

BİNA KABUĞU YÜZEY ALANI VE YALITIM KALINLIĞININ ISITMA MALİYETİ ÜZERİNDE ETKİLERİ

U. Teoman AKSOY ve Ömer KELEŞOĞLU

Yapı Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi, Fırat Üniversitesi, 23119 Elazığ
taksov@firat.edu.tr, okelesoglu@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 28.11.2005; Kabul/Accepted: 21.08.2006)

ÖZET

Bu çalışmada, bina kabuğu opak bölümlerindeki enerji kayıpları, bina kabuğu yüzey alanı, yönlendiriliş durumu ve yalıtım kalınlığına göre araştırılmıştır. Bu amaçla incelenecek olan bina dış kabuğunda, geçici rejimde bir boyutlu ısı iletiminin gerçekleştiği kabul edilmiş ve sıcaklık dağılımı probleminin çözümünde “explicit” sonlu fark yaklaşımı kullanılmıştır. Çalışmada uzun kenarları doğu-batı, kısa kenarları kuzey-güney yönünde olan binada hesaplanan saatlik ısı kayıplarına göre, maksimum ısı kaybı yüzey alanı büyüklüğünden dolayı batı ve doğu yönlerinde gerçekleşmiştir. Yalıtım kalınlığına bağlı olarak, %19 ile %77 arasında değişen enerji tasarrufu sağlanmıştır. Yalıtım maliyetine göre kaybedilen enerjinin geri dönüşüm süresi ise, 5.3 ile 13.6 yıl arasındadır. Hesaplamalarda, Türkiye'nin soğuk şehirlerinden biri olan Elazığ'ın iklimsel verileri kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bina yönlendirilmesi, ısı yalıtımı, bina kabuğu, ısıtma maliyeti.

EFFECTS OF BUILDING ENVELOPE SURFACE AREA AND INSULATION THICKNESS ON HEATING COST

ABSTRACT

In this study, the energy losses from opaque parts of building envelope are investigated according to surface area, building orientation stated and insulation thickness. Time-dependent one dimensional heat transfer is assumed to exist in external walls and an explicit finite difference method is used in the solution of conduction heat transfer problem of the external walls. Calculations were done with the climatic data of Elazığ, where is one of the coldest cities of Turkey. According to heat losses calculated for a building which has long sides oriented to east-west and short sides to north-south, the maximum amount of heat losses occurs in east-west direction because of the large of the surface area in this directions. Energy savings with amount of 19% - 77% provided depending on insulation thickness. Payback period of lost energy based on insulation cost is 5.3 and 13.6 years.

Keywords: Building orientation, insulation thickness, building envelope, heating cost.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

İnsan sağlığı ve çalışma verimliliği için gerekli olan ısısal konfor ihtiyacı, nüfus ve şehirleşmeyle birlikte hızla artmaktadır. ısısal konfor ihtiyacından dolayı, artan enerji talebinin büyük bir bölümü, binaların ısıtılmasında tüketilmektedir [1]. Fosil yakıt stoklarının azalması ve sebep olduğu zararları da düşünürsek, enerji tasarrufu bir zorunluluk olmaktadır.

Bina kabuğu, yalıtım ve maliyet enerji tasarrufunda değerlendirilmesi gereken önemli parametrelerdendir. Bina kabuğu için, malzemelerin fiziksel özellikleri, kalınlık ve yapım şekli önemlidir. ısı yalıtımı eklenme-

siyle, bina kabuğundan maksimum performans beklenir. ısı yalıtımı, binanın ilk yatırım maliyetini artırır. Ancak, elde edilecek enerji tasarrufuyla, birkaç yıl içerisinde, bina kendisini amorti edecektir. Enerji ihtiyacını en az maliyetle karşılamak temel kuraldır. Ekonomik analiz yaparak, ısıtma enerjisi ve yalıtım maliyetine bağlı olan, toplam maliyeti belirlemek gerekir. Yalıtım kalınlığı minimum maliyet için önemlidir [2].

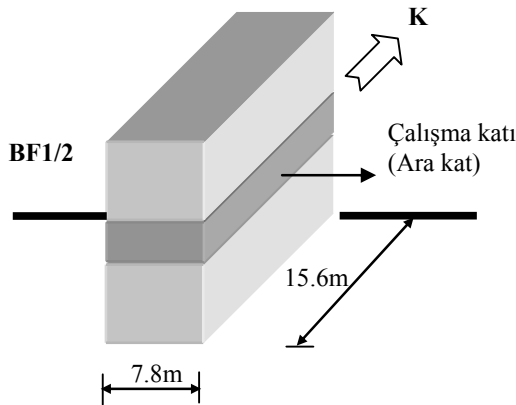
Bina tasarımında, enerji tasarrufunu maksimum edebilmek için yapılan çalışmalarda, sayısal simülasyon ve pasif güneş teknikleri kullanılmakta ve bu çalışmalar devam etmektedir. Steward'a [3] göre; enerji tasarrufu, bina kabuğu, enerji kullanım sistemleri ve kullanıcıla-

rın katkılarıyla sağlanabilir. Gandara [4]; bina yönü, pencere ve gölgelenmesi gibi pasif parametrelerle, iç ortam sıcaklığı arasındaki ilişkiyi araştırmış ve bir ekonomik değerlendirme de yapmıştır. Gratia [5]; ısıtma enerjisi hesaplamalarında kullanılabilecek bir bilgisayar programı (OPTI) geliştirmiş ve bina yönü ve biçimi, pencere tipi ve alanı, gölgeleme gibi parametrelere göre ısıtma enerjisi hesaplamaları yapmıştır. Gieseler [6]; bina kabuğundaki farklı ısı yalıtımı uygulamalarının ekonomikliğini üzerine durmuş, örnek olarak aldığı tek katlı bir binada yön, boyut ve cam malzeme gibi parametrelere bağlı olarak yıllık enerji tasarrufu hesaplamaları yapmış ve yapı elemanlarının U-değerlerini de hesaplamıştır. Oral [7]; bina yüzey alanının bina hacmine oranı (A/V) ile bina kabuğu U-değeri, U-değeri ile bina formu arasındaki ilişkiyi araştırmış ve bina formuna bağlı olarak U-değeri hesaplamaları yapmıştır.

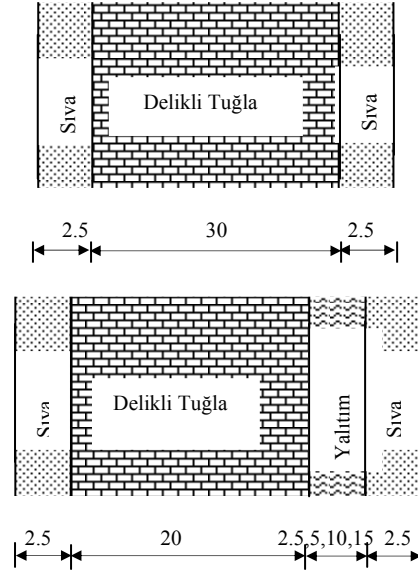
Bu çalışmada da; bina kabuğu yüzey alanı ve yalıtım kalınlığının ısıtma enerjisi üzerindeki etkisini görmek amacıyla, dar cepheleri kuzey-güney, uzun cepheleri doğu-batı yönünde konumlandırılmış, penceresiz ve biçim faktörü (bina derinliğinin uzunluğa oranı) (BF1/2) olan kütsel bir yapıdaki ısıtma enerjisi miktarı ve bağlı olarak, maliyet, geri dönüşüm süresi ve tasarruf oranları hesaplanmıştır. Bina kabuğundaki zamana bağlı sıcaklık dağılımı problemi, “explicit” sonlu farklar yöntemi kullanılarak çözülmüştür. Çalışma, bina kabuğundaki sıcaklık dağılımına göre, opak yüzeylerde olan ısı geçişini hesaplayan ve sonuçları bir yıllık periyot için ısıtma enerjisi miktarı olarak veren, Fortran bilgisayar programı [8] ile gerçekleştirilmiştir. Çözümlemede, Elazığ ili iklimsel verileri kullanılmıştır.

2. METOT (METHOD)

Bu çalışma, Türkiye'nin soğuk şehirlerinden biri olan Elazığ'da, bina kabuğu yüzey alanı ve yalıtım kalınlığının enerji tasarrufu üzerindeki etkisini araştırmak için yapılmıştır. Bilindiği gibi bina kabuğu, opak ve saydam bölümlerden meydana gelir. Saydam bölüm için tek kaplama malzemesi cam olurken, opak bölümlerde farklı malzemeler tercih edebiliriz. Bu nedenle bina kabuğunun sadece opak kısımlarındaki anlık ısı kaybına göre, binanın yıllık ısıtma enerjisi hesaplanmıştır.



Şekil 1. Bina şekli ve konumlandırılması (The shape and orientation of the building)



Şekil 2. Bina kabuk detayı (Details of the building envelope)

Yüzey alanı ve yalıtım kalınlığı parametrelerine göre kabuk senaryolarının yıllık ısıtma enerjisi miktarları hesaplanmış ve değerlendirilmiştir. Çalışmada ki ön kabuller aşağıda sıralanmıştır:

- Çalışma, bir binanın ara katında olduğu varsayılan kütsel bir yapı için yapılmıştır.
- Bina “kuzey-güney-doğu-batı” doğrultusunda zemine konumlandırılmıştır (Şekil 1).
- Bina kabuğunun, ısı yalıtımsız ve 2.5, 5, 10, 15 cm ısı yalıtımlı alternatifleri düşünülmüştür. Bina kabuğu, dışta ısı yalıtımı, ortada delikli tuğla ve her iki kenarda da sıva ile şekillendirilmiştir (Şekil 2). Kabukta kullanılan malzemelere ait fiziksel özellikler Tablo 1’de verilmiştir.
- Binanın kat yüksekliği 3.00 m ve boyutları 15.6×7.8 m’dir.
- Bina kabuğunun opak kısımları araştırıldığından pencere düşünülmemiştir.
- Binada, insanlardan, elektronik araçlardan olan ısı kazançları ile, çatı, döşeme ve pencerelerden olan ısı kayıpları, bu çalışmada dikkate alınmamıştır.
- Geri dönüşüm süresi hesaplamalarında, duvarın yaşam dönemi içindeki, bakım-onarım vb. maliyetleri dikkate alınmamıştır.

2.1. Güneş Radyasyonu Hesaplamaları (The Calculations of Solar Radiation)

Çalışmada, saatlik güneş radyasyonu hesaplamalarında, iklimsel özelliklere bağlı olmayan ve güneş ışınımı ölçümlerine göre de daha güvenilir olan astronomik hesaplamalar kullanılmıştır. Dünyanın etrafında bir atmosfer

Tablo 1. Duvar bileşenlerine ait fiziksel özellikler
(Thermal characteristics of materials used building envelope)

Malzeme	Isı iletim katsayısı k, (W/mK)	Yoğunluk ρ (kg/m ³)	Özgül Isı c (J/kgK)
Sıva	1.4	2000	1050
Tuğla	0.7	1800	840
Isı yalıtımı (EPS-strafor)	0.04	20	1500

tabakası olmasaydı, güneş ışınlarına dik olan her yüzeye ortalama 1353 W/m^2 güneş enerjisi gelecekti. Literatürde de güneş ışınımı için sabit bir değer olarak 1353 W/m^2 alınmaktadır [9] ve bu değer güneş sabiti olarak adlandırılmaktadır.

Yeryüzünde eğik düzlem olarak nitelendirdiğimiz bina kabuğu yüzeyine gelen toplam güneş ışınımı direk, yayılı ve yansarak gelen güneş ışınımının toplamına eşittir. Bu ifade için Duffie [10] aşağıdaki eşitliği vermiştir.

$$I = R_d I_d + I_y \frac{1 + \cos \beta}{2} + I_a p \frac{1 - \cos \beta}{2} \quad (1)$$

Burada, β eğik düzlemin yatayla yaptığı açıdır 90° 'dir. p yerin yansıtma oranı olup 0.2 olarak alınmıştır. I_d , I_y ve I_a (W/m^2) sırasıyla, yatay düzleme gelen ortalama direk, yayılı ve tüm güneş ışınımı şiddeti olup,

$$I_y = r_y Q_y \quad (2)$$

$$I_a = r_y Q \quad (3)$$

$$I_d = I_a - I_y \quad (4)$$

eşitlikleriyle hesaplanır. Burada, Q_y ve Q sırasıyla, yatay düzleme gelen günlük yayılı ve tüm güneş ışınımıdır. r_y ve r_i ise,

$$r_y = \frac{\pi}{24} \frac{\cos w - \cos ws}{\sin ws - \frac{\pi}{180} ws \cos ws} \quad (5)$$

$$r_i = \frac{\pi}{4t_0} \left\{ \cos \left(\frac{180}{2} \frac{w}{ws} \right) + \frac{2}{\sqrt{\pi}} (1 - \psi) \right\} \quad (6)$$

$$\psi = \exp \left\{ -4 \left(1 - \frac{|w|}{ws} \right)^2 \right\} \quad (7)$$

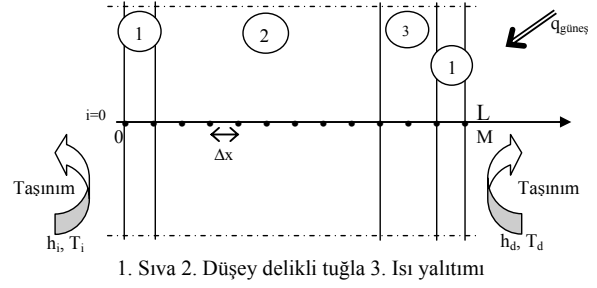
eşitlikleriyle hesaplanır. Eşitliklerde, w saat açısı, ws güneş doğuş ve batış saat açısı ve t_0 gün uzunluğudur. Eşitlik (1)'deki R_d parametresi ise,

$$R_d = \frac{\cos \delta \sin \phi \cos \gamma \cos w + \cos \delta \sin \gamma \sin w}{\cos \phi \cos \delta \cos w + \sin \phi \sin \delta} - \frac{\sin \delta \cos \phi \cos \gamma}{\cos \phi \cos \delta \cos w + \sin \phi \sin \delta} \quad (8)$$

eşitliğiyle hesaplanmıştır. Burada, δ denklasyon açısı, ϕ enlem açısı ve γ azimut açısıdır.

2.2. Isıtma Enerjisi ve Maliyet Hesaplamaları (The Calculations of Heating Energy and Costs)

Bina kabuğu içerisindeki sıcaklık dağılımının hesaplanmasında "explicit" sonlu fark yaklaşımı kullanılmıştır. Bina kabuğunda meydana gelen ısı iletiminin



Şekil 3. Bina kabuğunda sonlu fark formülasyonu
(The finite difference formulation in the building envelope)

sonlu fark formülasyonunda, Şekil 3'te gösterilen hacim eleman kullanılmıştır.

Katı bir cismin herhangi bir düğümündeki ısı kazancı, enerji dengesi yazılarak ifade edilir. Seçilen zaman aralığında bir cismin herhangi bir m-düğümü için "explicit" sonlu fark formülasyonu [11],

$$\sum_{\text{tüm yüzeyler}} Q^i + G_{\text{eleman}}^i = \rho V_{\text{eleman}} C \frac{T_m^{i+1} - T_m^i}{\Delta t} \quad (9)$$

şeklinde ifade edilir. Burada, Q^i cismin tüm yüzeylerinden iletimle ısı transferini, G_{eleman}^i cismin içerisinde üretilen ısı miktarını ifade etmektedir. Eşitlik (9) temel alınarak, kabuk elemanın iç düğümlerindeki yeni sıcaklık (T_m^{i+1}) hesaplamaları için,

$$T_m^{i+1} = \tau (T_{m-1}^i + T_{m+1}^i) + (1 - 2\tau) T_m^i + \tau \frac{g_m^i \Delta x^2}{k} \quad (10)$$

eşitliğini elde ederiz. Burada, $\alpha = k / \rho C$ ve $\tau = \alpha \Delta t / (\Delta x)^2$ 'dir.

Bina kabuğunun iç ve dış yüzeyinde taşınım sınır şartı geçerlidir. Kabuk elemanın sınır düğümlerindeki yeni sıcaklıklar [11],

$$T_0^{i+1} = \left(1 - 2\tau - 2\tau \frac{h_i \Delta x}{k} \right) T_0^i + 2\tau T_1^i + 2\tau \frac{h_i \Delta x}{k} T_i + \tau \frac{g_0^i \Delta x}{k} \quad (11)$$

$$T_M^{i+1} = \left(1 - 2\tau - 2\tau \frac{h_d \Delta x}{k} \right) T_M^i + 2\tau T_{M-1}^i + 2\tau \frac{h_d \Delta x}{k} T_d^i + 2\tau \frac{\kappa q_{\text{güneş}}^i \Delta x}{k} \quad (12)$$

eşitlikleri ile hesaplanır. Burada h_d dış ısı transfer katsayısı, h_i iç ısı transfer katsayısı, T_i iç ortam sıcaklığı olup 20°C alınmıştır. T_d dış ortam sıcaklığı, κ yüzeyin güneş ışınımını yutma katsayısı (açık renkli duvar için $\kappa = 0.5$) ve $q_{\text{güneş}}^i$ eğik yüzeye gelen toplam güneş

ışınımıdır. g_m^i ve g_0^i sırasıyla cismin m ve 0 düğüm-
lerindeki iç ısı üretimini ifade etmekte olup, cisim
içerisinde ısı üretimi olmadığından değerleri sıfırdır.

İki farklı malzemeden meydana gelen bina kabuğu-
nun, ara yüzeyindeki m-düğümünün sıcaklığı için,

$$T_m^{i+1} = \left(1 - \frac{\tau_{A,B}}{k_B} - \frac{\tau_{A,B}}{k_A} \right) T_m^i + \tau_{A,B} \left(\frac{T_{m-1}^i}{k_A} + \frac{T_{m+1}^i}{k_B} \right) \quad (13)$$

eşitliği elde edilir. Burada $\tau_{A,B}$ ara yüzeydeki bileşen-
lere ait Fourier sayısıdır.

Bina kabuğu kesitine göre elde edilen denklem takımları, düğümlerin yeni sıcaklıkları (T_m^{i+1}), bir sonraki adımda ilk sıcaklık (T_m^i), olmak üzere iterasyon metodu kullanılarak çözülmüş ve sıcaklık dağılımı bulunmuştur. 8760 saatlik süre boyunca elde edilen kabuk eleman yüzey sıcaklıkları,

$$q_i = h_i(T_{di} - T_i) \quad (14)$$

eşitliğinde kullanılarak, bina kabuğunun opak yüzey-
lerinden ısı kaybı-kazancı hesaplanmıştır. Burada T_{di}
kabuk elemanın iç yüzey sıcaklığıdır.

Bir binanın yıllık yakıt maliyeti [12],

$$B_y = \frac{3.6Q_k}{2H_u\eta_u} F_i \quad (15)$$

eşitliğiyle bulunur. Burada, Q_k yıllık ısı kaybı miktarı
(kcal), H_u yakıtın alt ısıl değeri (kcal/kg), η_u verim
(%) ve F_i yakıtın maliyetidir (YTL/kg). Çalışmada

incelenen bina kabuğuna göre, toplam yalıtım maliyeti,
Bayındırlık ve İskan Bakanlığı 2005 birim fiyat liste-
sinden alınmıştır [13]. 5 cm exterude polistren köpük
ısı yalıtım levhası ile dış duvara dıştan ısı yalıtımı ve
ısı yalıtım sıvası yapılmasına (mantolama) ait birim
fiyat analizi Tablo 2'de verilmiştir. Isı yalıtımı ile elde
edilen tasarrufun toplam maliyet üzerindeki etkisi,
geri dönüşüm süresiyle değerlendirilmiştir. Geri
dönüşüm süresi (yıl), yalıtım maliyetinin yıllık enerji
tasarrufuna bölünmesiyle hesaplanmıştır [14] ve

$$G_d = Y_t / B_t \quad (16)$$

eşitliği kullanılmıştır. Burada, Y_t yalıtım maliyeti ve B_t
yalıtımsız duruma göre yalıtımlı binanın enerji tasarru-
fudur. 5 cm ısı yalıtımının maliyeti (karsız, 25.7
YTL/m²) Tablo 2'ye göre hesaplanmıştır. 2.5, 10 ve
15 cm ısı yalıtımı maliyetleri ise, Tablo 2 ve miktarları
(m³) göz önüne alınarak bulunmuştur.

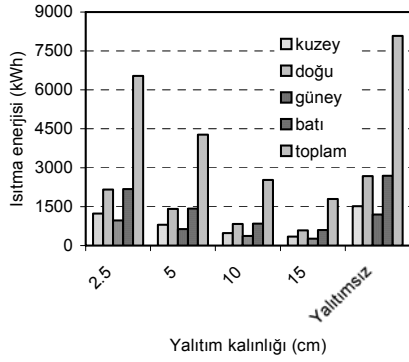
2.3. Bulgular ve Değerlendirme (Findings and Evaluations)

Isıtma enerjisi açısından, kuzey yarı küredeki binaların,
dar kenarlarının doğu-batı, uzun kenarlarının kuzey-
güney doğrultusunda olması tercih edilen bir durumdur.
Bu durum göz önüne alınarak, çalışmada, dar kenarları
7.8 m ve yüzey alanı 7.8×3.0=23.4 m², uzun kenarları
15.6 m ve yüzey alanı 15.6×3.0= 46.8 m² olan binanın,
yön ve yalıtım kalınlığına göre ısıtma enerjisi ihtiyacı
hesaplanmıştır ve Şekil 4'te gösterilmiştir.

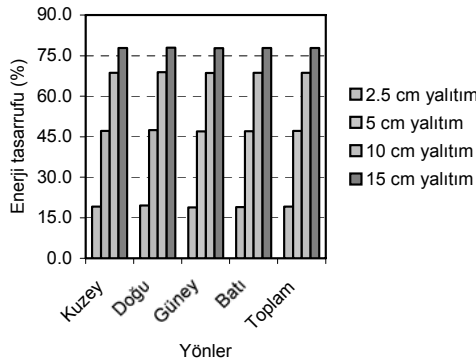
Maksimum toplam ısıtma enerjisi ihtiyacı, 8081.4 kWh'la
(57.6 kWh/m²) yalıtımsız binada hesaplanmıştır. Yalıtım
kalınlığının artmasıyla, orantılı olarak enerji ihtiyacı
da azalmıştır. Örneğin; 15 cm yalıtımlı binada 1792.6
kWh (12.8 kWh/m²)'dir. Maksimum ısı kaybı, kuzey
yerine, yüzey alanından dolayı, doğu ve batı cephele-
rinde tespit edilmiştir. 2.5 cm yalıtımlı durumda; batıda
2181.2 kWh (46.6 kWh/m²), doğuda 2153.7 kWh (46

Tablo 2. 5 cm'lik ısı yalıtımı uygulamasının birim fiyat analizi [13] (The unit price analysis of 5 cm heat insulation application)

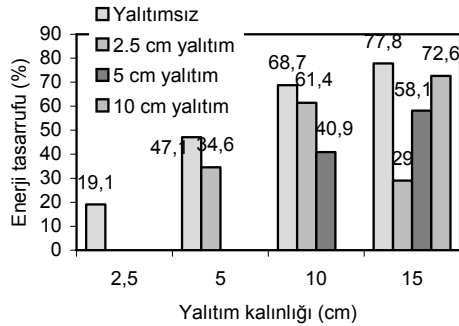
Poz Bilgileri				
Poz No	Tanımı	Birimi	Miktar	Fiyat-YTL
19.055/C1				
	(Dik Çekme dayanım>=100 KpaTR100)5 cm exterude polistren köpük ısı yalıtım levhası ile dış duvara dıştan ısı yalıtımı ve ısı yalıtım sıvası yapılması (mantolama)			
		m ²		
Rayiç No	Tanımı	Birimi	Miktar	Fiyat-YTL
	MALZEME			
04.612/4C1a	Ekstrüde polistren köpük (yüzeyi pürüzlü) 100kPa basınç day.	m ³	0.052500	217.00
04.274/2b1	Plastik çivili ısı yalıtım dübeli (9-15 cm)	Ad.	5.000000	0.18
04.480	Isı yalıtım levhaları yapıstırıcısı (çimento esaslı polimer)	kg	4.000000	0.5
04.479	Sıva filesi (145 ile 160 g/m2 alkaliye dayanımlı)	kg	1.100000	0.65
04.481	Isı yalıtım sıvası (çimento esaslı polimer katkı, elastik)	kg	4.000000	0.65
04.031	Su-beton sulama suyu	m ³	0.002500	2.6
	İŞÇİLİK			
01.010	Yalıtımcı ustası	Saat	1.500000	3.17
01.210	Yalıtımcı usta yardımcısı	Saat	0.750000	2.24
01.501	Düz işçi	Saat	0.750000	2.13



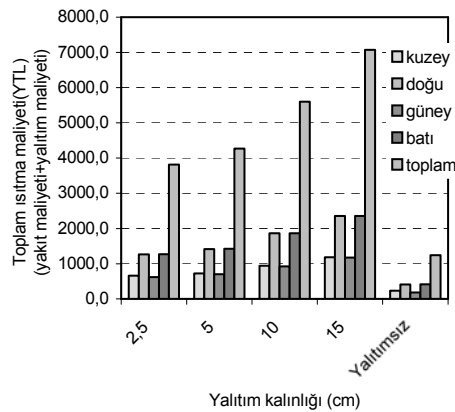
Şekil 4. Farklı yönlerdeki bina kabuğuna göre gerçekleşen ısıtma enerjisi (The heating energy according to different orientated building envelope)



Şekil 5. Farklı yönlerdeki ısı yalıtımlı bina kabuğuna göre gerçekleşen enerji tasarrufu (The energy savings according to different orientated building envelope with heat insulation)



Şekil 6. Farklı yalıtım kalınlığına sahip bina kabuğuna göre enerji tasarrufu (The energy savings according to building envelopes which are having different insulation thickness)



Şekil 7. Yalıtım kalınlığı ve ısıtma maliyeti ilişkisi (The relationship between insulation thickness and heating cost)

kWh/m²), kuzeyde 1232.5 kWh (52.7 kWh/m²) ve güneyde 967.9 kWh (41.4 kWh/m²)'dir. Yalıtımlı ve yalıtımsız bina kabuğu arasındaki tasarruf oranları Şekil 5'te, yalıtım kalınlığı farklı binaların birbirine göre tasarrufları ise, Şekil 6'da gösterilmiştir. Yalıtımsız duruma göre, 2.5 cm yalıtımla %19.1, 15 cm yalıtımla

%77.8 tasarruf sağlanmıştır. 5 cm yalıtım, 2.5 cm yalıtıma göre, %34.6, 15 cm yalıtım, 2.5 ve 10 cm yalıtıma sırasıyla, %72.6 ve %29 tasarruf sağlamıştır.

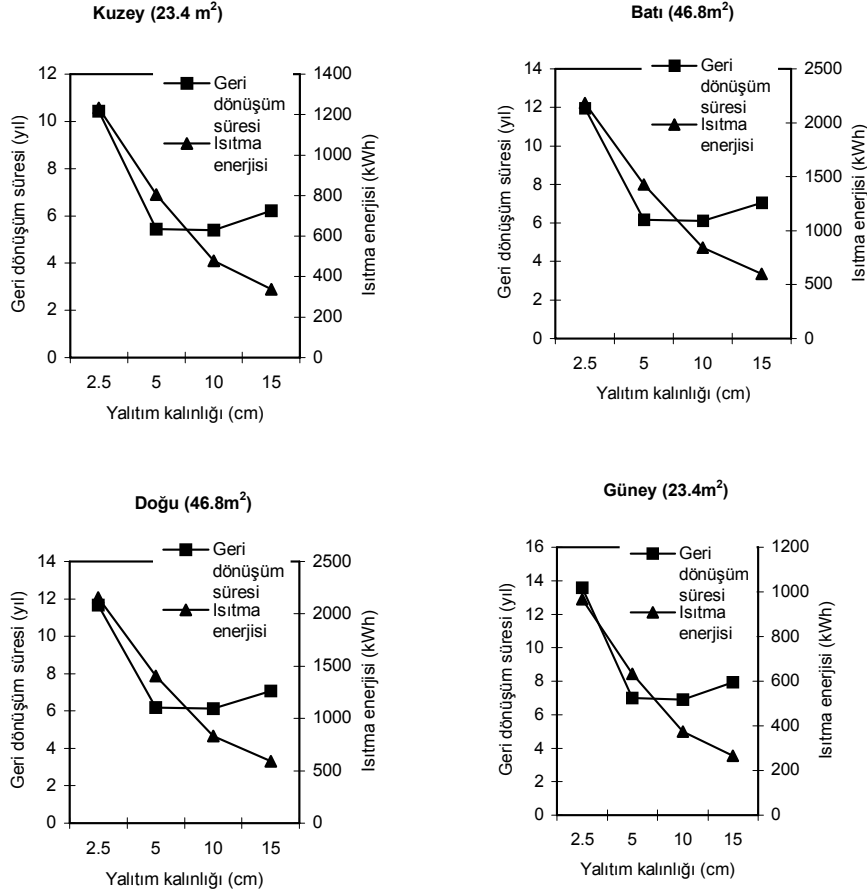
Enerji ihtiyacına göre hesaplanan toplam ısıtma enerjisi maliyetinde (yakıt maliyeti + yalıtım maliyeti) ise, en az maliyet yalıtımsız binada hesaplanmıştır. Yalıtım kalınlığının artmasıyla toplam maliyet artmıştır (Şekil 7). Yalıtım, binanın ilk yatırım maliyetini attırmaktadır. Bina kabuğu yüzey alanının büyümesiyle, toplam maliyet daha da artmıştır (Şekil 7).

Ancak elde edilecek tasarruf, ileri yıllarda binanın kendisini amorti etmesini sağlayacaktır. Yüzey alanı-yön ve yalıtım kalınlığına bağlı olarak hesaplanan, geri dönüşüm süreleri Şekil 8'de gösterilmiştir. Bina kabuğundan kaybolan enerjinin geri dönüşüm süresi, yalıtım kalınlığına bağlı olarak 5.3 yıl ile 13.6 yıl arasında değişmektedir. 2.5 cm yalıtımlı kuzey duvarı, 10.44 yılda kendisini amorti ederken, aynı yalıtımlı doğu duvarı yüzey alanının büyüklüğünden dolayı 11.68 yılda kendisini amorti etmektedir. Aynı duvarlar, 15 cm yalıtımlı durumda sırasıyla; 6.21 ve 7.07 yılda kendilerini amorti etmektedir.

Yalıtım kalınlığının artmasıyla geri dönüşüm süreleri de kısalmaktadır. Ancak, 15 cm yalıtımlı durumda, her yön için geri dönüşüm süresi artmıştır. Dolayısıyla yalıtım kalınlığı belirlerken, bir optimum değer kullanılması gerektiği ortaya çıkmıştır. Bu değer, çalışmanın yapıldığı Elazığ ili için 5 ile 10 cm arasında olması gerektiği Şekil 8'de görülmektedir. Optimum değer net olarak belirlenmesi ileriki çalışmalarda yapılacaktır. Geri dönüşüm süreleri, bina ölçeğinde değerlendirildiğinde ise, tüm duvarları 2.5, 5, 10 ve 15 cm yalıtımlı binalar için sırasıyla 11.81, 6.16, 6.1 ve 7.03 yıldır.

3. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, bina kabuğu yüzey alanı ve farklı yalıtım kalınlığının, yöne bağlı olarak ısıtma enerjisi üzerindeki etkileri, 2. bölümde açıklanan sınırlamalar ve kabuller altında araştırılmıştır. Kuzey cephede, "en fazla ısı kaybının olduğu" bilinen gerçeği doğrultusunda, batı, doğu, kuzey ve güney cephelerindeki yüzey alanlarının 1m² artırılması, bina ölçeğindeki toplam kayıpları sırasıyla; %0.713, %0.704, %0.805 ve %0.632 arttırmıştır. Ancak duvar yüzey alanları dikkate alındığında, en fazla ısı kaybı batı ve doğu cephelerinde gerçekleşmiştir. İki kat daha fazla yüzey alanına sahip batı ve doğu cephelerinde, kuzey cepheye göre sırasıyla; %44 ve %43, güney cepheye göre de; %55 ve %56 daha fazla ısı kaybı hesaplanmıştır. Güney cephe ile aynı yüzey alanına sahip kuzey cephede, %22 daha



Şekil 8. Yöne göre yalıtım kalınlığı ve geri dönüşüm süresi ilişkisi (The relationship between insulation thickness and payback period according to orientation)

fazla ısı kaybı gerçekleşmiştir. Bina kabuğundaki 2.5, 5, 10 ve 15 cm'lik yalıtım uygulamaları, her yön için sırasıyla; %19, %47, %68 ve %77 enerji tasarrufu sağlamıştır. Yalıtım maliyetine bağlı olarak hesaplanan geri dönüşüm süreleri duvar elemanlarda, 5.4 ile 13.6 yıl arasında, bina ölçeğinde ise 6.1 ile 11.8 yıl arasında hesap edilmiştir. Bu sürelerden sonraki yıllarda elde edilecek tasarruf, artı bir kazanç olarak, ülke ekonomisine eklenecektir. 15 cm yalıtımlı durumda, her yön için geri dönüşüm süresi artmıştır. Dolayısıyla yalıtım kalınlığı belirlerken, bir optimum değer kullanılması gerçeği ortaya çıkmıştır. Şekil 8 dikkate alındığında, çalışmanın yapıldığı Elazığ için, bu değer, 5 ile 10 cm arasında olması gerektiği anlaşılmıştır. Bu konudaki çalışma devam etmektedir. Sonuç olarak enerji tasarruflu bina tasarımında, bina kabuğu yüzey alanı ve ısı yalıtımına mutlaka dikkat edilmesi gerektiği ve bina kabuğu yüzey alanına karar verirken, yön durumunun da göz önüne alınması gereken bir parametre olduğu anlaşılmıştır.

SEMBOLLER LİSTESİ (NOMENCLATURE)

B_y	Yıllık yakıt maliyeti (YTL)
B_t	Yalıtımsız binaya göre enerji tasarrufu (kWh)
C	Özgül ısı (J/kgK)
F_i	Yakıt birim fiyatı (YTL)
G_d	Geri dönüşüm süresi (yıl)
H_u	Yakıtın alt ısı değeri (kcal/kg)

h_d	Dış yüzey ısı taşınım katsayısı (W/m ² °C)
h_i	İç yüzey ısı taşınım katsayısı (W/m ² °C)
k	Isı iletim katsayısı (W/mK)
I_a	Yatay düzleme gelen anlık tüm güneş ışınımı (W/m ²)
I_d	Yatay düzleme gelen doğrudan ışınım (W/m ²)
I_y	Yatay düzleme gelen yayılı ışınım (W/m ²)
p	Yeryüzünün yansıtma oranı
Q	Yatay düzleme gelen günlük toplam güneş ışınımı (MJ/m ² -gün)
Q_y	Yatay düzleme gelen günlük toplam yayılı ışınım (MJ/m ² -gün)
Q_k	Yıllık ısı kaybı (kcal)
$q_{güneş}$	Toplam güneş ışınımı (W/m ²)
R_d	Yatay ve eğik yüzey üzerindeki doğrudan güneş ışınımı oranı
r_y	Yatay düzleme gelen aylık yayılı ışınımın günlük toplam yayılı ışınımına oranı
r_t	Yatay düzleme gelen anlık tüm güneş ışınımının günlük toplam güneş ışınımına oranı
T_d	Dış çevre sıcaklığı (°C)
T_{di}	İç yüzey sıcaklığı (°C)
T_i	İç ortam sıcaklığı (°C)
Y_t	Yakıt birim fiyatı (YTL)
w	Saat açısı (°)
ws	Güneş doğuş-batış saat açısı (°)
α	Isıl difüzyon katsayısı (m ² /s)
ϕ	Enlem açısı (°)
γ	Azimut açısı (°)
β	Eğik düzlemin yatayla yaptığı açı (°)

- δ Denklasyon açısı ($^{\circ}$)
 κ Yüzeyin ışımasını yutma oranı
 η_u Verim (%)
 ρ Yoğunluk (kg/m^3)
 τ Fourier sayısı
 Δt Zaman aralığı (sn)
 Δx Koordinat aralığı (m)

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Oral, G.K., "Appropriate Window Type Concerning Energy Consumption for Heating", **Energy and Buildings**, Cilt 32, 95-100, 2000.
- Mohammed, J. Al-Khawaja, "Determination and Selecting the Optimum Thickness of Insulation for Buildings in Hot Countries by Accounting for Solar Radiation", **Applied Thermal Engineering**, Cilt 24, 2601-2610, 2004.
- Steward, F.M., "Energy Efficiency Programs for Existing Buildings", **Apply Energy**, Cilt 36, 7-21, 1990.
- Miguel A. P.-G., Eduardo R., Jose L. F. and Victor G. M., "Effect of Passive Techniques on Interior Temperature in Small Houses in the Dry, Hot Climate of Northwestern Mexico", **Renewable Energy**, Cilt 26, 121-135, 2002.
- Elisabeth, G., Andre De, H., "A Simple Design Tool for the Thermal Study of an Office Building", **Energy and Building**, Cilt 34, 279-290, 2002.
- Gieseler, U.D.J., Heidt, F.D., Bier, W., "Evaluation of the Cost Efficiency of an Energy Efficient Building", **Renewable Energy**, Cilt, 29, 369-376, 2004.
- Koçlar G.O., Yılmaz, Z., "Building Form for Cold Climatic Zones Related to Building Envelope from Heating Energy Conservation Point of View", **Energy and Building**, Cilt 35, 283-288, 2003.
- Aksoy, U.T., **İklimsel Konfor Açısından Bina Yönlendirilmesi ve Bina Biçimlendirilmesinin Isıtma Maliyetine Etkisi**, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2002.
- Therlked, J.L., **Thermal Environmental Engineering**, Second Edition, Prentice- Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1977.
- Duffie, J.A., and Beckman, W.A., **Solar Engineering of Thermal Process**, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1991.
- Çengel, Y., **Heat Transfer**, McGraw-Hill Book Company, New York, 1998.
- Karakoç, T.H., Binyıldız, E., Turan, O., **Binalarda ve Tesisatta Isı Yalıtımı**, ODE Teknik Yayınları No:G 20, İstanbul, 1999.
- Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, **İnşaat Birim Fiyat Analizleri**, Ankara, 2005.
- Hasan, A., "Optimizing Insulation Thickness for Buildings Using Life Cycle Cost", **Applied Energy**, Cilt 63, 115-124, 1999.

