

## EDİRNE İLİNDE OPTİMUM DUVAR YALITIM KALINLIĞININ ENERJİ TASARRUFUNA ETKİSİ

Semiha ÖZTUNA<sup>1</sup>, Emre DERELİ

<sup>1</sup> Trakya Üniveristesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 22030 Edirne  
e-mail: semihae@trakya.edu.tr

Alınış: 10 Ağustos 2009  
Kabul Ediliş: 12 Kasım 2009

**Özet:** Türkiye’de tüketilen enerjinin önemli bir kısmı binalarda ısıtma enerjisi olarak kullanılmaktadır. Binalardaki ısıtma enerjisi ihtiyacını en aza indirmek için yapılması gereken en önemli uygulamalardan biri ısı yalıtımıdır. Bu çalışmada ömür maliyet analizi yöntemi kullanılarak, Edirne ilinde, 6 farklı yakıt (yerli ve ithal kömür, doğalgaz, LPG, elektrik, fuel-oil) için; bina dış duvarına genleştirilmiş polistren (EPS) ve taş yünü yalıtım malzemesi ile sandviç duvar da EPS yalıtım malzemesinin uygulanması durumlarında yapılması gereken optimum yalıtım kalınlığı derece gün sayısı esas alınarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamalarla 5 farklı duvar modelinde, 2 farklı yalıtım maddesi uygulamaları ve her bir yakıt için hesaplanan optimum yalıtım kalınlıklarının geri ödeme süreleri ile yıllık yakıt ve enerji tasarrufları belirlenmiştir. En iyi sonuç olarak; yerli kömürün yakıt, EPS yalıtım maddesinin uygulanmasında; optimum yalıtım kalınlığı 0,028-0.039m, geri ödeme süreleri 2,1- 4,2 yıl, enerji tasarrufu %24-%47 elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Optimum yalıtım kalınlığı, dış duvar yalıtımı, enerji tasarrufu, maliyet analizi,

### Effect of Optimum Insulation Thickness for Exterior Wall of Buildings on Energy Saving in Edirne

**Abstract:** An important part of the energy consumed in buildings is used as a heating energy in Turkey. Thermal insulation is the most important application to minimize the heating energy in buildings. In this study, the optimum insulation thickness was calculated based on the number of degree days by using life cycle cost analysis method for Edirne province using 6 different fuels (domestic and imported coal, natural gas, LPG, electricity, fuel oil), For outdoor wall expanded polystyrene (EPS), rock wool insulation and the EPS sandwich wall insulation materials. These calculations in five different wall models, optimum insulation thickness and annual reimbursement for fuel and energy savings have been identified for two different applications of insulation materials and fuel for each. Best result is obtained for the case that, domestic, the optimum insulation thickness 0,028-0.039 m, repayment periods from 2.1 to 4.2 years, energy saving 24% - 47% have been obtained for domestic coal as a fuel and EPS is as a insulation material

**Keywords:** Optimum insulation thickness, building wall insulation, energy saving, cost analysis

## GİRİŞ

Günümüzde ülkelerin enerji politikalarında, enerji tasarrufu önemli bir konudur. Sınırlı enerji kaynakları, fosil yakıtların kullanımı sonucu oluşan çevre kirliliği, enerji ihtiyacının büyük bir bölümünün ithal edilmesi, yakıt maliyetleri enerji tasarrufunu zorunlu hale getirmiştir. Ülkemizdeki enerji tüketiminin önemli bir kısmını oluşturan binalarda ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimini azaltmanın başlıca yollarından biri, binalara ısı yalıtımı uygulanmasıdır. Bina dış duvarlarının uygun yalıtım malzemeleri ile yalıtımı; enerjinin korunumu açısından önemli olduğu gibi, çevrenin korunması, ısı konforu, binanın korunması ve işletme maliyetlerini azaltma yönünde de katkı sağlar. Binalarda ısı yalıtımıyla, ısıtma ve soğutma için gerekli enerji ihtiyacı daha az yakıt tüketimi ile sağlanacaktır. Isı yalıtımı sayesinde, özellikle çalışmada da kullanılan kömür gibi fosil yakıtların daha az kullanımı, olumsuz çevresel etkilerin önlenmesinde ciddi katkılar sağlamaktadır.

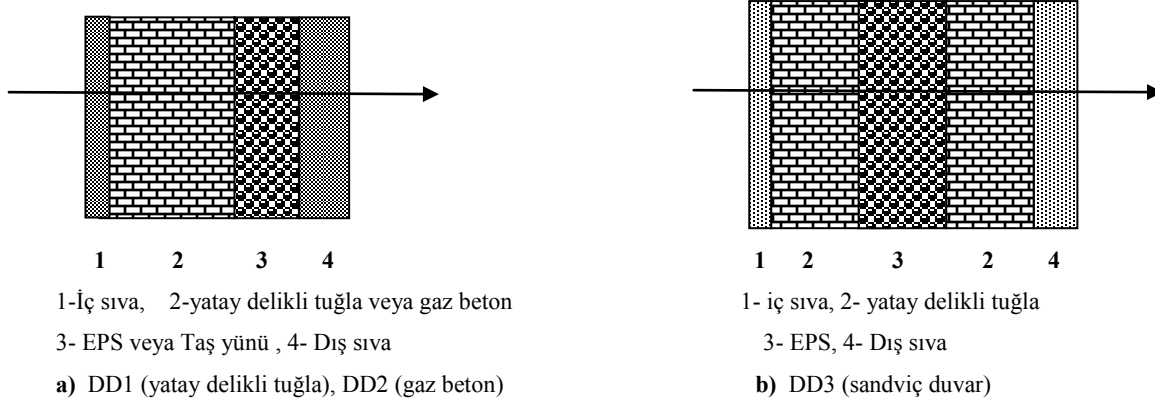
Binalarda ısı yalıtımı ile ısı kaybı ve kazançları azalmasına karşın, kullanılan yalıtım malzemesinin kalınlığına bağlı olarak binanın ilk yatırım maliyeti artmaktadır. Ancak maliyet ve enerji tasarruflarına bağlı olarak hesaplanan geri dönüşüm süresiyle sonraki yıllarda enerji tüketiminde azalma sağlanır. Bu durumda maliyet analizi yapılarak optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi gerekmektedir. Konuyla ilgili; Buyukalaca vd. [1] Türkiye için

ısıtma ve soğutma derece-gün değerlerini, Hasan [2], Filistin için dört yakıt türü ve iki yalıtım malzemesi için optimum yalıtım kalınlıklarını derece gün ve ömür maliyet yaklaşımı ile hesaplamıştır. Çomaklı ve Yüksel [3], TS 825 binalarda ısı yalıtım kuralları standardına göre Türkiye'nin IV. Derece gün bölgesinde üç il için optimum yalıtım kalınlıklarını hesaplamışlardır. Gölcü vd. [4], Denizli'deki binalarda ısıtma için iki farklı enerji kaynağı kullanarak dış duvarlar için optimum yalıtım kalınlıklarını derece-gün sayısını esas alarak belirlemişlerdir. Bollatürk [5], Türkiye'nin dört iklim bölgesindeki 16 il için beş farklı yakıt türü için farklı optimum yalıtım kalınlıklarını ve geri ödeme sürelerini hesaplamıştır. Başka bir çalışmada [6], Türkiye'nin birinci iklim bölgesindeki binaların dış duvarlarındaki optimum yalıtım kalınlığını yıllık ısıtma ve soğutma yüklerini göz önüne alarak hesaplamış ve P1-P2 metodu ile geri ödeme sürelerini belirlemiştir. Dombaycı vd. [7], Denizli ili için iki farklı yalıtım malzemesi ve beş farklı yakıt kullanarak optimum yalıtım kalınlıklarını hesaplamıştır. Aytaç ve Aksoy [8], mevcut ısı yalıtım standardına göre Elazığ ili için beş farklı yakıt türü ve iki farklı yalıtım malzemesi için dıştan yalıtımlı ve sandviç duvar olmak üzere iki farklı duvar için optimum yalıtım kalınlığını ve ısıtma maliyet ilişkisini incelemiştir. Özel [9], Bina dış duvarlarına uygulanan optimum yalıtım kalınlığı dinamik şartlar altında, Elazığ ili için ele almıştır. Binalardaki ısı kaybını hesaplamamanın en basit yolu derece-gün yöntemidir. Bina dış duvarında yalıtım uygulaması yapılırken, ekonomik yönden optimum olan yalıtım kalınlığının belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada; mevcut ısı yalıtım yönetmeliğine göre ikinci bölgede yer alan Edirne ilinde; yatay delikli tuğla sandviç duvarda EPS, yatay delikli tuğla duvar ve Gaz beton duvarlarda dış duvara EPS veya taş yünü yalıtım malzemelerinin uygulanacağı göz önüne alınarak, 6 farklı yakıt ( yerli ve ithal kömür, doğalgaz, LPG, elektrik, fuel-oil) için optimum yalıtım kalınlığı hesaplanmıştır. Ayrıca toplam maliyeti minimum yapan optimum yalıtım kalınlığına göre yatırımın geri ödeme süreleri ile bina dış duvarlarından ısı kaybı ve buna bağlı enerji tüketimi hesaplanarak yıllık yakıt ve enerji tasarrufu değerleri bulunmuştur.

## 2.YÖNTEM

### 2.1. Bina Dış Duvarlarının Yapısı

Binalardaki ısı kayıpları ve ısı kazançları en fazla dış duvarlarda meydana gelmektedir. Ülkemizde kullanılan farklı dış duvar tipleri için, farklı duvar modelleri ve duvar bileşenleri Şekil 2.1' de verilmiştir.



Şekil 1. Duvar Modelleri için Duvar bileşenleri [10].

Hesaplamalarda da kullanılan farklı duvar modelleri için, duvarları oluşturan yapı bileşenlerine ait fiziksel özellikler Tablo 1 de verilmiştir.

Tablo 1. Dış duvar malzemelerinin fiziksel özellikleri [10]

Adı	Kalınlığı (m)	k (W/mK)	R (m <sup>2</sup> K/W)
İç Sıva (Kireç Esaslı)	0,020	0,87	0,02
Yatay Delikli Tuğla	0,135	0,45	0,30
Yatay Delikli Tuğla	0,080	0,45	0,18
Gaz Beton	0,150	0,24	0,65
Dış Sıva (Çimento Esaslı)	0,030	1,40	0,02
EPS (yalıtım)		0,035	
Taşyünü (Yalıtım)		0,040	
R <sub>i</sub>			0,13
R <sub>o</sub>			0,04
<b>Yalıtım Malz. Hariç Toplam (DD1)</b>			<b>0,52</b>
<b>Yalıtım Malz. Hariç Toplam (DD2)</b>			<b>0,84</b>
<b>Yalıtım Malz. Hariç Toplam (DD3)</b>			<b>0,69</b>

## 2.2. Isı Kaybı ve Enerji Gereksinimi

Binadan kararlı halde gerçekleşen ısı kayıplarının duvar ve pencerelerden, havalandırmadan ve enfiltrasyonla gerçekleştiği kabul edilmiştir. Hava ve enfiltrasyon kayıpları duvar yalıtımından bağımsızdır. Duvardan olan ısı kayıpları artan ısı direnç veya azalan iletkenlikle azalmaktadır. Bu nedenle, çalışmada, yalıtım kalınlığı optimizasyonu yapılırken sadece dış duvardan olan kayıplar esas alınmıştır.

Dış duvar için birim yüzeyden olan ısı kaybı,

$$q = U(T_b - T_0) \quad (1)$$

eşitliği ile hesaplanır.

Birim yüzeyden olan yıllık ısı kaybı aşağıdaki eşitlikten [2],

$$q_A = 86400 \times DD \times U \quad (2)$$

Yıllık enerji ihtiyacı ise eşitlik (3) ten hesaplanır [2].

$$E_A = \frac{86400 \times DD \times U}{\eta_s} \quad (3)$$

Yalıtım tabakası içeren bir duvar için toplam ısı transfer katsayısı aşağıdaki eşitlikten bulunur.

$$U = \frac{1}{R_i + R_w + R_{ins} + R_o} \quad (4)$$

Eşitlik (4)'de,  $R_{ins}$  yalıtım malzemesinin ısı iletim direncidir ve aşağıdaki eşitlikle ifade edilir.

$$R_{ins} = \frac{x}{k} \quad (5)$$

Eğer yalıtım malzemesi olmadan, yalıtımsız duvarın ısı direnci  $R_{tw}$  olarak alınırsa toplam ısı transfer katsayısı aşağıdaki eşitliğe dönüşür.

$$U = \frac{1}{R_{tw} + R_{ins}} \quad (6)$$

Sonuç olarak, yalıtımlı halde ısıtma için harcanan yıllık enerji miktarı,

$$E_A = \frac{86400 \times DD}{\left(R_{tw} + \frac{x}{k}\right) \eta_s} \quad (7)$$

Enerji ihtiyacını karşılayacak yakıt tüketimi  $m_{fa}$  ise aşağıdaki eşitlikten bulunabilir.

$$m_{fA} = \frac{86400 \times DD}{\left(R_{tw} + \frac{x}{k}\right) H_u \eta_s} \quad (8)$$

Çalışmada kullanılan yakıtlara ait değerler Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Yakıtlara ait değerler [11,12,13]

Yakıt	Fiyat $C_f$	$H_u$ (Yakıt alt ısı değeri)	$\eta_s$ (%) (Yakma sistemi verimi)
<b>Kömür</b> (Uzunköprü)	0,1800 TL/kg	19.427 x 10 <sup>3</sup> J/kg	60
<b>Kömür (İthal)</b>	0,6900 TL/kg	29.380 x 10 <sup>3</sup> J/kg	65
<b>Doğal Gaz</b>	0,8358 TL/m <sup>3</sup>	34.541 x 10 <sup>3</sup> J/m <sup>3</sup>	93
<b>LPG</b>	3,6667 TL/m <sup>3</sup>	46.055 x 10 <sup>3</sup> J/ m <sup>3</sup>	90
<b>Elektrik</b>	0,2494 TL/kWh	3.600 x 10 <sup>3</sup> J/kWh	99
<b>Fuel-oil</b>	1,7800TL/kg	41.345 x 10 <sup>3</sup> J/kg	80

Ayrıca çalışmada kullanılan 20 °C mahal sıcaklığı kabulü ile Edirne ili için ortalama dış sıcaklık -9C ve Derece-gün değeri DD= 2224 alınmıştır [1, 14].

### 2.3. Yıllık Enerji Maliyeti ve Optimum Yalıtım Kalınlığının Hesaplanması

Birim alan başına yıllık ısıtma enerji maliyeti ;

$$C_A = \frac{86400 \times DD \times C_f}{\left(R_{tw} + \frac{x}{k}\right) H_u \times \eta_s} = m_{fA} \times C_f \quad (9)$$

şeklinde hesaplanır [14], eşitlikteki  $C_f$  kullanılan yakıt maliyetidir ve yakıt tipine bağlı olarak Tablo 2.’de verilmiştir.

Optimum yalıtım kalınlığı hesaplanırken ömür maliyet analizi kullanılması gerekir.

Toplam ısıtma maliyetinin hesabında; ömür süresi (N) ve şimdiki değer faktörü (PW)

birlikte değerlendirilmelidir. PW değeri, faiz oranı (i) ve enflasyon oranını (g) ye bağlı olarak değişir ve aşağıdaki şekilde hesaplanır [2].

Eğer;  $i > g$  ise  $r = (i - g)/(1+g)$  ,  $i < g$  ise  $r = (g - i)/(1+i)$  ve

$$PW = \frac{(1+r)^N - 1}{r(1+r)^N} \quad (10)$$

Yalıtım maliyeti ise;  $C_l$  yalıtım malzemesi birim hacim fiyatı ve x (m) yalıtım malzemesi kalınlığı olmak üzere aşağıdaki eşitlikten bulunabilir.

$$C_{ins} = C_l x \quad (11)$$

Sonuç olarak, yalıtımlı binalardaki toplam ısıtma maliyeti [2],

$$C_t = C_A PW + C_l x \quad (14)$$

Optimum yalıtım kalınlığı, Eşitlik (13)’ün minimize edilmesiyle aşağıdaki şekilde elde edilir [14].

$$x_{op} = 293.94 \left( \frac{DD \times C_f \times k \times PW}{Hu \times C_1 \times \eta_s} \right)^{1/2} - k \times R_{tw}$$

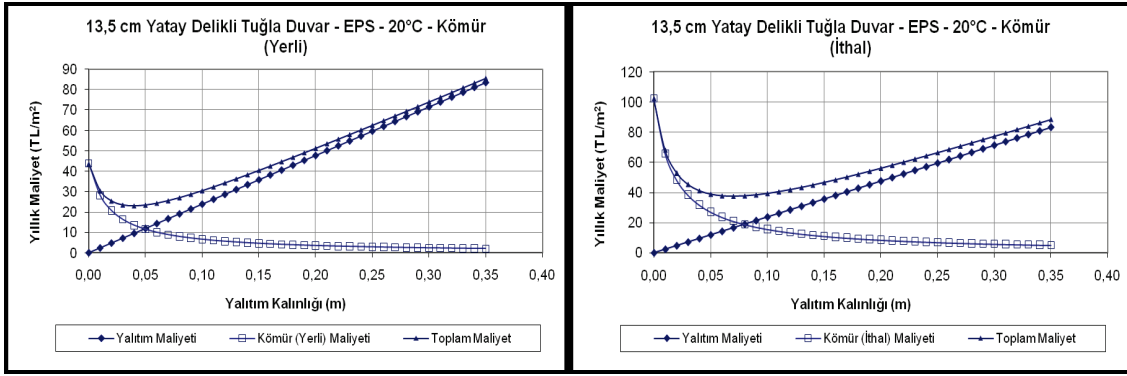
(14)

Bu çalışmadaki hesaplamalarda:  $i$  (%)=16;  $g$  (%)=10;  $PW=7,55$ ;  $N=10$  yıl yalıtım malzemelerinin birim fiyatları EPS için  $C_1=238$  TL/m<sup>3</sup>; Taş yünü için  $C_1=180$  TL/m<sup>3</sup> olarak alınmıştır.

### 3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

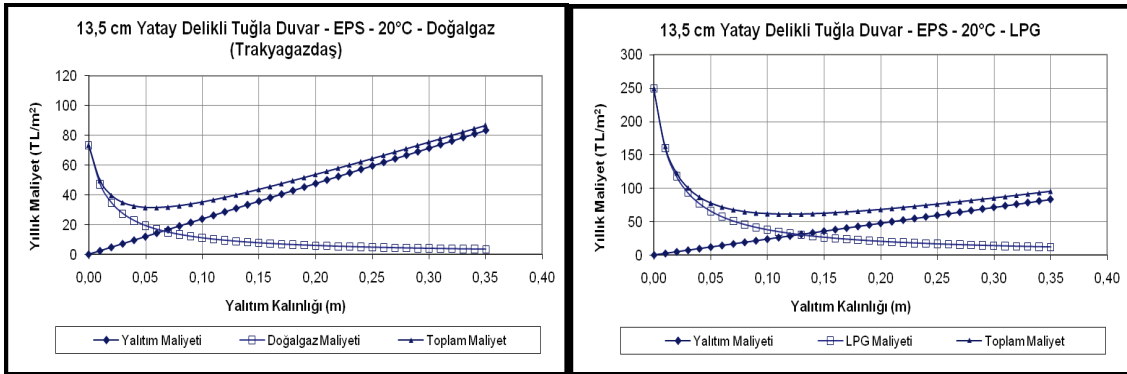
Binanın yalıtım kalınlığını artırmak binadan olan ısı kaybını ve ısıtma amaçlı yakıt maliyetini de azaltır. Ancak yalıtım kalınlığını artırmak yalıtım malzemesi maliyetini de artırmaktadır. Bir noktaya kadar yalıtım maliyetinin artması yakıt maliyetinin azalmasına sebep olmaktadır. Ancak bu noktadan sonra yakıt maliyetindeki azalma yalıtım maliyetindeki artmayı karşılayamamaktadır. Bu çalışmada sırasıyla yerli kömür, ithal kömür, doğalgaz, LPG, elektrik ve fuel-oil yakıtlarının kullanılması durumunda değişik duvar tipleri için; yalıtım, yakıt ve toplam maliyeti gösteren eğrilerden optimum kalınlık değerleri için hesaplamalar yapılmış ve aşağıdaki şekillerde sunulmuştur.

Şekil 2. de 13,5 cm Yatay Delikli Tuğla Duvar + EPS yalıtım sonuçları, değişik yakıtlar için yalıtım kalınlığına bağlı maliyet göstergesi verilmiştir.



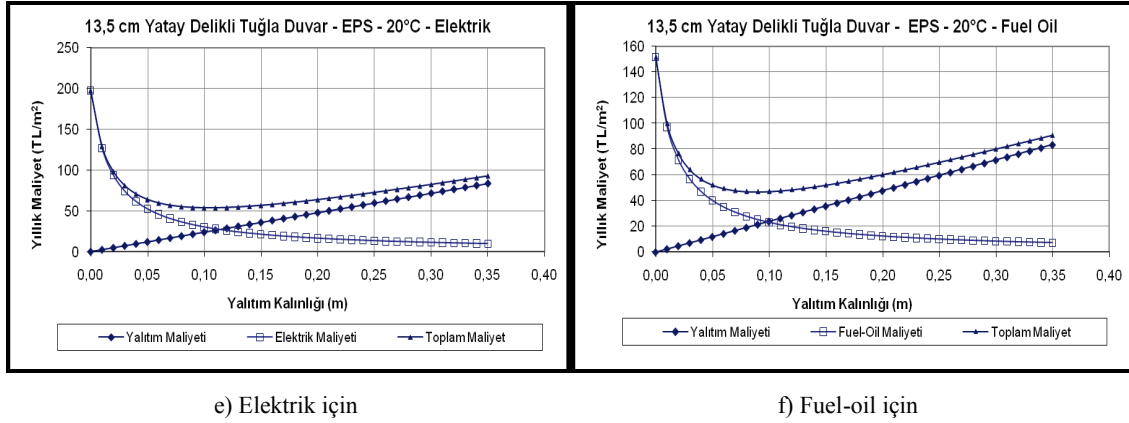
a) Kömür (Yerli) için

b) Kömür (İthal) için



c) Doğalgaz için yalıtım

d) LPG için

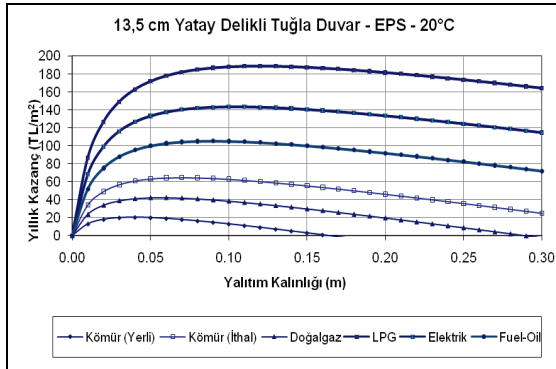


Şekil 2. Yatay delikli tuğla+EPS yalıtım için yalıtım kalınlığına bağlı maliyet değişimi.

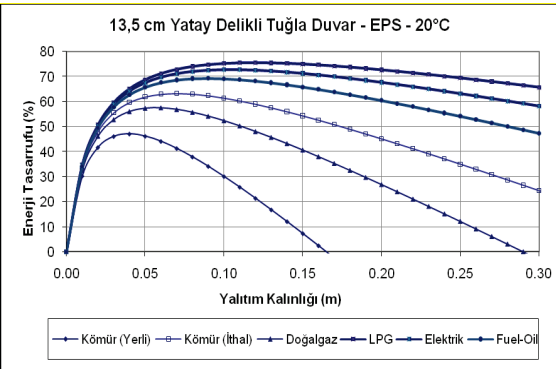
Şekillerden görüldüğü gibi yalıtım ve yakıt maliyetlerine bağlı olarak değişen toplam maliyet eğrisi bir minimum dan geçmekte, toplam maliyetin minimum olduğu yalıtım kalınlığı optimum yalıtım kalınlığı olarak elde edilmektedir. Değişik duvar tipleri ve farklı yakıtlar için optimum yalıtım kalınlıkları benzer şekilde elde edilmiştir. Elde edilen optimum yalıtım kalınlıkları Tablo 3.1, 3.2 ve 3.3 te verilmiştir.

Ayrıca değişen yalıtım kalınlıklarına bağlı olarak; değişik duvar tipleri ve farklı yakıtlar için yıllık tasarruf edilen kazançlar ve enerji tasarrufları belirlenmiş ve Tablo 3.1, 3.2 ve 3.3 te verilmiştir.

Yalıtım kalınlığının yatay delikli tuğla+EPS yalıtımlı duvarda farklı yakıtlar için yıllık tasarrufa etkisi Şekil 3'te ve enerji tasarruflarına etkisi Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 3. Yıllık kazançın yalıtım kalınlığına bağlı değişimi



Şekil 4. Enerji tasarrufunun yalıtım kalınlığına bağlı değişimi

Yukarıdaki şekillerden; en fazla yıllık tasarruf sırasıyla LPG, Elektrik, fuel-oil, ithal kömür, doğalgaz ve yerli kömür şeklinde olduğu görülmektedir. Yıllık tasarruf yakıtın maliyeti ile doğru orantılı olduğundan, yüksek maliyetli yakıt kullanıldığında enerji tasarrufu da buna paralel olarak artmaktadır. Yalıtım binanın ilk yatırım maliyetini arttıran bir uygulamadır. Ancak yalıtımlı ve yalıtımsız durumlardaki maliyet hesaplarından; yalıtımsız yıllık toplam ısıtma maliyeti ile yalıtımlı haldeki yıllık kazanç oranı geri ödeme süresini vermektedir. Belirlenen geri ödeme sürelerinden sonraki yıllarda işletme maliyetinin azalması ve enerji tüketiminde azalma sağlar.

Bu çalışmada Edirne şartlarında optimum yalıtım kalınlığının ekonomik analizi yapılmıştır. 6 farklı yakıt türü, 2 farklı yalıtım malzemesinin 5 farklı duvar tipi uygulamasında hesaplanan optimum yalıtım kalınlıklarına göre; geri dönüşüm süreleri, yıllık tasarruf edilen kazançlar ve enerji tasarrufları belirlenmiş ve Tablo 3.1, 3.2 ve 3.3 de sunulmuştur.

**Tablo 3.1** Tuğla duvar için, farklı yakıt ve farklı yalıtım malzemeleri için optimum yalıtım kalınlığı, geri ödeme süreleri, ve tasarruflar

<i>Duvar Tipi</i>	<i>13,5 cm Yatay Delikli Tuğla Duvar (DD1)</i>							
<i>Yalıtım</i>	<i>EPS</i>				<i>Taş Yünü</i>			
<i>Yakıt Tipi</i>	<i>Optimu m Kalınlık (m)</i>	<i>Geri Ödeme Süresi (Yıl)</i>	<i>Yıllık kazanç (TL/m<sup>2</sup>)</i>	<i>Enerji Tasarruf u (%)</i>	<i>Optimu m Kalınlık (m)</i>	<i>Geri Ödeme Süresi (Yıl)</i>	<i>Yıllık kazanç (TL/m<sup>2</sup>)</i>	<i>Enerji Tasarruf u (%)</i>
<i>Kömür(Yerli)</i>	0,039	2,125	20,49	47,07	0,050	1,994	21,83	50,14
<i>Kömür(İthal)</i>	0,070	1,582	64,52	63,20	0,087	1,526	66,88	65,52
<i>Doğal Gaz</i>	0,057	1,740	42,15	57,48	0,071	1,664	44,06	60,08
<i>LPG</i>	0,119	1,325	188,21	75,49	0,148	1,297	192,23	77,10
<i>Elektrik</i>	0,104	1,376	143,33	72,68	0,130	1,343	146,84	74,46
<i>Fuel-oil</i>	0,089	1,445	104,95	69,19	0,111	1,405	107,96	71,17

**Tablo 3.2.** Gaz beton duvar için, farklı yakıt ve farklı yalıtım malzemeleri için optimum yalıtım kalınlığı, geri ödeme süreleri, ve tasarruflar

<i>Duvar Tipi</i>	<i>15 cm Gaz Beton Duvar (DD2)</i>							
<i>Yalıtım</i>	<i>EPS</i>				<i>Taş Yünü</i>			
<i>Yakıt Tipi</i>	<i>Optimu m Kalınlık (m)</i>	<i>Geri Ödeme Süresi (Yıl)</i>	<i>Yıllık kazanç (TL/m<sup>2</sup>)</i>	<i>Enerji Tasarruf u (%)</i>	<i>Optimu mKalınlı k (m)</i>	<i>Geri Ödeme Süresi (Yıl)</i>	<i>Yıllık kazanç (TL/m<sup>2</sup>)</i>	<i>Enerji Tasarruf u (%)</i>
<i>Kömür (Yerli)</i>	0,028	4,200	6,35	23,81	0,037	3,643	7,33	27,45
<i>Kömür (İthal)</i>	0,059	2,570	27,73	44,31	0,074	2,106	29,73	47,49
<i>Doğal Gaz</i>	0,045	2,727	16,48	36,66	0,058	2,494	18,03	40,10
<i>LPG</i>	0,108	1,618	94,45	61,79	0,135	1,558	98,10	64,17
<i>Elektrik</i>	0,093	1,734	69,74	57,67	0,117	1,659	72,88	60,27
<i>Fuel-oil</i>	0,078	1,899	48,97	52,66	0,098	1,802	51,61	55,50

**Tablo 3.3.** Sandviç duvarda, farklı yakıtlar için optimum yalıtım kalınlığı, geri ödeme süreleri, ve tasarruflar.

<i>Duvar Tipi</i>	<i>Sandviç Duvar (DD3)</i>			
<i>Yalıtım</i>	<i>YDT(13,5cm)+EPS+ YDT(8cm)</i>			
<i>Yakıt Tipi</i>	<i>Optimum Kalınlık(m)</i>	<i>Geri Ödeme Süresi (Yıl)</i>	<i>Yıllık kazanç (TL/m<sup>2</sup>)</i>	<i>Enerji Tasarrufu (%)</i>
<i>Kömür (Yerli)</i>	0,033	2,998	10,79	33,36
<i>Kömür (İthal)</i>	0,064	1,907	39,78	52,44
<i>Doğal Gaz</i>	0,050	2,198	24,80	45,50
<i>LPG</i>	0,119	1,475	125,65	67,81
<i>Elektrik</i>	0,098	1,557	94,16	64,25
<i>Fuel-oil</i>	0,083	1,671	67,48	59,86

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada Edirne ili için bina ısıtmasında; yerli kömür ve ithal kömür, doğalgaz, LPG, elektrik, fuel-oil den oluşan altı farklı yakıt ve beş farklı duvar modelinde yatay delikli tuğla veya gaz beton duvarlarda dıştan yalıtımda EPS veya Taş yünü, yada yatay delikli tuğla ile EPS den oluşan sandviç duvarda ısı yalıtımı uygulanmasında dış duvarlarda gerekli optimum yalıtım kalınlıkları hesaplanmıştır. Optimum yalıtım kalınlıkları açısından bakıldığında sırasıyla; yerli kömür, doğalgaz, ithal kömür, fuel-oil, elektrik ve LPG yakıtları için artan değerlerde değiştiği, en küçük yalıtım kalınlığının en ucuz yakıt maliyetleri için sağlandığı görülmektedir. Gaz beton duvar, EPS dıştan yalıtım uygulamasında yerli kömür için 0,028 m olan optimum yalıtım kalınlığı, LPG yakıt kullanıldığında 0,108 m ye ulaşmakta, aynı sıralamada en az enerji tasarrufu %23,81 ile yerli kömürde, en fazla enerji tasarrufu %61,79 ile LPG kullanımındadır. Geri ödeme süreleri optimum yalıtım kalınlıkları ile ters yönde bir değişim izleyerek Gaz beton duvara EPS yalıtımında yerli kömür için 4,2 yıl, LPG kullanımında 1,618 yıl tespit edilmiştir. Aynı duvar tipine Taş yünü ile yalıtım yapılması durumunda, yerli kömür yakıt için 0,037m olan optimum yalıtım kalınlığı, LPG yakıt için 0,135m ye yükselmektedir. Yaygın olarak uygulama bulan yatay delikli tuğla duvara dıştan EPS yalıtım durumunda optimum yalıtım kalınlığı; en düşük yerli kömür için 0,039m en fazla LPG kullanımında 0,119m, geri ödeme süresi sırasıyla 2,125 yıl ve 1,325yıl ; enerji tasarrufu yerli kömür için % 47,07 ve LPG için %75,49 tespit edilmiştir. Yerli kömür kullanımı bütün duvar tiplerinde en düşük optimum yalıtım kalınlığını, en fazla geri ödeme sürelerini vermektedir. Yerli kömürü takiben doğalgaz değerlendirilmelidir. Edirne’de de kullanılan yerli kömür ucuz olduğu için tercih edilmesi ile birlikte hava kirliliği oranlarını da oldukça yükseltmektedir. Ancak ısı yalıtımı uygulaması ile yakıt tüketimi azalacağından; yerli kömür için gerekli tedbirler alınarak ve yakma sistemleri iyileştirilerek kullanılmalıdır. Yakıt maliyetinin artması hem optimum yalıtım kalınlığının, hem de enerji tasarrufunun artışına neden olur. Yalıtımla elde edilen tasarruf kullanıcılara ve dolayısıyla ülke ekonomisine olumlu katkı sağlar.

#### SİMGELER

$C_A$	: Isıtma için yıllık enerji maliyeti (TL/m <sup>2</sup> -yıl)
$C_f$	: Yakıt maliyeti (TL/kg, TL/m <sup>3</sup> , TL/kWh)
$C_{ins}$	: Yalıtım malzemesinin maliyeti (TL/m <sup>2</sup> )
$C_1$	: Yalıtım malzemesinin birim hacim fiyatı (TL/m <sup>3</sup> )
$C_t$	: Yalıtılmamış binanın toplam ısıtma maliyeti (TL/m <sup>2</sup> -yıl)
$DD$	: Derece gün sayısı (°C gün)
$E_A$	: Isıtma için gerekli yıllık enerji miktarı (J/m <sup>2</sup> -yıl)
$g$	: Enflasyon oranı
$H_u$	: Yakıtın alt ısıl değeri (J/kg, J/m <sup>3</sup> , J/kWh)
$i$	: Faiz oranı
$k$	: Yalıtım malzemesinin ısıl iletim katsayısı (W/mK)
$U$	: Toplam ısı geçiş katsayısı (W/m <sup>2</sup> K)



$m_{fA}$	: Yakıt Tüketimi (kg/m <sup>2</sup> -yıl, m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> -yıl, kWh/m <sup>2</sup> -yıl)
$N$	: Ömür süresi (yıl)
$PW$	: Şimdiki değer faktörü
$q$	: Birim alandan olan ısı kaybı (W/m <sup>2</sup> )
$q_A$	: Yıllık ısı kaybı (MJ/m <sup>2</sup> -yıl)
$r$	: Gerçek faiz oranı
$R_d$	: Dış ortam havasının ısı direnç katsayısı (m <sup>2</sup> K/W)
$R_i$	: İç ortam havasının ısı direnç katsayısı (m <sup>2</sup> K/W)
$R_{ins}$	: Yalıtım malzemesinin ısı direnç katsayısı (m <sup>2</sup> K/W)
$R_w$	: Yalıtımsız duvar tabakasının ısı direnç katsayısı (m <sup>2</sup> K/W)
$R_{tw}$	: Yalıtımsız duvar tabakasının toplam ısı direnç katsayısı (m <sup>2</sup> K/W)
$T_o$	: Ortalama dış sıcaklık (°C)
$T_b$	: Mahal sıcaklığı (°C)
$x$	: Yalıtım kalınlığı (m)
$x_{op}$	: Optimum yalıtım kalınlığı (m)
$\eta_s$	: Yakma sisteminin verimi

#### KAYNAKLAR

- [1] Buyukalaca O., Bulut H, Yılmaz T.” Analysis of variable-base heating and cooling degree-days for Turkey. Applied Energy”; 69 (4): 269–283, 2001.
- [2] Hasan A., “Optimizing insulation thickness for buildings using life cycle cost” Applied Energy; (63): 115-124, 1999.
- [3] Çomaklı K, Yüksel B.; “Optimumizing Insulation Thickness of External Walls for Energy Saving” Applied Thermal Engineering; 23, 473-479,2003.
- [4] Gölcü M., Dombaycı Ö.A., Abalı, S., “Denizli için optimum Yalıtım kalınlığının Enerji tasarrufuna Etkisi ve Sonuçları”, Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi, Cilt 21, 639-644.
- [5] Bolattürk A., “ Determination of Optimum Insulation Thickness for Building Walls with Respect to various Fuels and Climate Zones in Turkey, Applied Thermal Engineering; 26 , 1301–1309, 2006.
- [6] Bolattürk A., “Optimum Insulation Thickness for Building Walls with Respect to Cooling and Heat Degree-Hours in the warmest Zone in Turkey,Bulding and Environment; 43 , 1055–1064, 2007
- [7] Dombaycı Ö.A., Gölcü M., Pancar Y., “ Optimization of insulation thickness for external walls using different energy-sources” Applied Energy; 83, 921–928, 2006
- [8] Aytaç A., Aksoy U.T., “Enerji Tasarrufu için Dış Duvarlarda Optimum Yalıtım Kalınlığı ve Isıtma Maliyeti İlişkisi”, Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi, Cilt 21, 753-758, 2006.
- [9] Özel M., “Bina Dış Duvarlarının Optimum Yalıtım Kalınlıkları için Dinamik Yaklaşım ve Maliyet Analizi”, Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi, Cilt 23, 879-884, 2008
- [10] TS 825 “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları”, Resmi Gazete 27019 sayı, 2008.
- [11] <http://www.poas.com.tr>
- [12] <http://www.tki.gov.tr/tki/komur.aspx>
- [13] <http://www.trakyagazdas.com/sertifika/trakyagazdasgazfiyatları.aspx>
- [14] Dağsöz A.K., Bayraktar K.G., “Türkiye’de Derece Gün Sayıları ve Enerji Politikalarımız”, İzocam Yayınları, A-8, 1995.