (\$) olup, birim başına yakıt fiyatı c_F (\$/kg) hesaba alınarak, birim alan başına yıllık yakıt fiyatı $C_{F,tot}$;

$$C_{F,tot} = c_F \frac{Ex_{loss,Q} + Ex_d}{Ex_F - Ex_{loss,S}} \quad (16)$$

ile hesaplanır. Denklem 15 içine Denklem 16 eklenerek, Denklem 17 elde edilir.

$$C_{P,tot} = c_F \frac{Ex_{loss,Q} + Ex_d}{Ex_F - Ex_{loss,S}} + c_{ins} X \quad (17)$$

Burada C_{ins} (\$/m³) yalıtımın fiyatıdır. Yalıtım kalınlığının optimum değeri Denklem 17 minimize edilerek belirlenebilir.

3.3. TS 825 (Türkiye Isı Yalıtım Standartı)

TS 825'e göre; bir yıl için binanın ısı ihtiyacı Q_{year} , her ay için gerekli ısı ihtiyaçlarının toplamı tarafından hesaplanmalıdır. Her ay için ısı ihtiyacı, aylık ortalama değerler kullanılarak hesaplanabilir [10].

$$Q_{year} = \sum Q_{month} \quad (18)$$

$$Q_{month} = [H(T_i - T_{o,m}) - \eta_m (\phi_{i,m} - \phi_{s,m})] t \quad (19)$$

Burada T_i ve $T_{o,m}$: aylık ortalama iç ve dış sıcaklıkları (⁰C), η_m : kazançlar için aylık ortalama verimlilik faktörünü, $\phi_{s,m}$: aylık ortalama güneş kazancını (W), $\phi_{i,m}$: aylık ortalama iç kazançları (W), t: zamanı [bir ay içinde saniyelerin sayısı (60*60*24*30=2 592 000;s)] ifade etmektedir. Özgül ısı kaybı (H) aşağıdaki formülle hesaplanabilir;

$$H = H_T + H_V \quad (20)$$

Burada H_T ve H_V ; sırasıyla iletim ve havalandırma tarafından özgül ısı kaybıdır. H_T ve H_V ; aşağıdaki formüller tarafından hesaplanır.

$$H_T = \sum AU + IU_I \quad (21)$$

Burada A: Bina bileşenlerinin açık alanı (m^2), U: açık bina bileşenlerinin ısıl geçirgenliği (W/mK), U_I : Isı köprüsünün doğrusal ısıl geçirgenliği (W/mK), I: yatay yüzeyler üzerinde güneş radyasyonudur (W/m^2).

$$H_V = \rho c V' = \rho c n_h V_V = 0.33 n_h V_V \quad (22)$$

Burada ρ : Havanın birim hacim kütlesi (kg/m^3), c: Havanın özgül ısı (J/kgK), V' : Hacimsel hava değişim debisi (m^3/h), n_h : Hava değişim sayısı (h^{-1}), V_V : Havalandırılan hacim (m^3) dir. Aylık ortalama güneş kazancı ($\phi_{s,m}$), Denklem 23 yardımıyla hesaplanabilir;

$$\phi_{s,m} = (r_{s,m} g_{s,m} I_{s,m} A_{s,m}) + (r_{n,m} g_{n,m} I_{n,m} A_{n,m}) + (r_{e,m} g_{e,m} I_{e,m} A_{e,m}) + (r_{w,m} g_{w,m} I_{w,m} A_{w,m}) \quad (23)$$

Eşitliğin sağındaki alt indisler, yönü göstermektedir. Bu yüzden, m aylık ortalama değeri gösterirken s, n, e, w sırasıyla güney, kuzey, doğu ve batı yönlerini gösterir. TSE 825'de yöne göre saydam yüzeylerin aylık ortalama gölgelenme faktörü (r), 0.8 (bir veya iki katlı müstakil binalar için), 0.6 (ağaçlar tarafından gölgelenmiş bir veya iki katlı müstakil binalar için) veya 0.5 (şehir merkezinde çok katlı teraslı binalar için) olabilir. g: yöne göre saydam elemanların güneş enerjisi geçirme faktörünü, I: yöne göre dik yüzeylere gelen aylık ortalama güneş ışınımı şiddeti (W/m^2), A yöne göre toplam pencere alanını (m^2) göstermektedir. Verimlilik faktörü (η_m) aşağıdaki amprik formül tarafından hesaplanabilir.

$$\eta_m = 1 - e^{-\left(\frac{1}{GLR_m}\right)} \quad (24)$$

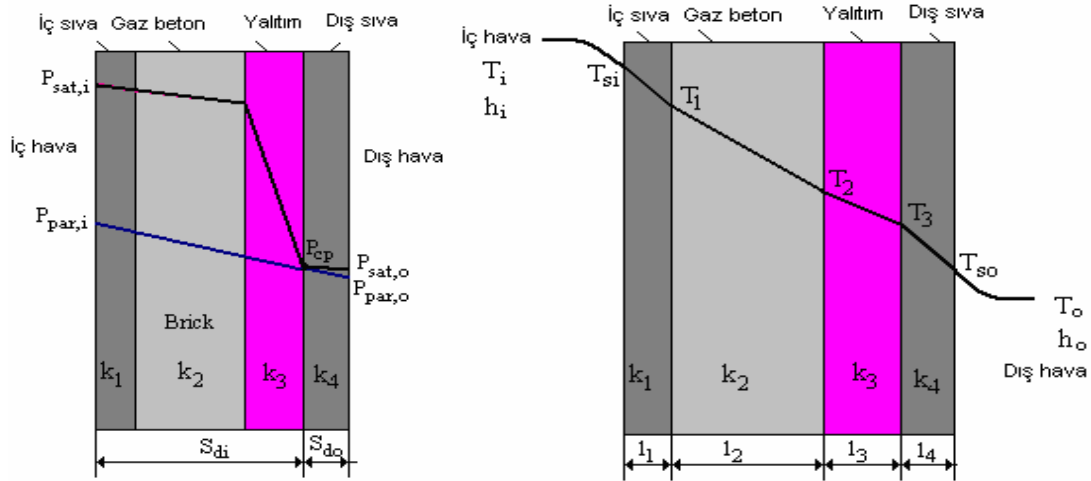
$$GLR_m = \frac{\phi_i + \phi_{s,m}}{H(T_i - T_{o,m})} \quad (25)$$

Burada; $T_{i,m}$: Aylık ortalama iç ortam sıcaklığı [Konutlar için $19^\circ C$ (diğer binalar için TS 2164)], $T_{o,m}$: aylık ortalama dış hava sıcaklığı, ϕ_i : aylık iç kazançlar (W), $\phi_{s,m}$: aylık ortalama güneş enerjisi kazancıdır (W).

4. DEĞERLENDİRMELER

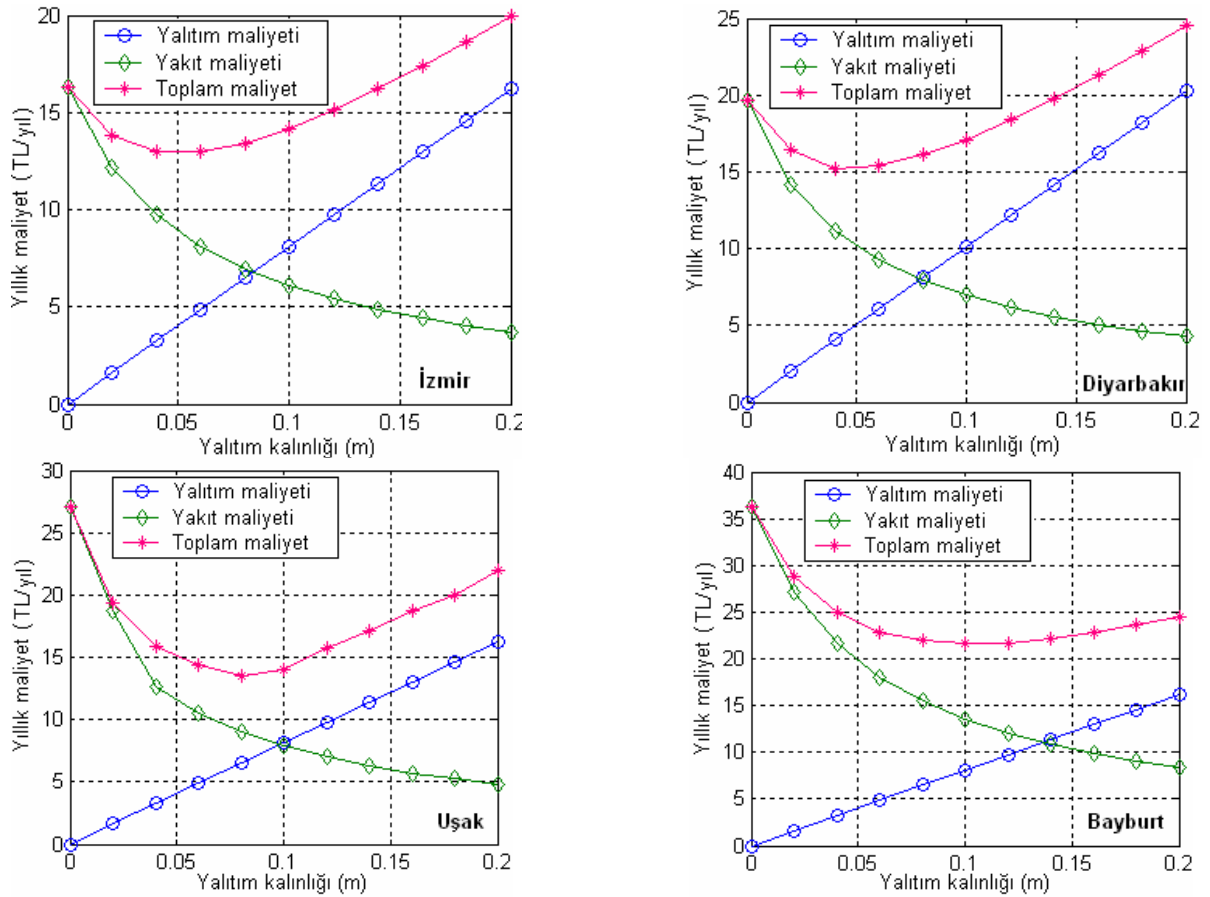
Bu çalışmada, Türkiye'deki tipik dıştan yalıtımlı duvarlar için üç farklı metod kullanılarak dört farklı iklim bölgesinden seçilen birer şehir için optimum yalıtım kalınlıkları belirlenmiştir. Optimizasyon çalışması Şekil 1'de gösterilen aynı dış duvar kullanılarak yapılmıştır. Simülasyonda kullanılan parametreler Tablo 2'de verilmiştir.

Binalarda artan yalıtım kalınlığı ile ısı kayıpları azalır. Yalıtım kalınlığı artarsa, ısıtma yükü ve kullanılan yakıt miktarı azalır. Diğer yandan yalıtım maliyeti, yalıtım kalınlığı ile doğru orantılı olarak artar. Toplam maliyet, yalıtım malzemesi ve yakıt maliyetinin toplamıdır. Toplam maliyet yalıtım kalınlığının belli değerine kadar azalır. Bu seviyenin ötesinde toplam maliyet artar.



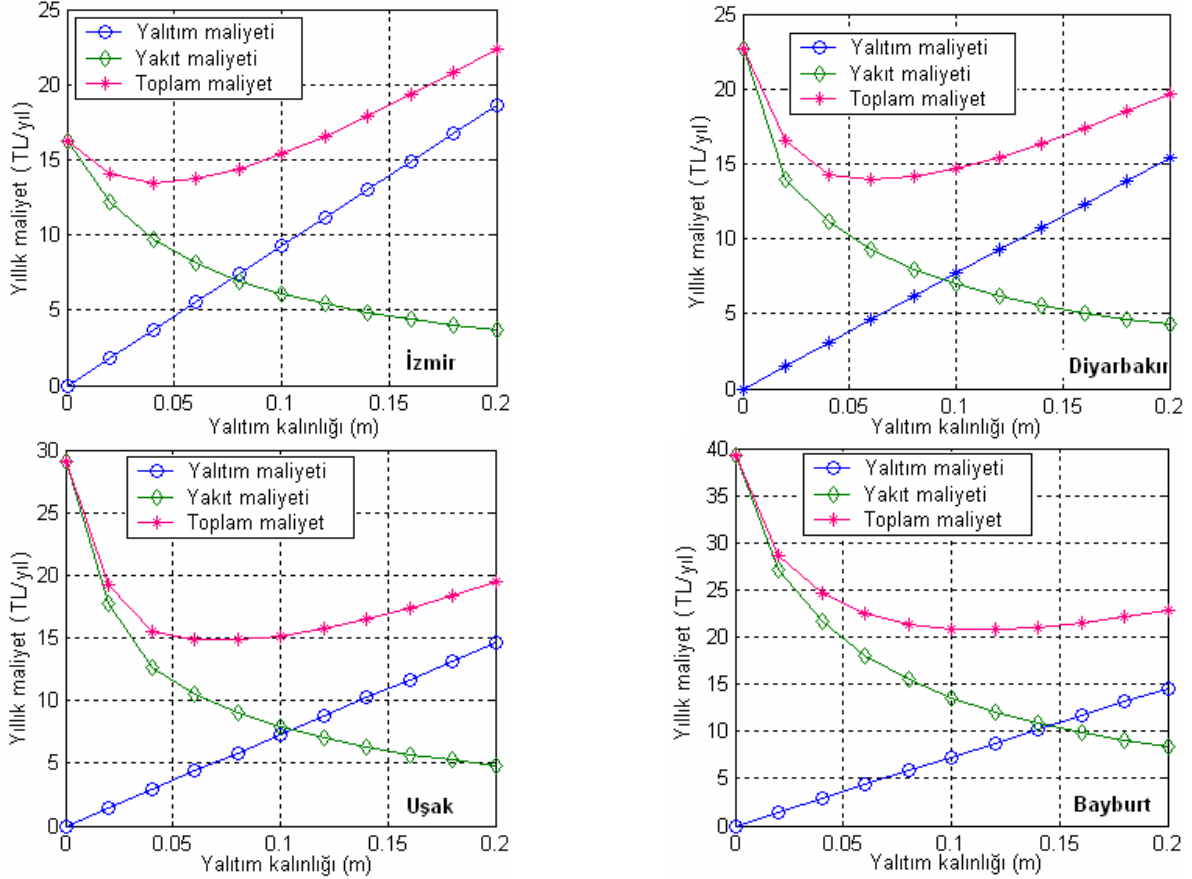
Şekil 2.a. Doymuş ve kısmi buhar basınç eğrileri
b. Isıtma sezonunda dış duvar boyunca sıcaklık dağılımı

Analiz edilen dört şehir için, ömür maliyet optimizasyon metodu kullanıldığında, toplam maliyet üzerinde yalıtım kalınlığının etkisi, Şekil 2'de gösterildiği gibi tespit edilmiştir. Minimum toplam maliyette yalıtım kalınlığı, optimum yalıtım kalınlığı olarak adlandırılır. optimum yalıtım kalınlığı İzmir, Diyarbakır, Uşak ve Bayburt şehirleri için sırasıyla 0.073 - 0.077 - 0.101 - 0.138 m olarak belirlenmiştir.



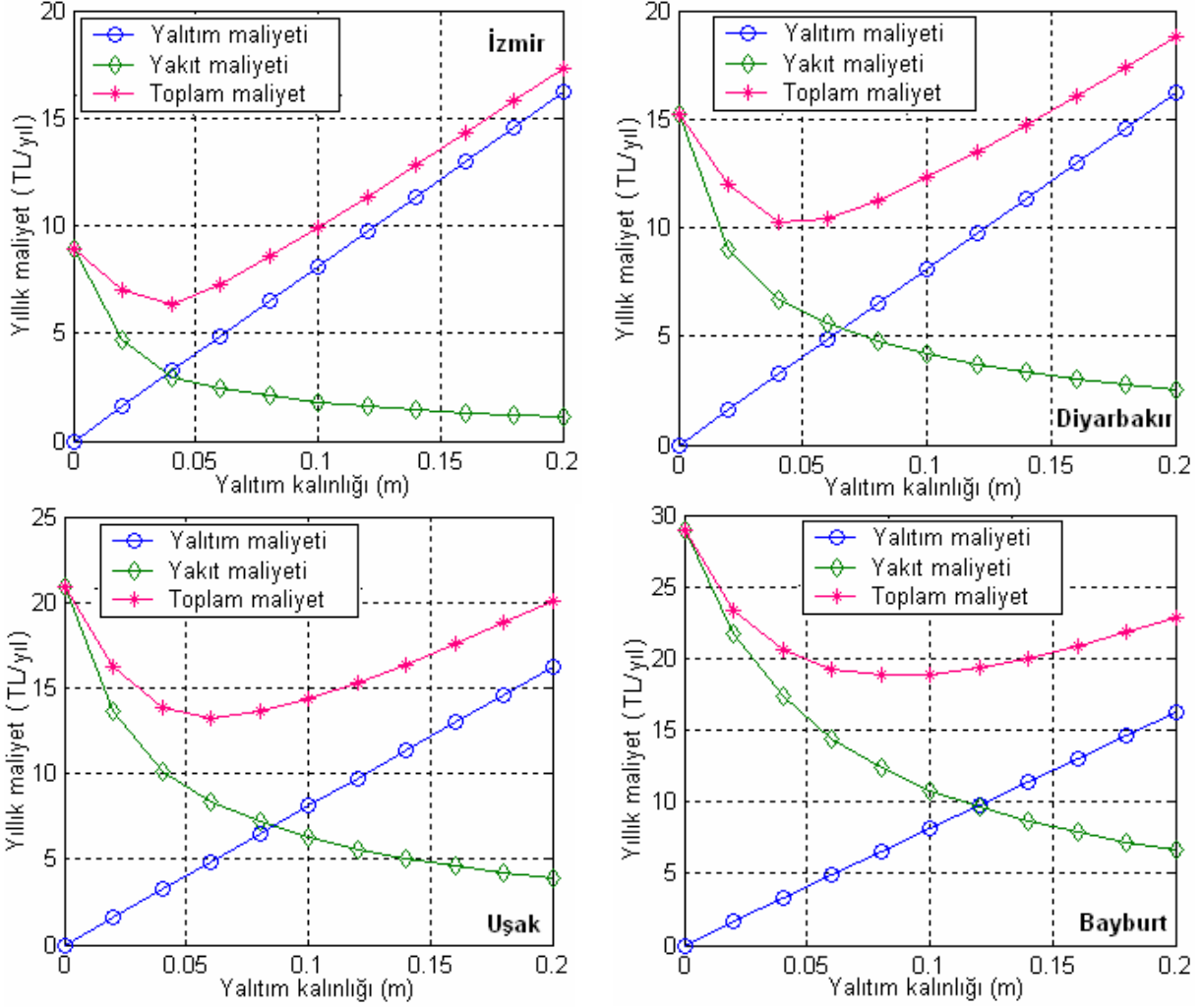
Şekil 3. Analiz Edilen Dört Şehir İçin Ömür Maliyet Analizi Optimizasyon Metodu Tarafından Optimum Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi

Farklı iklim bölgelerinden seçilmiş sözkonusu dört şehir için, Termoekonomik optimizasyon metodu kullanılarak optimum yalıtım kalınlığı Şekil 3'de gösterildiği gibi hesaplanmıştır. Şekilden de görüldüğü gibi optimum yalıtım kalınlığı, ömür maliyet analizi kullanılarak elde edilen sonuçlarla kıyaslandığında İzmir, Diyarbakır, Uşak ve Bayburt şehirleri için sırasıyla %2.6, %4.9, %22.3 ve %41.6 daha fazla bulunmuştur. Termoekonomik optimizasyon metodunda, yalıtım kalınlığını optimize etmek için, dış duvarlarda yoğunlaşan buhar hesaba katılmaktadır. Oysa ömür maliyet analizi optimizasyon metodunda bu durum hesaba katılmamıştır. Ömür maliyet analizi optimizasyon metodu, enerjiye bağlı maliyeti temel alan bir methodur.

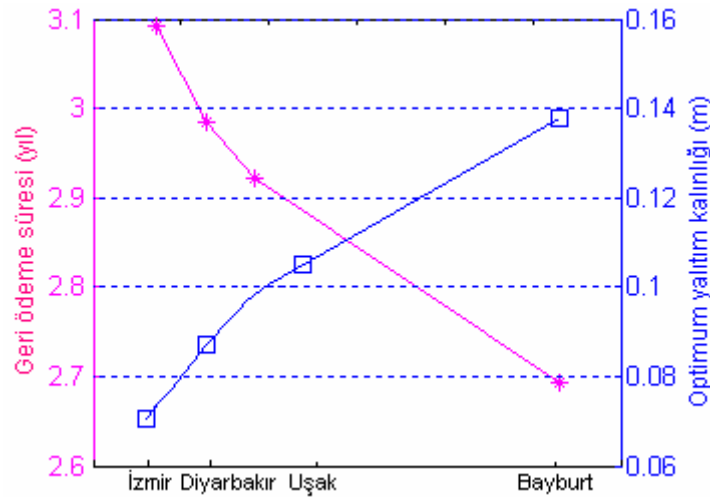


Şekil 4. Analiz Edilen Dört Şehir İçin Termoekonomik Optimizasyon Metodu Tarafından Optimum Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi

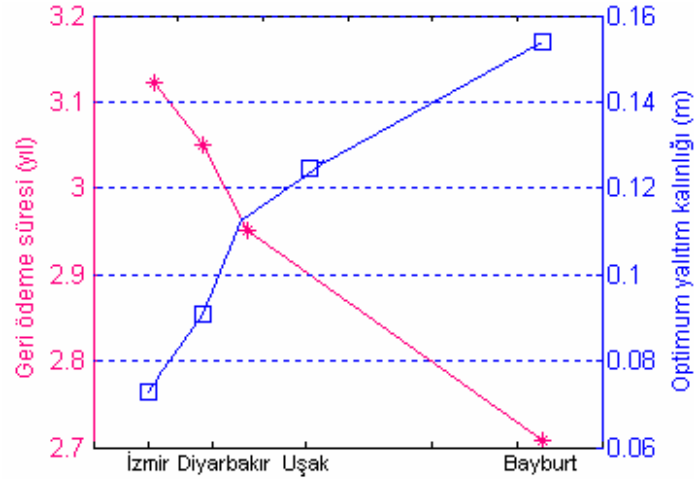
Şekil 4 analiz edilen dört şehir için Türk ısı yalıtım standardı TS 825 kullanıldığında elde edilen optimum yalıtım kalınlıklarını göstermektedir. Optimum yalıtım kalınlıkları sözkonusu şehirlere bağlı olarak 0.038 ile 0.120 arasında değişmektedir. Şekil 4'den de görüldüğü gibi optimum yalıtım kalınlığı İzmir, Diyarbakır, Uşak ve Bayburt şehirleri için sırasıyla 0.038, 0.067, 0.088, 0.120 m olarak tespit edilmiştir. Bu metodla bahsedilen şehirler arasında en düşük optimum yalıtım kalınlığı İzmir şehiri için elde edilmiş olup, elde edilen değer, ömür maliyet analizi optimizasyon metoduyla elde edilen değerden %47.9 termoekonomik optimizasyon metodu ile elde edilen değerden %49.3daha düşüktür.



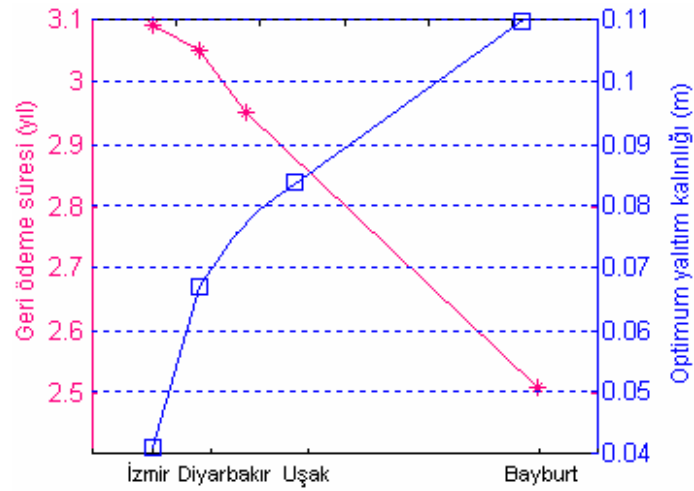
Şekil 5. Analiz Edilen Dört Şehir İçin TS 825 Türkiye Isı Yalıtım Standartı Tarafından Optimum Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi



Şekil 6. Ömür Maliyet Analizi Tarafından Analiz Edilen Dört Şehir İçin Optimum Yalıtım Kalınlığı Ve Geri Dönüşüm Süresi



Şekil 7. Termoeconomik Optimizasyon Tarafından Analiz Edilen Dört Şehir İçin Optimum Yalıtım Kalınlığı ve Geri Dönüşüm Süresi



Şekil 8. TS 825 Türkiye Isı Yalıtım Standartı Tarafından Analiz Edilen Dört Şehir İçin Optimum Yalıtım Kalınlığı ve Geri Dönüşüm Süresi

Analiz edilen dört şehir için; TS 825 Türkiye ısı yalıtım standardı tarafından optimum yalıtım kalınlıkları Şekil 5 ile kullanılan üç metotla optimum yalıtım kalınlığına göre geri ödeme süreleri, Şekil 6, 7 ve 8'de verilmiştir.

Tablo 3 Analiz Edilen Şehirler İçin Optimum Yalıtım Kalınlığı, Enerji Kazançları ve Geri Ödeme Süreleri

	Ömür maliyet optimizasyon			Termoeconomik optimizasyon			TS 825		
	Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Enerji kazançları (\$/m ²)	Geri ödeme süresi (yıl)	Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Enerji kazançları (\$/m ²)	Geri ödeme süresi (yıl)	Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Enerji kazançları (\$/m ²)	Geri ödeme süresi (yıl)
İzmir	0.073	3.263	3.121	0.075	3.336	3.143	0.038	2.122	2.38
Diyarbakır	0.077	3.409	2.878	0.081	3.557	3.050	0.067	3.046	2.24
Uşak	0.101	4.276	2.722	0.130	5.441	2.751	0.088	4.709	2.19
Bayburt	0.138	5.756	2.765	0.144	5.992	2.807	0.120	5.050	1.99

Daha yüksek derece-gün değerlerine sahip daha soğuk yerler, daha büyük optimum yalıtım kalınlıkları gerektirir. Ama daha düşük derece-gün değerlerine sahip daha sıcak iklimler daha küçük optimum yalıtım kalınlıkları gerektirir. Yani geri ödeme süresi, derece-gün değerlerinin artışı ile azalır. Bu açıkça, soğuk iklim bölgelerine uygulanan yalıtım kalınlıklarının maliyetinin daha yüksek olmasına rağmen geri ödeme süresinin daha kısa olduğunu gösterir. Hesaplamalarda kullanılan bu üç metoda göre, analiz edilen şehirler için, optimum yalıtım kalınlıkları, enerji kazançları ve geri ödeme süreleri Tablo 3'de verilmiştir. Tablodan da görüldüğü gibi, optimizasyon metodu ve şehirlere bağlı olarak, optimum yalıtım kalınlıkları 0.038 cm ve 0.144 cm arasında değişirken, enerji kazançları 2.122 \$/m² ve 5.992 \$/m², geri ödeme süreleri ise 1.99 yıl ve 3.143 yıl arasında değişmektedir. En düşük geri ödeme süresi Türk ısı yalıtım standardı TS 825 kullanıldığında Bayburt şehrinde elde edilirken, en yüksek değer Termoeconomik optimizasyon metodu kullanıldığında İzmir şehrinde elde edilmiştir.

SONUÇ

Bu çalışmada, ekstrüde polistrenle dıştan yalıtılmış dış duvarlar üç farklı optimizasyon metodu ile incelenmiştir ve aynı parametreler kullanılarak kıyaslamalı bir çalışma yapılmıştır. Dış duvarların optimum yalıtım kalınlıkları, 10 yıllık bir ömür üzerinden enerji maliyet kazançları ve geri dönüşüm periyotları Türkiye'nin dört farklı iklim bölgesindeki İzmir, Diyarbakır, Uşak ve Bayburt şehirleri için, üç farklı optimizasyon metodu kullanılarak hesaplanmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki yalıtım kalınlığı, dış duvar sistemlerinin dizaynında önemli bir parametredir. Termodinamiğin 2. kanununu temel alan termoeconomik optimizasyon metoduyla hesaplanan optimum yalıtım kalınlıkları diğer optimizasyon metodlarından daha yüksek çıkmıştır. Optimizasyon metodu ve farklı iklim bölgelerinde yer alan sözkonusu dört şehir için optimum yalıtım kalınlıkları 0.038 cm ve 0.144 cm arasında, enerji kazancı 2.122 \$/m² ve 5.992 \$/m² arasında, ve geri ödeme süresi 1.99 yıl ve 3.143 yıl arasında değiştiği tespit edilmiştir.

SEMBOLLER

C_A	Isıtma için yıllık enerji maliyeti (YTL/m ² -yıl)
C_i	Yalıtım malzemesinin maliyeti (YTL/m ³)
C_{ins}	Yalıtım malzemesinin maliyeti (YTL/m ²)
C_f	Yakıt maliyeti (YTL/kg)
A_s	Yıllık toplam maliyet farkı (YTL/m ²)
d	Enflasyon oranı
DD	Derece gün sayısı (°C gün)
H_u	Yakıtın ısı değeri (J/kg)
i	Faiz oranı
k	Yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı (W/mK)
N	Ömür süresi (yıl)
N_p	Geri ödeme süresi (yıl)
R_i	İç ortam havasının ısı direnç katsayısı (m ² K/W)
R_{ins}	Yalıtım malzemesinin ısı direnç katsayısı (m ² K/W)
R_o	Dış ortam havasının ısı direnç katsayısı (m ² K/W)
R_w	Yalıtımsız duvar tabakasının ısı direnç katsayısı (m ² K/W)
R_{tw}	$R_i + R_w + R_o$ 'nin toplamı (m ² K/W)
S	Kazançlar (/m ²)x Yalıtım malzemesinin kalınlığı (m)
η_s	Yakma sisteminin verimi
C	Fiyat (\$)Ex Ekserji (kJ/m ²)
h	Entalpi (kJ/kmol, kJ/kg)
m	Kütle oranı (kg/m ² yıl)
n	Mol (kmol)
P	Basınç (Pa)

Ru	Üniversal gaz sabiti (kJ/kmol K)
s	Entropi (kJ/kmol K, kJ/kgK)
T	Sıcaklık (°C)
y	Mol kesri
Z_{tot}^{CI}	Sermaye yatırım fiyatı (\$)
Z_{tot}^{OM}	İşletme ve bakım fiyatı (\$)

ALT İNDİSLER

atm	atmosfer
c	yoğuşma,
cc	yanma odası
cp	yoğuşma düzeyi
F	yakıt
ins	yalıtım
in	iç
loss,Q	ısı transferi yüzünden kayıplar
loss,S	baca gazları yüzünden kayıplar
o	dış ortam, çevre
out	dış
par	kısmi buhar
rt	Isıtma çevrimi dönüş sıcaklığı

Üst indisler

o	25 °C and 101.325 kPa'da değerler
–	Molar değerler

KAYNAKLAR

- [1] Buyukalaca, O., Bulut, H., Yilmaz, T., Analysis of variable-base heating and cooling degree-days for Turkey, Applied Energy, 69, 269–283, 2001.
- [2] Bolattürk, A., Determination of optimum insulation thickness for building walls with respect to various fuels and climate zones in Turkey, Applied Thermal Eng., 26, 1301–309, 2006.
- [3] Sisman, 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, 35 5151–5155, 2007.
- [4] Arslan O., Kose, R., Thermoeconomic optimization of insulation thickness considering condensed vapor in buildings, Energy and Buildings 38, 1400–1408, 2006.
- [5] Yoon, J., Lee, E., Krarti, M., Optimization of Korean crop storage insulation systems, Energy Conversion and Management, 44, 1145-1162, 2003.
- [6] 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.
- [7] Ucar, A., Balo, F., 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, 2009.
- [8] Arslan, O., Kose, R., Thermoeconomic optimization of insulation thickness considering condensed vapor in buildings, Energy and Buildings, 38, 1400–1408, 2006.
- [9] Bejan, A., Tsatsaronis, G., Moran, M., Thermal Design and Optimization, John Wiley & Sons Inc, 1996.
- [10] Dilmac S, Kesen N. A comparison of new Turkish thermal insulation standard (TS 825), ISO9164, EN 832 and German regulation. Energy and Buildings 2003; 35: 161-174.

ÖZGEÇMİŞ

Figen BALO

1970 tarihinde Lüleburgaz'da doğdu. 1990 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2000 yılında Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans yapmaya başladı. 2002 yılında yüksek lisans, 2008 yılında doktora eğitimini tamamladı. Halen Elazığ Bayındırlık ve İskan Müdürlüğünde Makine Mühendisi olarak görevini sürdürmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları, yalıtım malzemeleri ve enerji konularında çalışmaktadır.

Aynur UÇAR

1973 yılında Elazığ'da doğdu. 1994 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 1997 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi oldu. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalında 1998 yılında yüksek lisans ve 2005 yılında doktora öğrenimini tamamladı. Halen Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalında Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır. Evli ve bir çocukludur. Isı pompaları, yenilenebilir enerji kaynakları, yalıtım malzemeleri ve enerji konularında çalışmaktadır.

Mustafa İNALLI

1961 yılında Elazığ'da doğdu. 1983 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalında 1987 yılında yüksek lisans ve 1994 yılında doktora öğrenimini tamamladı. 2000 yılında Isı Tekniği Bilim Dalında Doçent oldu. 2006 yılında Fırat Üniversitesinde Profesör ünvanı aldı. Halen Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalında Öğretim Üyesi olarak çalışmaktadır.