

# DIŞ DUVARDA ISIL DAVRANIŞLARIN MEKAN KONFORUNA ETKİSİ

Türkan GÖKSAL ÖZBALTA  
Necdet ÖZBALTA

## ÖZET

Bu çalışmada ısıtma yükünün yüksek olduğu Eskişehir ili iklimsel koşullarında 3 farklı dış duvar kuruluşu için optimum yalıtım kalınlığı, yıllık enerji tasarrufu ve geri ödeme süresi hesaplanmış olup, yalıtım malzemesi olarak ekspande polistiren (EPS-Karbon takviyeli) ve iki farklı yakıt türü (kömür ve doğal gaz) ele alınmıştır. Hesaplarda  $P_1$ - $P_2$  metodu kullanılmış ve ekonomik analiz süresi 10 yıl alınmıştır. Sonuç olarak, kullanılan yakıt türü ve duvar kuruluşuna bağlı olarak, yalıtım kalınlığı 0.0835 – 0.1269 m, enerji tasarrufu 4.066 – 19.332  $\$/m^2$  ve 0.821 – 2.561 yıl arasında değişen geri ödeme süresi bulunmuştur. Mekan konforu açısından, bina dış duvarlarının ısı depolama kapasitelerinin yorumlanmasında faz kayması ve sönüm oranı önemli parametrelerdir. Çok katmanlı duvar kuruluşunda, her katmanın yeri ve kalınlığının, faz kayması ve sönüm oranı üzerinde etkisi vardır. Çalışmada bir boyutlu, zamana bağlı ısı iletim denklemi sonlu farklar yöntemi ile katmanların termofiziksel özellikleri de dikkate alınarak çözülmüştür. Dıştan yalıtılmış duvar kuruluşunda faz kayması betonarme, tuğla, hafif beton olmak üzere 7.58 – 7.08 – 6.75 h, içten yalıtılmış duvar kuruluşunda ise 6.52 – 6.35 – 5.92 h olarak bulunmuştur. Sönüm oranı ise sırası ile 0.0063, 0.0133, 0.0155 ve 0.0119, 0.0144, 0.0177 aralığında hesaplanmış olup, ısı kütlenin etkin olarak kullanılabilmesi için ısı yalıtımının duvar dış yüzeyinde konumlanması gereği tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Dış duvarlar, Optimum yalıtım kalınlığı, Enerji kazancı, Faz kayması, Sönüm oranı.

## ABSTRACT

In this study, which consists of two parts, examines the efficiency of insulation location and thermo-physical properties of various external wall materials. In the first part, the optimum insulation thickness of external walls for various wall materials (concrete, brick and lightweight concrete) and different fuel types (coal and natural gas) in cold region (Eskişehir) has been investigated. The optimization is based on the  $P_1$ - $P_2$  method. It was found out that the optimum insulation thicknesses for investigated wall materials vary between 0.0835 and 0.1269 m, energy saving 4.066 – 19.332  $\$/m^2$  and payback period 0.821 and 2.561 years. Besides, the effect of the thermal properties of different wall constructions (concrete, brick and lightweight concrete) and the location of insulation on time lag and decrement factor are studied; as known they have effect on the indoor thermal comfort, and then, the daily thermal behaviours of various wall constructions are simulated. As known in consequence of the study, time lags were determined for concrete, brick and lightweight concrete walls between 7.58 – 7.08 – 6.75 h on the outer insulated walls and 6.52 – 6.35 – 5.92 h on the inner insulated walls. The decrement factor was computed between 0.0063, 0.0133, 0.0155 and 0.0119, 0.0144, 0.0177 respectively.

**Key Words:** External wall, Optimum insulation thickness, Energy saving, Time lag, Decrement factor.

## 1. GİRİŞ

Teknolojik gelişmeler, hızlı nüfus artışı ve kentleşme, artan konfor talepleri enerji tüketimi artışını hızlandırmaktadır. Türkiye'nin yıllık nüfus artış oranı 2009 yılında 1.45 % gerçekleşmiştir [1]. Ayrıca sınırlı özkaynaklar ve enerji tüketiminde yaklaşık % 75 oranında dışa bağımlılık, enerjiyi verimli kullanmanın önemini artırmaktadır. Türkiye'de toplam enerji tüketiminin yaklaşık % 37'si binalarda kullanılmaktadır [2,3]. Bilindiği gibi binaların yapı kabuğundan olan ısı kayıplarında, dış ortam ile ilişkili olan duvarlar ve çatılar önemli rol oynamaktadır. Dolayısı ile duvar kuruluşlarında yalıtım uygulamaları, enerji kayıplarının azaltılması ve iç mekan konforunun sağlanmasında en etkili yöntemlerden biridir. Ayrıca enerjinin korunumu, yakıt tüketimini ve çevreye verilen emisyonları azaltmaktadır. Gelişen çevre bilinci paralelinde kaynakların verimli kullanımı ve enerjinin korunumu, ülkelerin enerji politikalarında ön planda yer almaktadır. Bu bağlamda Avrupa Birliği tarafından 2002 yılında yürürlüğe konan EC/2002/91 European Directive on the Energy Performance of Buildings (EPBD) önemli bir dönüm noktası oluşturmaktadır [4].

Yapı kabuğu kuruluşunda kullanılan malzeme ve yalıtım, ısıtma/soğutma amaçlı enerji tüketimi ve iç mekan konforunun sağlanmasında etkilidir. Uygun duvar malzemesi ve yalıtım kalınlığı kullanımı ile ısı yalıtım sisteminin performansı artırılarak enerji verimliliği sağlanabilir. Enerji verimliliği konusundaki önemi ve potansiyeli açısından optimum yalıtım kalınlığına ilişkin çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bolattürk çalışmasında Türkiye'nin farklı iklim bölgeleri için optimum yalıtım kalınlığını 0.02-0.017 m, enerji tasarruf potansiyelini ise % 22-79 olarak saptamıştır [5]. Bir diğer çalışmada ise Akdeniz Bölgesi iklim koşullarında farklı iki yalıtım malzemesi kullanılarak optimum yalıtım kalınlığı, yapım kullanım maliyeti yöntemi kullanılarak birim duvar alanı için 21 \$ olarak bulunmuştur [6]. Çomaklı ve Yüksel çalışmalarında soğuk iklim bölgesi koşullarında optimum yalıtım kalınlığını 0.085–0.107 m, birim duvar alanı için enerji tasarrufunu 12.14 \$ olarak bulmuşlardır [7]. Bilindiği üzere çevresel sorunlar ve enerji fiyatlarının sürekli yükselmesi nedeni ile dış duvarlarda ısı yalıtımı uygulanması konusu giderek önem kazanmaktadır. Optimum yalıtım kalınlığı, ısı yalıtım malzemesi ve enerji fiyatına, ısıtma ve soğutma yüküne, ısıtma sisteminin verimliliğine, bina yaşam süresine ve ekonomik kriterlere (enflasyon ve faiz oranı) bağlıdır.

Dış duvarların termofiziksel özellikleri, enerji korunumu ve iç mekan konforunun sağlanmasında etkilidir. Enerji etkin bina tasarım kriterlerinin en önemlilerinden biri bina kabuğuna ısı yalıtımı uygulanması ile elde edilen düşük ısı geçirgenlik katsayısıdır (U-değeri) [8]. Ancak ısı geçirgenlik katsayısı yanı sıra bina kabuğunu oluşturan malzemelerin ısı kütlesi özelliği de önemlidir. Bina kabuğunun ısı performansı, malzemenin ısı özellikleri, sıralanışı, güneş enerjisi yutma kapasitesi ve ısı geçirgenliği ile ilişkilidir. Bu bağlamda dış duvar kuruluşlarının zaman gecikmesi ve sönüm oranı özelliklerinin dikkate alınması yararlıdır [9–11].

Bu çalışmada iç ve dış yüzeyinde ısı yalıtımı uygulanan betonarme, tuğla ve hafif beton malzemelerle oluşturulan dış duvarların ısı performansı araştırılmıştır. Bu amaçla 3 farklı dış duvar kuruluşu için, farklı yakıt türleri kullanılarak, ısıtma derece-gün sayısı 3649 olan, TS 825'e göre 3. Bölgede yer alan Eskişehir [12,13] (Rakım 800 m, Boylam 30°31' Doğu, Enlem 39°46' Kuzey), (Tablo 1) iklim koşullarında optimum yalıtım kalınlıkları P<sub>1</sub>-P<sub>2</sub> metodu ile hesaplanmıştır. Isıtma dönemi Ekim-Nisan ayları arasında olup, yakıt türü olarak kömür ve doğal gaz enerjisi dikkate alınmıştır. Söz konusu yakıtların alt ısı değerleri ve fiyatları, ısıtma sistemlerinin etkinliği Tablo 2'de verilmiştir [14–16].

**Tablo 1.** Eskişehir İli İklimsel Verileri

Aylar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Yıllık ortalama
Aylık ortalama günlük sıcaklık °C	0.8	1.2	4.6	10.2	15.2	18.7	21.5	21.4	16.9	12.0	7.0	2.4	10.9
Aylık ortalama günlük ışınım MJ m <sup>-2</sup> day <sup>-1</sup>	4.48	6.73	9.12	12.53	15.61	17.83	18.38	16.91	13.12	8.99	5.58	3.52	11.07
Maksimum Sıcaklık °C	3.8	5.8	10.7	17.1	22.0	25.8	28.9	29.2	25.1	20.1	13.1	6.4	17.3
Minimum Sıcaklık °C	-3.8	-3.4	-1.0	3.3	7.9	10.9	13.3	13.3	9.2	5.0	1.6	-1.3	4.6

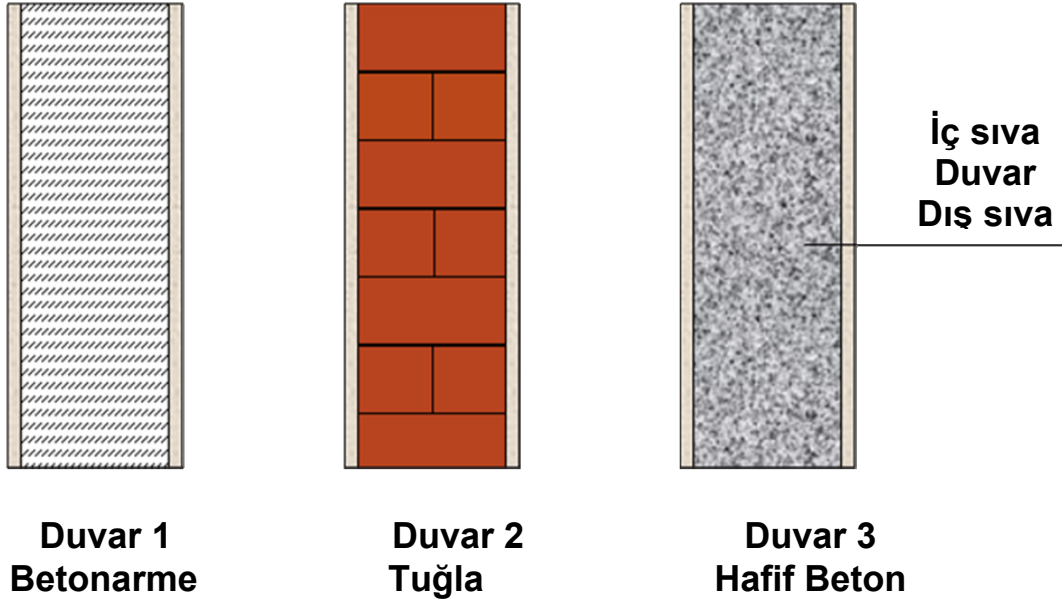
Ayrıca duvar kuruluşunda yalıtım malzemesi konumunun (iç yüzey, dış yüzey) faz kayması ve sönüm oranı üzerindeki etkisi incelenmiştir.

**Tablo 2.** Hesaplarda Kullanılan Parametreler

Parametre	Değer	
Isıtma-Derece-Gün	DD =3649 °C gün	
İç Sıcaklık	20 °C	
Yakıt	Kömür	Doğalgaz
Alt ısıtıcı değeri (H)	29.307 MJ/kg	34.541 MJ/m <sup>3</sup>
Isıtma sistem verimi (η)	0.60	0.93
Fiyat	0.372 \$/kg	0.445 \$/m <sup>3</sup>
Yalıtım Malzemesi		
Ekspande Polistiren (EPS-Karbon takv.)	k =0.035 W/mK	
Isıl iletkenlik	ρ = 16 kg/m <sup>3</sup>	
Yoğunluk	116.48 \$/m <sup>3</sup>	
Fiyat		
Faiz oranı i	% 7.37	
Enflasyon oranı g	% 7.85	
P1	9.501	
Ekonomik analiz süresi (N)	10 yıl	

## 2. DIŞ DUVAR KURULUŞU VE DUVAR MALZEMELERİ

Dış duvar kuruluşları strüktür içindeki işlevlerine bağlı olarak farklı malzeme ve katmanlardan oluşur. Bu çalışmada, iç ve dış sıvaya sahip, betonarme, tuğla ve hafif beton malzemelerinden oluşan duvar kuruluşları ele alınmıştır (Şekil 1, Tablo 3) [17–20]. Ayrıca yalıtım malzemesi olarak ekspande polistiren (EPS-Karbon takviyeli) seçilmiş ve yalıtımın duvarın dış yüzeyinde ve iç yüzeyinde yer aldığı kabul edilmiştir.



Şekil 1. Duvar Kuruluşları ve Malzemeleri

Tablo 3. Duvar Kuruluşu ve Malzemelerin Isıl Özellikleri

Duvar tipi	Kalınlık (m)	Isı iletim katsayısı k (W/mK)	Yoğunluk $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Özgül ısı c (J/kg K)	Isıl direnç R (m <sup>2</sup> K/W)
Duvar 1 - Betonarme	-	-	-	-	-
Dış sıva	0.02	0.872	1442	837	0.3174
Betonarme	0.20	2.0000	2400	1060	
İç sıva	0.02	0.698	1442	837	
Duvar 2 - Tuğla	-	-	-	-	-
Dış sıva	0.02	0.872	1442	837	0.8039
Yatay delikli tuğla	0.20	0.341	768	781	
İç sıva	0.02	0.698	1442	837	
Duvar 3 - Hafif beton	-	-	-	-	-
Dış sıva	0.02	0.872	1442	837	0.7423
Hafif beton	0.20	0.381	609	840	
İç sıva	0.02	0.698	1442	837	

### 3. DIŞ DUVARLARDA ISITMA YÜKÜNÜN HESAPLANMASI

Binalarda ısı kayıpları, dış duvarlardan, pencerelerden, tavan/döşemelerden ve infiltrasyon yolu ile gerçekleşir. Bu çalışmada sadece dış duvarlardan olan ısı kaybı dikkate alınmıştır. Dış duvarın birim yüzeyinde meydana gelen yıllık ısı kaybı,

$$q_A = 86400 \cdot DD \cdot U \quad (\text{J/m}^2\text{yıl}) \quad (1)$$

eşitliğiyle hesaplanır [6–21]. Burada, U toplam ısı geçirgenlik katsayısı, DD derece-gün sayısını göstermektedir. Toplam ısı geçirgenlik katsayısı (U),

$$U = (R_i + R_w + R_{ins} + R_o)^{-1} \quad (W/m^2K) \quad (2)$$

eşitliği ile hesaplanır.  $R_i$  ve  $R_o$  iç ve dış yüzey ısı taşınım direncini,  $R_w$  ise yalıtımsız duvarın ısı iletim direncini ifade eder. Yalıtım katmanının ısı iletim direnci ( $R_{ins}$ ) ise,

$$R_{ins} = x/k \quad (m^2K/W) \quad (3)$$

olarak hesaplanır. Burada,  $x$  yalıtım malzemesinin kalınlığını,  $k$  ise ısı iletim katsayısını vermektedir. Dolayısı ile toplam ısı geçirgenlik katsayısı ( $U$ );

$$U = (R_{tw} + x/k)^{-1} \quad (W/m^2K) \quad (4)$$

şeklinde ifade edilir. Burada  $R_{tw}$ , yalıtımsız duvarın toplam ısı direncini ifade eder. Isıtma sisteminin etkinliği ( $\eta$ ) dikkate alındığında, ısıtma için harcanan yıllık enerji miktarı ise,

$$E_A = \frac{86400 \cdot DD}{\left(R_{tw} + \frac{x}{k}\right) \cdot \eta} \quad (J/m^2yıl) \quad (5)$$

eşitliğinden hesaplanır.

Hesaplarda kullanılan parametreler Tablo 2’de verilmiştir.

#### 4. OPTİMUM YALITIM KALINLIĞININ HESAPLANMASI VE YILLIK ENERJİ TASARRUFU

Çalışmada optimum yalıtım kalınlığının hesaplanması için  $P_1$ - $P_2$  metodu kullanılmıştır [21–23].  $P_1$ , kullanım ömrü süresince yakıt maliyetindeki kazancın, sistemin ilk kullanım yılında sağlanan yakıt maliyetindeki kazanca oranıdır.  $P_1$  parametresi

$$P_1 = (1 - Ci) PWF(N, i, d) \quad (-) \quad (6)$$

şeklinde tanımlanır. Burada  $i$  enflasyon oranı,  $d$  faiz oranı,  $C$  yatırımın gelir getirip getirmemesinin ayırıcı olup, sırasıyla 1 veya 0 değerlerini alır. Yatırım gelir getirmediği için  $C=0$  alınmıştır.  $PWF$  ise şimdiki değer faktörüdür.  $N$  ekonomik analiz süresi olup, hesaplamalarda 10 yıl olarak alınmıştır.  $P_2$ , ek sermaye yatırımları nedeniyle kullanım ömrü süresince ödenecek giderlerin, yatırım giderine oranı olup,

$$P_2 = D + M_s (1 - Ci) PWF(N, i, d) - R_v \frac{(1 - Ci)}{(1 + d)^N} \quad (-) \quad (7)$$

eşitliği ile tanımlanır. Burada  $M_s$  ilk yıldaki sigorta, bakım gibi giderlerin, ilk yatırım giderine oranı,  $D$  başlangıçta peşin olarak ödenen miktarın yatırım giderine oranı,  $R_v$  ekonomik analiz periyodu sonundaki hurda değerinin başlangıçtaki değere oranıdır. Bu çalışmada, vergi iadesi, bakım, sigorta giderleri sıfır olarak alınmıştır. Yatırım giderlerinin tümü başlangıçta peşin ödendiğinden  $D = 1$  olarak alınmıştır. Dolayısıyla bu çalışmada  $P_2$  değeri 1’e eşittir. Şimdiki değer faktörü ( $PWF$ ) ekonomik kriterlere bağlı olarak aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanır:

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

Yalıtımın kalınlığı  $x$  olmak üzere birim yüzey alanı için yalıtım maliyeti,

$$C_{ins} = C_i \cdot x \quad (\$/m^2) \quad (9)$$

eşitliği ile, yıllık ısıtma maliyeti ise

$$C_h = \frac{86400 \cdot DD \cdot C_f}{\left( R_{tw} + \frac{x}{k} \right) \cdot H \cdot \eta} \quad (\$/m^2 \text{ yıl}) \quad (10)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada,  $C_f$  yakıtın birim fiyatı,  $\eta$  ısıtma sisteminin verimliliği,  $H$  yakıt alt ısı değeridir.

Yalıtılmış binanın toplam ısıtma maliyeti

$$C_t = P_1 C_h + P_2 C_i x \quad (\$/m^2) \quad (11)$$

eşitliği ile bulunur ve eşitlik 10 ve 11 kullanılarak yalıtılmış binanın toplam ısıtma maliyeti

$$C_t = P_1 \frac{86400 \cdot DD \cdot C_f}{\left( R_{tw} + \frac{x}{k} \right) \cdot H \cdot \eta} + P_2 C_i x \quad (\$/m^2) \quad (12)$$

şeklinde yazılabilir. Toplam maliyeti minimum yapacak yalıtım kalınlığı, optimum yalıtım kalınlığıdır. Eşitlik 12'den optimum yalıtım kalınlığı

$$x_{opt} = \left( \frac{86400 P_1 C_f DD k}{P_2 H C_i \eta} \right)^{1/2} - k \cdot R_{tw} \quad (m) \quad (13)$$

olarak elde edilir. Yalıtım maliyetinin geri ödeme süresi ise eşitlik 14 veya 15 kullanılarak hesaplanır.

$$N = \frac{\ln \left[ 1 - \frac{C_i P_2 (R_w^2 k + R_w x) H \eta (d-i)}{86400 DD C_f} \right]}{\ln \left( \frac{1+i}{1+d} \right)} \quad \text{eger } i \neq d \quad (\text{yıl}) \quad (14)$$

$$N = \frac{C_i P_2 H \eta (R_w^2 k + R_w x) (1+i)}{86400 DD C_f} \quad \text{eger } i = d \quad (\text{yıl}) \quad (15)$$

## 5. DUVARDA ISI YALITIMI KONUMUNUN FAZ KAYMASI VE SÖNÜM ORANINA ETKİSİ

Sürekli değişen iklimsel koşullar etkisinde kalan dış duvarlar, ısı kütlesi olarak ısıtma/soğutma yükünün azaltılmasında rol oynarlar. Duvar malzemesinin özelliklerine bağlı olarak güneş enerjisinden ve iç ortam ısısından depolama aracılığı ile kazanç sağlanarak, depolanan enerjinin iç mekana aktarılması olanaklıdır. Dış duvarlarda opak ve saydam yüzeylerden elde edilen enerjinin belirlenmesinde maksimum ısı kazancı ve zamanı önemlidir. Ayrıca duvarı oluşturan katmanların termofiziksel özellikleri ve bu katmanların konumu, binanın ısı performansının belirlenmesinde önemli parametrelerdir. Bu bağlamda faz kayması ve sönüm oranı binanın ısı enerji depolamasında belirleyici rol oynar. Günlük sıcaklık değişimlerinin büyük olduğu bölgelerde, faz kayması ve sönüm oranının belirlenmesi, enerji etkin bina tasarımında ısıtma yükünün azaltılması için önemlidir. Faz kayması ve sönüm oranı, duvarı oluşturan malzeme özellikleri, kalınlığı ve duvar kuruluşundaki konumuna bağlıdır [24–27].

Sönüm oranı ( $f$ ); Duvar içinden zamana bağlı olarak ısı geçişi süresince, iç ve dış yüzeydeki sıcaklık genliklerinin biri birine oranı olarak tanımlanır.

$$f = \frac{T_{wi(max)} - T_{wi(min)}}{T_{wo(max)} - T_{wo(min)}} \quad (-) \quad (16)$$

Burada  $T_{wi(max)}$ ,  $T_{wi(min)}$ ,  $T_{wo(max)}$ ,  $T_{wo(min)}$  duvarın iç ve dış yüzeyindeki maksimum ve minimum sıcaklıklardır.

Faz kayması ( $\phi$ ) ise;

$$\phi = t_{T_{wi(max)}} - t_{T_{wo(max)}} \quad (h) \quad (17)$$

eşitliği ile ifade edilir; burada;  $t_{T_{wi(max)}}$   $t_{T_{wo(max)}}$  iç ve dış yüzey sıcaklıklarının maksimum düzeye ulaştıkları zamanı göstermektedir.

Yalıtımın duvar katmanı içindeki konumu, faz kaymasının maksimum, sönüm oranının ise minimum olmasını sağlamalıdır. Bunun için bir boyutlu, zamana bağlı ısı iletim denklemi, sınır koşulları dikkate alınarak sonlu farklar yöntemi ve açık yaklaşımla çözülmüştür. İncelemede duvar kuruluşunda ısı iletiminin bir boyutlu ve zamana bağlı olduğu varsayılmıştır. Bu süreçte ısı iletim denklemi aşağıdaki eşitlikle tanımlanır: [28–30].

$$(\partial T / \partial t) = \alpha (\partial^2 T / \partial x^2) \quad (K/s) \quad (18)$$

Burada duvar içinde “ $t$ ” anında ve “ $x$ ” konumundaki sıcaklık  $T(x,t)$ ,  $\alpha$  ise ısı yayılım katsayısıdır. Çok katmanlı duvarda, eşdeğer duvar özelliklerinin (ısı iletim katsayısı, ısı enerji depolama kapasitesi) hesaplanması Ek-1’de verilmiştir [31].

Enerji dengesi güneş ışınımı da dikkate alınarak oluşturulursa, duvar dış yüzeyinde ( $x=0$ ) ısı akısı

$$q_{out}(t,0) = \alpha_g I(t) + h_{out} [T_{out}(t) - T(t,0)] \quad (W/m^2) \quad (19)$$

şeklinde yazılır.

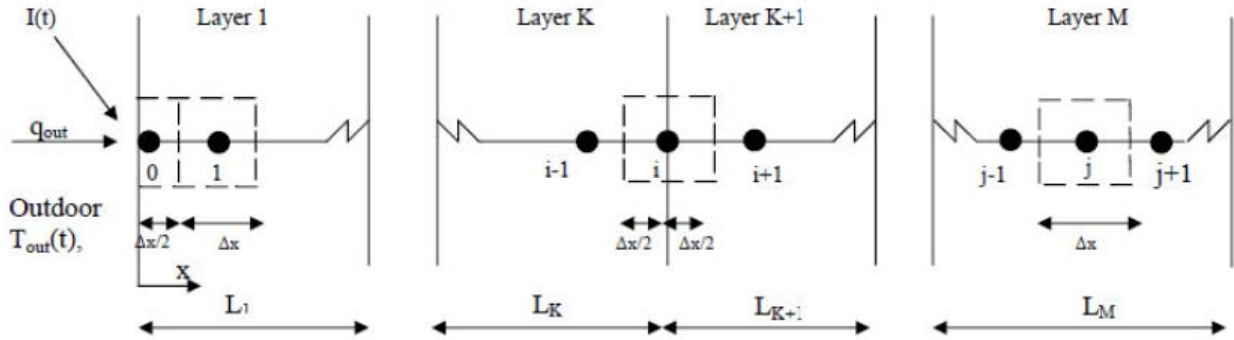
Burada  $I(t)$  duvar yüzeyine gelen güneş ışınımı,  $\alpha_g$  duvar dış yüzeyinin güneş ışınımını yutma katsayısı,  $h_{out}$  duvar dış yüzeyi ve dış ortam arasında ısı taşınım katsayısı,  $T_{out}(t)$  dış ortam sıcaklığı,  $T(t,0)$  duvar dış yüzey sıcaklığıdır.

Duvar iç yüzeyindeki ısı akısı,

$$q_{in}(t,0) = h_{in} [T(t,L) - T_{in}] \quad (\text{W/m}^2) \quad (20)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada  $h_{in}$ , iç ortam ve iç yüzey arasında ısı taşınım katsayısı,  $T_{in}$ , iç ortam sıcaklığı,  $T(t,L)$  duvar iç yüzey sıcaklığıdır.

Bu çalışmada 3 farklı duvar (betonarme, tuğla ve hafif beton) kuruluşunun günlük ısı davranışları incelenmiştir. Bir boyutlu, zamana bağlı ısı iletim denklemi, katmanların termofiziksel özellikleri ve sınır koşulları da dikkate alınarak sonlu farklar yöntemi ve açık yaklaşımla çözülmüştür. M katmanlı birleşik düzlem duvarda kararlılık kriteri sağlanacak şekilde düğüm noktaları oluşturulmuştur (Şekil 2). Enerji korunumu uygulanarak, katmanların ara yüzeyi, her katmanın iç bölgesi, sınır koşulları da dikkate alınarak iç ve dış yüzey için sonlu farklar denklemleri oluşturulmuştur [32–33].



Şekil 2. M Katmanlı Birleşik Düzlem Duvarda Düğüm Noktaları

Dış yüzeyde düğüm noktası (0) için:

$$T_0^{p+1} = T_0^p [1 - 2Fo_1(1 + Bi_1)] + 2Fo_1 T_1^p + 2Fo_1 Bi_1 T_s \quad (\text{K}) \quad (21)$$

Burada  $Fo_1 = \alpha_1 \Delta t / \Delta x$  ve  $Bi_1 = h_{out} \Delta x / k_1$  olup, eşdeğer çevre sıcaklığı  $T_s$  aşağıda tanımlanmıştır: [34].

$$T_s = T_{out}(t) + \alpha_g I(t) / h_{out} \quad (\text{K}) \quad (22)$$

(K) ve (K+1) katmanları arasındaki düğüm noktası (i) için:

$$T_i^{p+1} = \frac{(k_K / \Delta x)T_{i-1}^p + (k_{K+1} / \Delta x)T_{i+1}^p - T_i^p [B + (k_K / \Delta x) + (k_{K+1} / \Delta x)]}{B} \quad (\text{K}) \quad (23)$$

Burada  $B = (\rho_K C_K \Delta x + \rho_{K+1} C_{K+1} \Delta x) / 2 \Delta t$  olarak tanımlanmıştır.

M katmanı içindeki düğüm noktaları (j) için

$$T_j^{p+1} = T_j^p (1 - 2Fo_M) + Fo_M (T_{j-1}^p + T_{j+1}^p) \quad (\text{K}) \quad (24)$$

Burada  $Fo_M = \alpha_M \Delta t / \Delta x$  olarak tanımlanmıştır.

İç yüzeydeki düğüm noktası (N) için:

$$T_n^{p+1} = T_n^p [1 - 2Fo_N(1 + Bi_N)] + 2Fo_N T_{n-1}^p + 2Fo_N Bi_N T_{in} \quad (\text{K}) \quad (25)$$

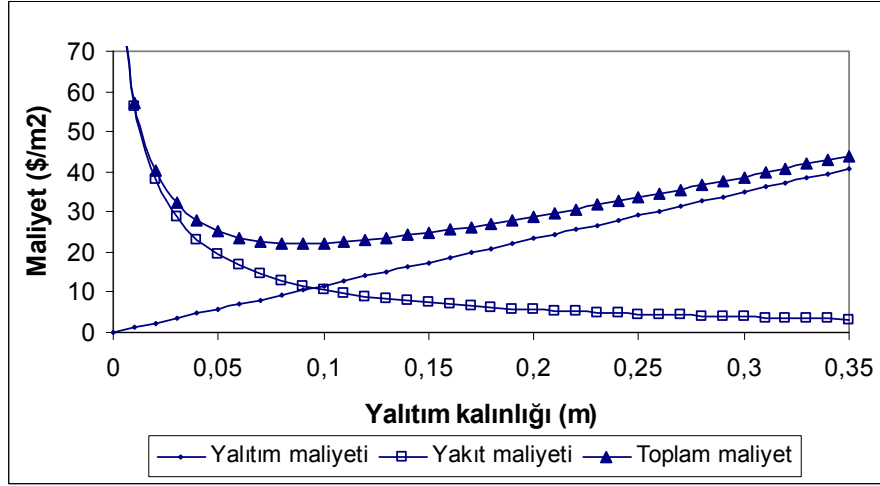


Burada  $Fo_N = \alpha_N \Delta t / \Delta x$  ve  $Bi_N = h_{in} \Delta x / k_N$  olarak tanımlanmıştır.

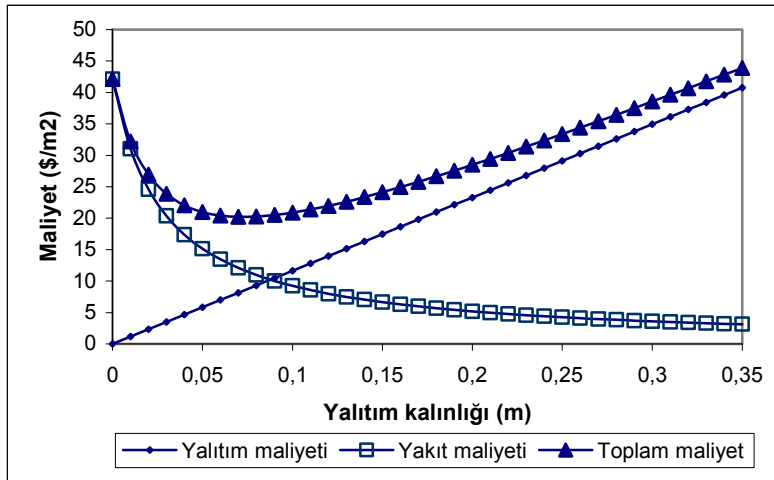
Elde edilen sonlu farklar denklem takımı, Gauss Seidel iterasyon yöntemi kullanılarak çözülmüştür [35-36]. Her katman için kararlılık kriteri sağlanacak şekilde düğüm noktaları arasındaki uzaklık  $\Delta x = 0,01$  m alınmıştır. Duvar kuruluşu içinde sıcaklık dağılımının saatlik değişimi, tüm düğüm noktaları için yazılan sonlu farklar denklemlerinin açık yaklaşımla, eşzamanlı çözümüyle elde edilmiştir. Çözümlemede duvar iç ve dış yüzeyindeki ısı taşınım katsayıları  $8,141 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $23,26 \text{ W/m}^2\text{K}$ , duvar yüzeyinin güneş ışımasını yutuma katsayısı  $0,6$  alınmıştır [28].

## SONUÇ

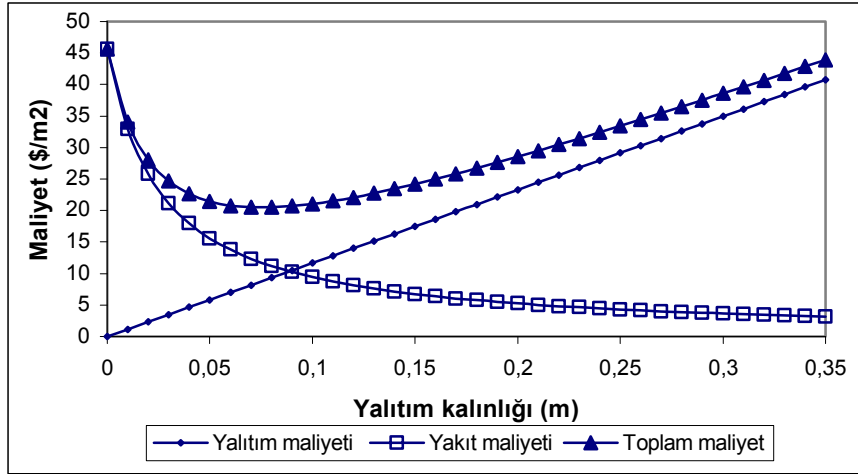
Enerji kayıpları artan yalıtım kalınlığına bağlı olarak azalır. Yalıtım uygulanması durumunda ısı yükü ve yakıt maliyeti azalır. Optimum yalıtım kalınlığı, iklimsel koşullar, yalıtım malzemesinin özelliği ve ekonomik parametrelere bağlıdır [7-37]. Yalıtım kalınlığına bağlı olarak, yalıtım ve yakıt maliyetleri ile toplam maliyetin değişimi Eskişehir iklim koşullarında, yaygın olarak kullanılan doğalgaz dikkate alınarak betonarme, tuğla ve hafif beton duvar kuruluşları için Şekil 3a,b,c de verilmiştir.



Şekil. 3a. Betonarme Duvarda Isıtma Yalıtım ve Toplam Maliyetin Yalıtım Kalınlığı ile Değişimi Duvar 1



Şekil. 3b. Tuğla Duvarda Isıtma, Yalıtım ve Toplam Maliyetin Yalıtım Kalınlığı ile Değişimi- Duvar 2



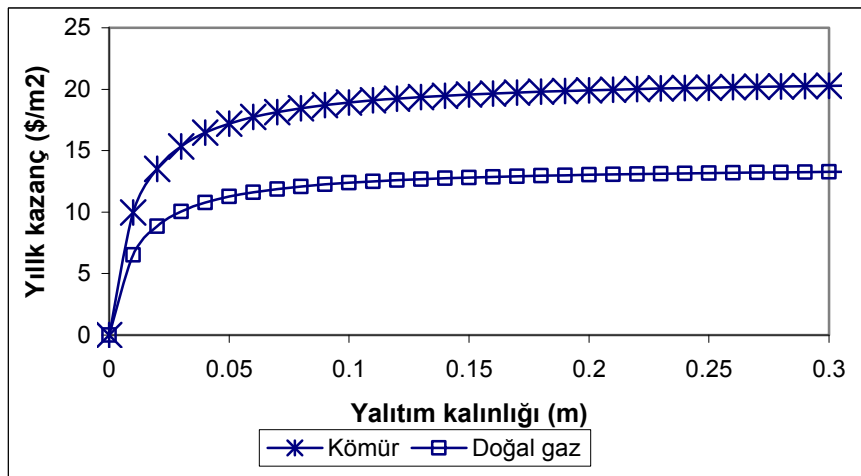
**Şekil 3c.** Hafif Beton Duvarda Isıtma Yalıtım ve Toplam Maliyetin Yalıtım Kalınlığı ile Değişimi Duvar 3

Farklı duvar tipleri için optimum yalıtım kalınlığı eşitlik 13 kullanılarak hesaplanmıştır. Farklı yakıt türü ve duvar kuruluşları için sonuçlar Tablo 4'de görülmektedir. Optimum yalıtım kalınlığı betonarme duvar kuruluşu için 0.1006 – 0.1269 m, tuğla duvar için 0.0835 – 0.1099 m ve hafif beton duvar için 0.0857 – 0.1120 m arasında bulunmuştur.

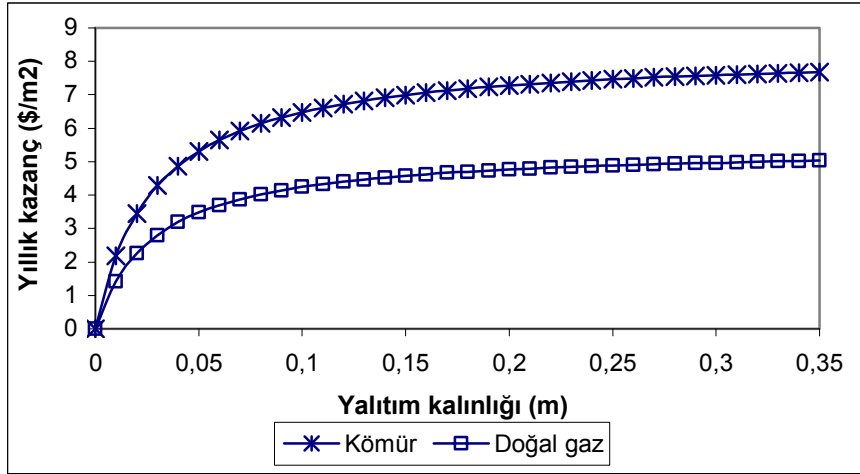
**Tablo 4.** Farklı Duvar Tipi ve Yakıt Türü İçin Optimum Yalıtım Kalınlığı, Enerji Kazancı ve Geri Ödeme Süresi

Duvar Tipi	Optimum yalıtım kalınlığı – Enerji kazancı – EPS		Geri ödeme süresi	
	EPS (Karbon takviyeli) (m)	(Karbon takviyeli) (\$/m <sup>2</sup> )	EPS (Karbon takviyeli) (yıl)	
	Kömür	Doğal Gaz	Kömür	Doğal Gaz
Betonarme	0.1269	0.1006	19.3322	12.3962
Tuğla	0.1099	0.0835	6.6089	4.0658
Hafif beton	0.1120	0.0857	7.2975	4.5166

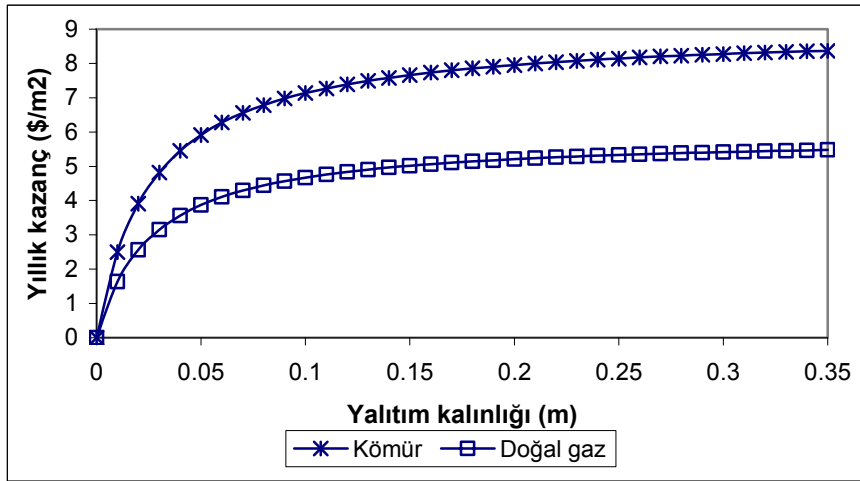
$P_1$  parametresi gibi optimum yalıtım kalınlığı da faiz ve enflasyon oranları gibi ekonomik kriterlerden etkilenir. Yakıt maliyetinin yüksek olması durumunda optimum yalıtım kalınlığının arttığı gözlenir. Dış duvarlara optimum yalıtım kalınlığının uygulanması önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlar. Enerji tasarrufu dış duvar kuruluşunun ısı özelliklerine, iklim koşullarına ve yakıt maliyetine bağlıdır. Enerji tasarrufuna farklı yakıt türlerinin etkisi Şekil 4 a,b,c'de görülmektedir.



**Şekil 4a.** Betonarme duvarda farklı yakıt türleri için yalıtım kalınlığının enerji tasarrufuna etkisi-Duvar 1



Şekil 4b. Tuğla Duvarda Farklı Yakıt Türleri İçin Yalıtım Kalınlığının Enerji Tasarrufuna Etkisi Duvar 2



Şekil 4c. Hafif Beton Duvarda Farklı Yakıt Türleri İçin Yalıtım Kalınlığının Enerji Tasarrufuna Etkisi- Duvar 3

Dış duvarların optimum yalıtılması ile sağlanacak kazançlar, betonarme duvar için 12.396 – 19.332 \$/m<sup>2</sup>, tuğla duvar için 4.066 – 6.609 \$/m<sup>2</sup> ve hafif beton duvar için 4.517 – 7.297 \$/m<sup>2</sup> olarak bulunmuştur. Farklı duvar tipleri ve yakıt türleri için geri ödeme süreleri Tablo 4'de görülmektedir. Geri ödeme süreleri betonarme duvar kuruluş için 0.821 – 1.015 yıl, tuğla duvar için 2.075 – 2.561 yıl, hafif beton duvar kuruluşu için 1.916 – 2.366 yıl olarak hesaplanmıştır.

Duvar malzemelerinin termofiziksel özelliklerine bağlı olarak faz kayması ve sönüm oranı değerleri Tablo 3 ve 5'de verilmiştir. Betonarme duvar kuruluşu (Duvar 1-dıştan yalıtım) için faz kayması ve sönüm oranları sırasıyla 7.58 h, 0.0063 değerindedir. Eşdeğer ısı depolama kapasitesi ise yüksek olup 1641.407 kJ/m<sup>3</sup>K ve ısı yayılım katsayısı 0.6858\*10<sup>-7</sup> m<sup>2</sup>/s 'dir. Tuğla duvar (Duvar 2-dıştan yalıtım) için faz kayması ve sönüm oranı değerleri sırasıyla 7.08 h ve 0.0133 olarak bulunmuştur. Eşdeğer ısı depolama kapasitesi 524.981 kJ/m<sup>3</sup>K ve ısı yayılım katsayısı ise 2.0372\*10<sup>-7</sup> m<sup>2</sup>/s olarak hesaplanmıştır. Hafif beton duvar (Duvar 3 - dıştan yalıtım) kuruluşu için faz kayması ve sönüm oranı değerleri sırasıyla 6.75 h ve 0.0155 değerleri arasında değişmektedir. Hafif beton duvar kuruluşunun eşdeğer ısı depolama kapasitesi düşük olup 467.447 kJ/m<sup>3</sup>K, ısı yayılım katsayısı ise (2.3032\*10<sup>-7</sup> m<sup>2</sup>/s) betonarme ve tuğla duvara göre yüksektir (Tablo 3-5). İçten yalıtımlı betonarme duvar kuruluşu (Duvar 1) için faz kayması ve sönüm oranları sırasıyla 6.52 h, 0.0119; tuğla duvar kuruluşu (Duvar 2) için 6.35 h ve 0.0144; hafif beton duvar kuruluşu (Duvar 3) için ise 5.92 h ve 0.0177 değerleri arasında değişmektedir.

**Tablo 5.** Faz Kayması Ve Sönüm Oranına Malzeme Özelliklerinin Etkisi

Duvar tipi	Eşdeğer ısı iletim katsayısı	Eşdeğer ısı depolama kapasitesi	Eşdeğer ısı yayılım katsayısı	Dıştan yalıtımlı duvar		İçten yalıtımlı duvar	
				Sönüm oranı	Faz kayması (h)	Sönüm oranı	Faz kayması (h)
	$k_{eq}$ (W/mK)	$(\rho c)_{eq}$ (kJ/m <sup>3</sup> K)	$\alpha_{eq} * 10^4$ (m <sup>2</sup> /s)				
Duvar 1 Betonarme	0.1126	1641.407	0.6858	0.0063	7.58 h	0.0119	6.52 h
Duvar 2 Tuğla	0.1069	524.981	2.0372	0.0133	7.08 h	0.0144	6.35 h
Duvar 3 Hafif Beton	0.1077	467.447	2.3032	0.0155	6.75 h	0.0177	5.92 h

## TARTIŞMA

Bu çalışmada ısıtma yükünün yüksek olduğu Eskişehir ili iklimsel koşullarında 3 farklı dış duvar kuruluşu için optimum yalıtım kalınlığı, yıllık enerji tasarrufu ve geri ödeme süresi hesaplanmış olup, yalıtım malzemesi olarak EPS (karbon takviyeli) ve iki farklı yakıt türü ele alınmıştır. Hesaplarda  $P_1$ - $P_2$  metodu kullanılmış ve ekonomik analiz süresi 10 yıl alınmıştır. Sonuç olarak, kullanılan yakıt türü ve duvar kuruluşuna bağlı olarak, yalıtım kalınlığı 0.0835 – 0.1269 m, enerji tasarrufu 4.066 – 19.332  $\$/m^2$  ve 0.821 – 2.561 yıl arasında değişen geri ödeme süresi bulunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre kömür kullanımında doğalgaza kıyasla daha fazla enerji tasarrufu görülmektedir. Bilindiği gibi Eskişehir için yaygın olarak kullanılan yakıt türleri doğalgaz ve kömürdür.

Bina dış duvarlarının ısı depolama kapasitelerinin yorumlanmasında faz kayması ve sönüm oranı önemli parametrelerdir. Çok katmanlı duvar kuruluşunda, her katmanın yeri ve kalınlığının, faz kayması ve sönüm oranı üzerinde etkisi vardır. Çalışmada bir boyutlu, zamana bağlı ısı iletim denklemi sonlu farklar yöntemi ile katmanların termofiziksel özellikleri de dikkate alınarak çözülmüştür. Dıştan yalıtılmış duvar kuruluşunda faz kayması betonarme, tuğla ve hafif beton için sırası ile 7.58 h, 7.08 h ve 6.75 h, içten yalıtılmış duvar kuruluşunda ise 6.52 h, 6.35 h ve 5.92 h olarak bulunmuştur. Sönüm oranı ise dıştan yalıtımlı duvarda sırası ile 0.0063, 0.0133 ve 0.0155 ve içten yalıtımlı duvar kuruluşlarında 0.0119, 0.0144 ve 0.0177 aralığında hesaplanmıştır. Isıl kütleli etkin olarak kullanılabilmesi için ısı yalıtımının duvar dış yüzeyinde konumlanması gereği tespit edilmekle beraber, yoğunluğu yüksek olan betonarme duvar her iki yalıtım yerleşimi (dış-iç) için gerek faz kayması gerekse sönüm oranı açısından en uygun değerleri vermiştir.

Duvarın ısı depolama kapasitesinin yüksek olması, faz kaymasını artırır, sönüm oranını ise küçültür. Faz kaymasının büyük, sönüm oranının küçük değerlerde olması, iç mekan konforu açısından istenen bir durumdur. Diğer yandan ısı yayılım katsayısının yüksek olması faz kaymasının küçülmesine, sönüm oranının ise artmasına neden olur. Gerek iç mekan konforunun sağlanması gerekse enerji etkin bina tasarımında katmanların türü, kalınlığı, konumu, termofiziksel özellikleri, faz kayması ve sönüm oranı dikkate alınması gereken önemli parametrelerdir.

## KAYNAKLAR

[1] TUIK, [http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?tb\\_id=39&ust\\_id=11](http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?tb_id=39&ust_id=11)

- [2] ANON, "Report on Energy efficiency in the World and Turkey", Ch. Mech. Eng. 2008.
- [3] ERDAL, G., ERDAL, H., ESENGÜN, K., "The causality between energy consumption and economic growth in Turkey", Energy Policy, 36: 3838–3842, 2008.
- [4] THEODOSIOU, T.G., PAPADOPOULOS, A.M., "The impact of thermal bridges on the energy demand of buildings with double brick", Energy. Build., 40(11): 2083-2089, 2008.
- [5] BOLATTÜRK, A., "Determination of optimum insulation thickness for building walls with respect to various fuels and climate zones in Turkey", Appl. Therm. Eng., 26: 1301-1309, 2006.
- [6] HASAN, A., "Optimizing insulation thickness for buildings using life cycle cost", Appl. Energy, 63: 115-124, 1999.
- [7] ÇOMAKLI, K., YÜKSEL, B., "Optimum insulation thickness of external walls for energy saving", Appl. Therm. Eng., 23: 473-479, 2003.
- [8] ASTE, N., ANGELOTTI, A., BUZZETTI, M., "The influence of the external walls thermal inertia on the energy performance of well insulated buildings", Energy. Build., 41: 1181-1187, 2009.
- [9] VIJAYALAKSMI, M.M., NATARAJAN, E., SHANMUGASUNDARAM, V., "Thermal behaviour of building wall elements", Jour. of Appl. Sci., 6(15): 3128-3133, 2006.
- [10] ASAN, H., SANCAKTAR, Y.S., "Effects of wall's thermophysical properties on time lag and decrement factor", Energy. Build., 28: 159-166, 1998.
- [11] YUMRUTAŞ, R., KAŞKA, Ö., YILDIRIM, E., "Estimation of total equivalent temperature difference values for multilayer walls and flat roofs by using periodic solution", Build. Environ., 42: 1878-1885, 2007.
- [12] TS 825, Binalarda Isı Yalıtım Kuralları – 1998, TSE Ankara, Türkiye.
- [13] BÜYÜKALACA, O., BULUT, H., YILMAZ, T., "Analysis of variable-base heating and cooling degree-days for Turkey", Appl. Energy., 69: 269-283, 2001.
- [14] DOSİDER, <http://www.dosider.org/upload/gaz/Tr/27.xls>, 15.11.2009.
- [15] ÇOBAN, M.T., "Calculation of system performance and investigation of design parameters on 20 kW solid oxide fuel cell system using natural gas as the fuel", Meeting on natural gas, 1-3 Jun, Denizli, 2006.
- [16] ANON, Principles of industrial energy management. Volume 2, General directorate of electrical power resources survey and development administration, 1997.
- [17] TSİLİNGİRİS, P.T., "On the thermal time constant of structural walls", Appl. Ther. Eng., 24: 743-757, 2004.
- [18] SAMBOU, V., LARTIGUE, B., MONCHOUX, F., ADJ, M., "Thermal optimization of multilayered walls using genetic algorithms", Energy. Build., 41: 1031-1036, 2009.
- [19] VIVANCOS, J.L., SOTO, J., PEREZ, I., ROS-LIS, J.V., MARTIINEZ-MANEZ, R., "A new model based on experimental results for the thermal characterization of bricks", Build. Environ., 44(5): 1047-1052, 2009.
- [20] ZÜRCHER, C., FRANK, T., "Bauphysik Bau und Energie, Leitfaden für Planung und Praxis, Teubner, 1998.
- [21] YU, J., YANG, C., TIAN, L., LIAO, D., "A study on optimum insulation thicknesses of external walls in hot summer and cold winter zone of China", Appl. Energy, 86: 2520-2529, 2009.
- [22] DUFFIE, J.A., BECKMAN, W., "Solar Engineering of Thermal Processes", John Wiley and Sons Inc. 2006.
- [23] BACOS, G.C., TSAGAS, N.F., "Technology, thermal analysis and economic evaluation of a sunspace located in Northern Greece", Energy and Build., 31(3): 261-266, 2000.
- [24] ASAN, H., "Numerical computation of time lags and decrement factors for different building materials", Build. Environ., 41(5): 615-620, 2006.
- [25] KONTOLEON, K.J., BIKAS, D.K., "The effect of south wall's outdoor absorption coefficient on time lag, decrement factor and temperature variations", Energy. Build., 39: 1011-1019, 2007.
- [26] KONTOLEON, K.J., EUMORFOPOULOU, E.A., "The influence of wall orientation and exterior surface solar absorptivity on time lag decrement factor in Greek region", Ren. Energy, 33(7): 1652-1664, 2008.
- [27] ASAN, H., "Effects of Wall's insulation thickness and position on time lag and decrement factor", Energy. Build., 28: 299-305, 1998.
- [28] ANTONOPOULOS, K.A., VALSAMAKIS, S.P., "Effects of indoor and outdoor heat-transfer coefficients and solar absorptance on heat flow through walls. Energy", 18(3): 259-271, 1993.
- [29] ANTONOPOULOS, K.A., DEMOCRITOU, F., "Correlations for the maximum transient non-periodic indoor heat flow through 15 typical walls", Energy, 18(7): 705-715, 1993.

- [30] ÖZBALTA, T.G., ÖZBALTA, N., “Theoretical and experimental analysis of the solar energy gain of transparent insulated external wall in climatic conditions of İzmir”, Energy Edu. Sci. Tech. Part A: Energy Sci. Res., 25(2): 69-86, 2010.
- [31] TSILINGIRIS, P.T., “On the transient thermal behaviour of structural walls-the combined effect of time varying solar radiation and ambient temperature”, Ren. Energy., 27: 319-336, 2002.
- [32] AL-SANEA, S.A., “Thermal performance of building roof elements”, Build. Environ., 37:665-675, 2002.
- [33] ÖZEL, M., PIHTILI, K., “Optimum location and distribution of insulation layers on building walls with various orientations”, Build. Environ., 42: 3051-3059, 2007.
- [34] KUEHN, T.H., RAMSY, J.W., THRELKELD, J.L., “Thermal Environmental Engineering”, Prentice Hall, 1998.
- [35] INCROPERA, F.P., DEWITT, D.P., “Fundamentals of Heat and Mass transfer”, John Wiley and Sons, 1996.
- [36] ÖZİŞİK, M.N., “Heat Conduction”, John Wiley and Sons, 1980.
- [37] SÖYLEMEZ, M.S., ÜNSAL, M., “Optimum insulation thickness for refrigeration applications”, Energy Conv. Man., 40: 13-21, 1999.

### Ek-1

Isı depolama kapasitesi olarak isimlendirilen, özgül ısı ve yoğunluk çarpımı, malzemenin ısı enerji depolama yeteneğinin ölçütüdür. Çok katmanlı duvarın eşdeğer ısı depolama kapasitesi aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır: [30]

$$(\rho c_p)_{eq} = \left( \frac{1}{\sum_{i=1}^n x_i} \right) \sum_{i=1}^n (\rho_i c_{pi} x_i)$$

Çok katmanlı duvarın eşdeğer ısı iletim katsayısı aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır:

$$k_{eq} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{\sum_{i=1}^n \left( \frac{x_i}{k_i} \right)}$$

Isıl yayılım katsayısı, malzemenin ısı iletkenliğinin ısı kapasitesine oranını veren önemli bir özelliktir. Çok katmanlı duvarın eşdeğer ısı yayılım katsayısı

$$(\alpha)_{eq} = \frac{k_{eq}}{(\rho c_p)_{eq}}$$

denklemleri ile tanımlanır.

### SEMBOLLER

Bi	Biot sayısı (-)
C	yatırımın gelir getirme ayıracağı (-)
C <sub>i</sub>	yalıtım malzemesi maliyeti \$/m <sup>3</sup>

$C_f$	yakıt maliyeti (\$/kg, \$/m <sup>3</sup> )
$C_h$	yıllık ısıtma maliyeti (\$/m <sup>2</sup> )
$C_{ins}$	yalıtım maliyeti (\$/m <sup>2</sup> )
$C_t$	yalıtılmış binanın toplam ısıtma maliyeti (\$/m <sup>2</sup> )
$D$	ilk yatırımın giderinin başlangıçta peşin ödenen oranı (-)
$d$	faiz oranı (-)
$DD$	derece-gün sayısı (°C-gün)
$E_A$	yıllık ısıtma enerjisi (J/m <sup>2</sup> yıl)
$f$	sönüm oranı (-)
$F_o$	Fourier sayısı (-)
$H$	yakıt tipine bağlı olarak alt ısı değer (J/kg, J/m <sup>3</sup> )
$h$	ısı taşınım katsayısı (W/m <sup>2</sup> K)
$i$	enflasyon oranı (-)
$k$	ısı iletim katsayısı (W/mK)
$M_S$	ilk yıldaki sigorta, bakım gibi giderlerin, yatırım giderine oranı (-)
$N$	ekonomik analiz süresi (yıl)
$P_1$	kullanım ömrü süresince yakıt maliyetindeki kazancın, sistemin ilk kullanım yılında sağlanan yakıt maliyetindeki kazanç oranı (-)
$P_2$	ek sermaye yatırımları nedeniyle kullanım ömrü süresince ödenecek giderlerin, yatırım giderine oranı (-)
$PWF$	şimdiki değer faktörü (-)
$R$	ısı direnci (m <sup>2</sup> K/W)
$R_i$	iç yüzey ısı taşınım direnci (m <sup>2</sup> K/W)
$R_{ins}$	yalıtım ısı direnci (m <sup>2</sup> K/W)
$R_o$	dış yüzey ısı taşınım direnci (m <sup>2</sup> K/W)
$R_w$	yalıtımsız duvarın ısı iletim direnci (m <sup>2</sup> K/W)
$R_{tw}$	yalıtımsız duvarın toplam ısı direnci (m <sup>2</sup> K/W)
$R_V$	ekonomik analiz periyodu sonundaki hurda değerinin başlangıçtaki değere oranı (-)
$T$	sıcaklık (°C)
$t$	zaman (s)
$q_A$	ısı kaybı (J/m <sup>2</sup> yıl)
$q$	ısı akısı (W/m <sup>2</sup> )
$U$	toplam ısı geçirgenlik katsayısı (W/m <sup>2</sup> K)
$x$	kalınlık (m), kartezyen koordinat (-)
$x_{opt}$	optimum yalıtım kalınlığı (m)
$\alpha$	ısı yayılım katsayısı (m <sup>2</sup> /s)
$\alpha_g$	yutma katsayısı (-)
$\phi$	faz kayması (h)
$\eta$	ısıtma sisteminin etkinliği (-)
$\rho$	yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )
$\Delta x$	düğüm noktaları arası uzaklık (m)
$\Delta t$	zaman aralığı (s)

## İNDİSLER

$A$	yıllık
$eq$	eşdeğer
$f$	yakıt
$i$	iç
$ins$	yalıtım
$o$	dış
$opt$	optimum
$t$	toplam
$w$	duvar malzemesi

## ÖZGEÇMİŞ

### Türkan GÖKSAL ÖZBALTA

Eskişehir doğumludur, Lisans öğrenimini FH Hamburg, Yüksek Lisans Mimar Sinan Üniversitesi, Doktora çalışmasını Dortmund Üniversitesi'nde yapmıştır. 1985 yılında Anadolu Üniversitesi, Mimarlık Bölümünde göreve başlamış, 1988–1992 yılları arasında Dortmund Üniversitesinde doktorasını tamamlamış ve 1993–2007 yılları arasında Anadolu Üniversitesi Mimarlık Bölümü Yapı Anabilim Dalında öğretim üyesi olarak görev yapmıştır. Halen Ege Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde Doç.Dr. olarak görevini sürdürmektedir. Bilimsel çalışmaları yanı sıra mimari proje uygulamaları da bulunmakta olup, Yapımda Endüstrileşme, Güneş Mimarisi ve Enerji Etkin Binalar konularında çalışmaktadır.

### Necdet ÖZBALTA

1953 İzmir doğumludur. Ege Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü'nden 1976 yılında Mühendis, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü'nden 1986 yılında Doktor Mühendis derecelerini aldı. Yenilenebilir Enerji Sistemleri Bilim Dalında 1989 yılında Doçent, 1996 yılında ise Profesör unvanını aldı. 1997–2000 yılları arasında Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü Müdürlüğü görevinde bulunmuştur. 1994 yılında Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde görevlendirilmiştir. 1997 yılında atandığı Makina Mühendisliği Bölümü Enerji Anabilim Dalı Başkanlığını ve Makina Mühendisliği Bölümü'ndeki öğretim üyeliği görevini halen sürdürmektedir.