



ISSN:1306-3111
e-Journal of New World Sciences Academy
2007, Volume: 2, Number: 1
Article Number: A0017

NATURAL AND APPLIED SCIENCES

TURKISH (Abstract: ENGLISH)

NWSA Received: September 2006

NWSA Accepted: January 2007

© 2007 www.newwsa.com

Ayça (Aytaç) Gülten

Ufuk Teoman Aksoy

University of Firat

aaytac@firat.edu.tr

Elazig-Turkey

FARKLI YAKIT TÜRLERİNE GÖRE DIŞ DUVAR SİSTEM ALTERNATİFLERİNİN ENERJİ MALİYETİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Türkiye'de üretilen enerjinin büyük bir kısmı ısıtma enerjisi olarak tüketilmektedir. Bu durum yakıt fiyatlarının yüksek olduğu bir ülkede, binalara yalıtım yapılmasının gerekliliğini vurgulamaktadır. Ayrıca, yakıt seçilirken farklı bina kabukları için uygun seçimin yapılmasına dikkat edilmelidir. Çalışmada dört farklı duvar tipi üzerinde, aynı kalınlıkta ve her duvar tipi için hesaplanan optimum yalıtım kalınlığında yalıtım malzemesi kullanıldığı düşünülerek, yalıtım malzemesinin 5 farklı yakıt türü için geri dönüşüm süreleri hesaplanmıştır. Sonuç olarak, duvara optimum yalıtım kalınlığı uygulandığında, geri ödeme süresi ve optimum yalıtım kalınlığı arasında ters bir orantı olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Optimum Yalıtım Kalınlığı, Geri Ödeme Süresi, Yıllık Kazanç, Yalıtım.

ESTIMATION OF ENERGY COSTS OF EXTERNAL WALL SYSTEM ALTERNATIVES FOR DIFFERENT FUEL TYPES

ABSTRACT

In Turkey, most of the produced energy is used for heating. This situation emphasizes the need for insulation on buildings in Turkey because of the high cost of fuel. On the other hand it must be considered to select the appropriate materials for different building envelopes. In this study, payback periods were calculated on different 4 wall types, for the same insulation thickness and for the optimum insulation thickness of walls and for five different fuels. As a result, it was seen that when optimum insulation thickness was applied to the wall, there was an inverse proportion between payback period and optimum insulation thickness.

Keywords: Optimum Insulation Thickness, Payback Period, Annual Saving, Insulation.



1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Enerji tüketimi ülkelerin en önemli sorunlarından biridir. Enerji üretiminin az olması ve aynı zamanda enerji tüketiminin neden olduğu çevre kirliliği, enerji korunumunu zorunlu hale getirmiştir. Türkiye gibi enerji üretim ve tüketim oranları arasında büyük fark olan ülkeler için enerjinin etkili bir biçimde kullanılması çok önemlidir.

Binalarda enerji korunumu sağlamanın yollarından biri ve en etkili olanı, şüphesiz, binalarda ısı yalıtımı uygulanmasıdır. Ancak, Türkiye’de binalara uygulanan ısı yalıtımı yok denecek kadar azdır, denilebilir. Yürürlükteki ısı yalıtım kurallarına göre yapılan yapılardaki ısı kaybı, benzer iklim koşullarına sahip Avrupa ülkeleri ile mukayese edildiğinde, çok daha fazladır. Dolayısıyla daha fazla yakıt sarfiyatı ve çevre kirliliği olmaktadır [1]. Tablo 1’de verilen yakıt fiyatlarına bakıldığında, Türkiye’de, kullanılan enerji çeşidi ne olursa olsun, enerjinin en etkin şekilde kullanılması gerektiği anlaşılmaktadır. Bunu sağlamanın ilk şartı ise binalara ısı yalıtımı uygulanmasıdır.

Isı yalıtım malzemelerinin seçiminde ise, malzemenin bulunma ve uygulanma kolaylığı ile birlikte maliyet önemli bir faktördür. Çünkü yalıtım, binanın ilk yatırım giderlerini arttıran bir uygulamadır. Ancak, maliyet ve enerji tasarrufuna bağlı olarak hesaplanan geri dönüşüm süresiyle, sonraki yıllarda ekonomiye artı bir katkı ve enerji tüketiminde de azalma sağlanır.

Tablo 1. Türkiye’deki enerji fiyatları (Temmuz 2005)
(Table 1. Energy prices in Türkiye (July 2005))

Enerji Tipi	Fiyat
Kömür	0.186 (\$/kg)
Doğal Gaz	0.315 (\$/m ³)
LPG	1.670 (\$/kg)
Fuel Oil	0.920 (\$/kg)
Elektrik	0.110 (\$/kWh)

Enerji korunumu konusunda son yıllarda yapılan araştırmaların büyük bir bölümü enerji kaynaklarının "tasarruflu tüketimine" yönelik önlemleri içermektedir. Bu önlemlerle binaların, ısıtma ve soğutma yükleri için harcanan enerjinin korunumu hedeflenmektedir. Hasan[2], optimum yalıtım kalınlığı için bir hesaplama yöntemi geliştirmiş ve Filistin’in Gazze Şeridi ve Batı Şeria bölgelerinde, dört farklı duvar modeli üzerinde uygulama yapmıştır. Farklı yakıt ve yalıtım malzemelerine göre, optimum yalıtım kalınlığını hesaplamıştır. Çomaklı[3], Türkiye’nin en soğuk şehirlerinden olan, Erzurum, Kars ve Erzincan illerinde binalara uygulanması gereken optimum yalıtım kalınlığı hesaplamaları yapmıştır. Optimum yalıtım kalınlığının uygulanmasıyla birim alan için %12 oranında enerji korunumu artışı sağlandığı sonucuna varılmıştır. Gustaffson[4], İsveç’te yenilenmesi gereken binalarda, iyileştirme ölçütlerinin optimize edilmesi üzerine bir çalışma yapmıştır. Çalışmada, binanın kullanım süresi enerji maliyetinin azaltılması, yalıtım uygulaması ve ısıtma sistemlerinin değiştirilmesi gibi parametreleri göz önüne alarak iyileştirmenin ekonomik boyutunu araştırmıştır. Mohammed[5], Katar’daki, binalar için yalıtım malzemeleri, optimum yalıtım kalınlığı ve güneş radyasyonuna göre enerji hesaplamaları yapmıştır. Mohsen[6], binalarda farklı yalıtım malzemeleri kullanarak, ısıtma enerjisi ihtiyacını hesaplamış ve duvar ve çatı yalıtımında genleştirilmiş polistiren kullanıldığında %76.8’e varan enerji kazancı elde edilmiştir. Aksoy[7], dıştan ve içten yalıtımlı duvar ile sandviç duvar uygulamalarının, ısıtma

enerjisi tüketimiyle ilişkisini yön faktörünü de hesaba katarak araştırmıştır.

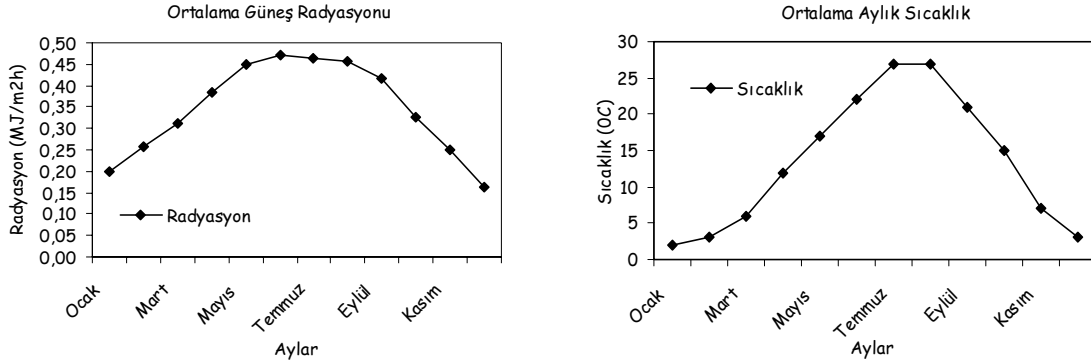
2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Bu çalışma, Türkiye'nin soğuk şehirlerinden biri olan Elazığ'da yapılmıştır. Mevcut ısı yönetmeliğine göre [8], Elazığ üçüncü bölgede yer almakta ve ortalama 2998 Derece/Günün sayısına sahiptir. Elazığ iline ait iklimsel veriler Şekil 1'de gösterilmiştir. Bu çalışmada, 4 farklı duvar tipi üzerinde, aynı kalınlıkta yalıtım malzemesi uygulandığında, farklı yakıtların gösterdiği performansa karşılık, geridönüşüm süreleri karşılaştırılmıştır. Daha sonra ise, duvar tipleri için optimum yalıtım kalınlıkları hesaplanmış ve her iki durum için elde edilen değerler karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Sunulan yöntemle [2], 4 farklı duvar modeli üzerinde ısı kaybı ve enerji tüketimi hesaplanmış ve enerji kaynağı duvar tipi, maliyet ve geri ödeme süresi gibi parametrelerle değerlendirilmiştir.

Yalıtım, kullanıldığı duruma göre dış etkilerden ayırmak veya tecrit etmek anlamında, bina yalıtımı (izolasyonu) ise "yapıyı kendi bünyesi ile içindeki eşya ve canlılara zarar verici etkilerden korunmak için alınan önlemler paketi olarak tanımlanmaktadır. Oysa bina yalıtımı; malzeme üretiminden uygulanmasına kadar, titizlik, hassaslık, çok yönlü detay çalışmasını gerektiren ve birçok bilim dalını ilgilendiren bir sistem bütünüdür [9].

Türkiye gibi yakıt fiyatlarının yüksek olduğu bir ülkede, binaların ekonomik olarak ısıtılabilmesi oldukça önemli bir problemdir. Kış aylarında soğuk bir iklimin egemen olduğu Elazığ ilinde, binaların ekonomik bir şekilde ısıtılabilmesi için, yeterli yalıtımın yapılması ve en ekonomik yakıtın seçilmesi gerekir. Bu çalışmada ekonomik bir ısıtma için, yalıtım kalınlığı ve yakıt türü arasındaki ilişki incelenmiştir. Bu çalışmada kullanılan hesaplama yöntemi, herhangi bir bina için en uygun yalıtım kalınlığının bulunmasına ve en ekonomik yakıt türünün seçilmesine olanak sağlar.



Şekil 1. Elazığ iline ait iklimsel veriler
(Figure 2. Meteorologic data for Elazig)

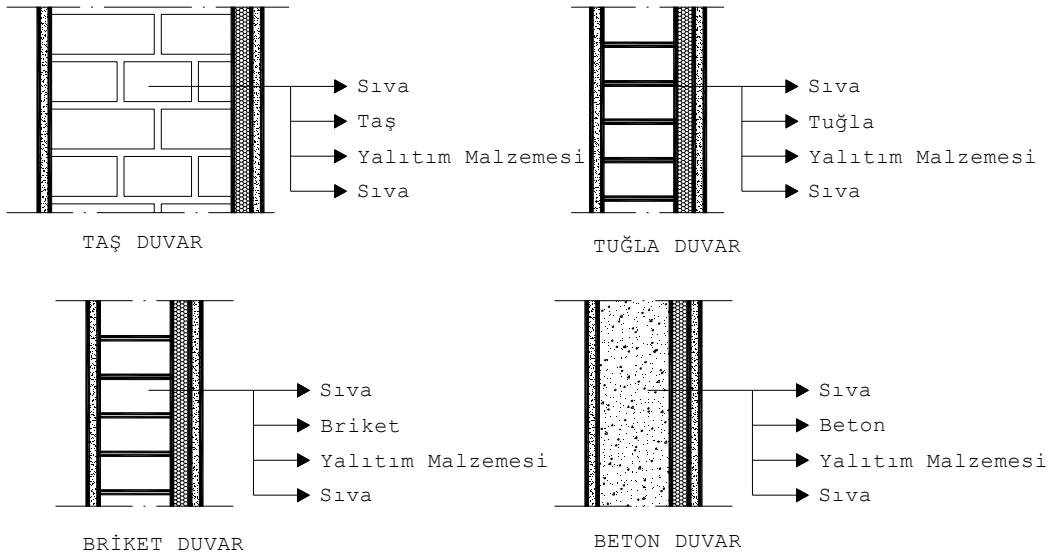
3. YÖNTEM (METHOD)

3.1. Bina Duvarlarının Yapısı (Structure of the Building Walls)

Ülkemizde tüketilen enerjinin %40 gibi büyük bir kısmı, binaların ısıtılmasında kullanılmaktadır. Binalardaki ısı kayıp ve kazançlarında, bina kabuğu önemli rol oynamaktadır [10]. Binalardaki ısı kayıpları genellikle, dış duvarlardan, pencerelerden, yer ve tavandan veya hava sızmalarından meydana gelir. En fazla ısı kaybı ise yer ve çatı düzleminde olur. Bu durum ısı yalıtımının gerekliliğini vurgulamaktadır [11].

Binayı, dış ortamdan ayıran ve dış ortam etkilerine karşı koruyan bina duvarıdır (dış duvarlar). Aynı zamanda bina duvarı, binanın en çok ısı kaybeden yerlerinden biridir. Dolayısıyla bina duvarının yalıtımı, ısı kaybı hesabı sonuçlarını değiştiren önemli bir faktördür [12].

Çalışmada, dört farklı duvar tipi (Şekil 2) üzerinde hesaplamalar yapılmıştır. Duvarlarda, briket, betonarme, delikli tuğla ve taş olmak üzere dört farklı yapı malzemesi kullanılmıştır. Yalıtım malzemesi olarak ekspansiyon polistiren köpük (EPS) kullanılmıştır. Duvar tipleri ve özellikleri Tablo 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Duvar tipleri
(Figure 2. Wall types)

3.2. Yıllık Enerji Maliyeti ve Geri Ödeme Süresinin Hesaplanması (Calculation of Annual Energy Cost and Payback Period)

Binalarda ısı kayıpları, dış duvarlardan, pencerelerden, tavan ve döşemelerden ve ayrıca hava hareketlerinden dolayı meydana gelir. Bu makalede ise, hesaplamalar sadece dış duvarlardan ısı kaybı olduğu düşünülmektedir.

Binalarda ısıtma için harcanan yıllık enerji miktarı[2];

$$E_{y11} = \frac{86400 \text{ DGS}}{(R_{duvt} + \frac{x}{k}) \eta} \quad (1)$$

olarak hesaplanır. Burada, "R_{duvt}" duvar katmanlarının ısı yalıtımı olmadan ısı iletim direncini vermektedir. "x" yalıtım malzemesinin kalınlığını, "k" ise yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısını ve dolayısıyla "x/k" ifadesi yalıtım malzemesinin ısı iletim direncini vermektedir. DGS ise derece gün sayısını ifade etmektedir.

Tablo 2. Duvar tipleri ve fiziksel özellikleri[8]
(Figure 2. Wall types and physical properties of wall types)

Duvar Tipi	Kalınlık (m)	k (W/mK)	R (m ² K/W)	R _{duvt} (m ² K/W)
Briket Duvar				
Çimento harçlı iç sıva	0.02	0.870	0.02	1.22
Briket	0.20	0.200	1.00	
Çimento harçlı dış sıva	0.02	0.870	0.02	
R _i			0.13	
R _{dış}			0.04	
Betonarme Duvar				
Çimento harçlı iç sıva	0.02	0.870	0.02	0.30
Betonarme	0.14	1.740	0.08	
Çimento harçlı dış sıva	0.02	0.870	0.02	
R _i			0.13	
R _{dış}			0.04	
Tuğla Duvar				
Çimento harçlı iç sıva	0.02	0.870	0.02	0.64
Delikli tuğla	0.19	0.450	0.42	
Çimento harçlı dış sıva	0.02	0.870	0.02	
R _i			0.13	
R _{dış}			0.04	
Taş Duvar				
Çimento harçlı iç sıva	0.02	0.870	0.02	1.13
Taş	0.50	0.550	0.91	
Çimento harçlı dış sıva	0.02	0.870	0.02	
R _i			0.13	
R _{dış}			0.04	

Birim alanı ısıtmak için kullanılan enerji maliyeti (C_{y11}),

$$C_{y11} = \frac{86400 \text{ DGS } C_{ykt}}{(R_{duvt} + \frac{x}{k}) H_u \eta} \quad (2)$$

eşitliğiyle hesaplanır[2]. Burada, "C_{ykt}" yakıtın birim fiyatını, \$/kg olarak, "H_u" ise yakıtın alt ısıl değerini, J/kg olarak vermektedir. Binanın toplam ısıtma maliyeti, enerji maliyeti, varsa yalıtım maliyeti, gelecek değer faktörü olarak nitelendirilen bir parametre ve belirlenen bir zaman periyoduna göre hesap edilir. Gelecek değer faktörü (GDF), enflasyon(g) ve faiz(i) oranlarına bağlı olarak değişir ve aşağıdaki şekilde hesaplanır [2].

Eğer i>g ise,

$$r = \frac{i - g}{1 + g} \quad (3)$$

eğer i<g ise,

$$r = \frac{g - i}{1 + i} \quad (4)$$

ve

$$GDF = \frac{(1+r)^N - 1}{r(1+r)^N} \quad (5)$$

Burada, "N" yıl olarak zamanı gösterir ve çalışmada 10 yıl olarak kabul edilmiştir.

Eğer i=g ise,

$$GDF = \frac{1}{1+i} \quad (6)$$

Yalıtım maliyeti (C_{y1t}) ise;

$$C_{y1t} = C_{mlz} \cdot x \quad (7)$$



olarak hesaplanır. Burada, "C_{mlz}" yalıtım malzemesinin birim fiyatını \$/m³ olarak, "x" ise yalıtım malzemesinin kalınlığını "m" cinsinden verir. Sonuç olarak yalıtımı yapılan bir bina için toplam ısıtma maliyeti [2];

$$C_t = C_{y11}GDF + C_{mlz}x \quad (8)$$

veya

$$C_t = \frac{86400 \text{ DGS } C_{ykt} \text{ GDF}}{(R_{duvt} + \frac{x}{k}) H_u \eta} + C_{mlz} x \quad (9)$$

olarak hesaplanır. (9) nolu formülden de anlaşılacağı gibi, toplam ısıtma maliyeti, yalıtım ve yıllık enerji maliyetlerinin toplamından oluşur. Toplam maliyeti minimuma indiren optimum yalıtım kalınlığı ise [2];

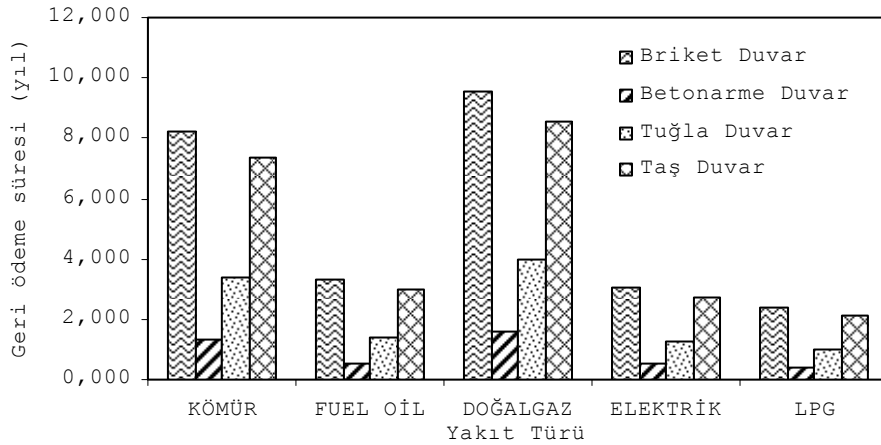
$$x_{op} = 293.94 \left(\frac{\text{DGS } C_{ykt} \text{ GDF } k}{H_u C_{mlz} \eta} \right)^{1/2} - k R_{duvt} \quad (10)$$

olarak hesaplanır.

Geri ödeme süresi ise, yalıtım maliyetinin, yıllık kazançta bölünmesi sonucu elde edilir. Yıllık kazanç, binaya hiç yalıtım uygulanmadığı düşünülerek elde edilen yıllık enerji maliyetinden yalıtımlı binanın yıllık enerji maliyeti değeri çıkarılarak bulunur [2].

4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME (RESULTS AND DISCUSSION)

Çalışmada, farklı duvar türleri üzerinde, farklı yakıtlar için, yalıtım malzemelerinin geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Bu durum, tüm binalara optimum yalıtım kalınlığı yerine, aynı kalınlıkta yalıtım malzemesi uygulanması halinde, hangi yakıt türünün en ekonomik sonucu vereceğinin görülmesine olanak sağlar. Şekil 3'de dört farklı duvar tipi üzerinde, aynı yalıtım kalınlığı uygulandığında, farklı yakıt türlerinin geri dönüşüm süresi üzerindeki etkisi görülmektedir. Buna göre, tüm duvar tipleri arasında bütün yakıt türleri için en ekonomik olanın betonarme duvar modeli olduğu ve geri ödeme süresi en fazla olanın da briket duvar modeli olduğu görülmektedir. Öte yandan, tüm yakıt türleri arasında geri ödeme süresi bakımından en verimli olanın LPG olduğu ve en verimsiz olanın da doğalgaz olduğu gözlenmiştir. Bu durumun, LPG yakıt türünün, yalıtımlı ve yalıtımsız duvarların yıllık enerji maliyetleri farkından oluşan yıllık kazancının çok yüksek bir değer olmasından kaynaklandığı söylenebilir. Ancak yakıt türünün elde edilebilme kolaylığı ve maliyeti göz önüne alındığında kömür ve doğalgaz en avantajlı olan yakıtlardır diyebiliriz.

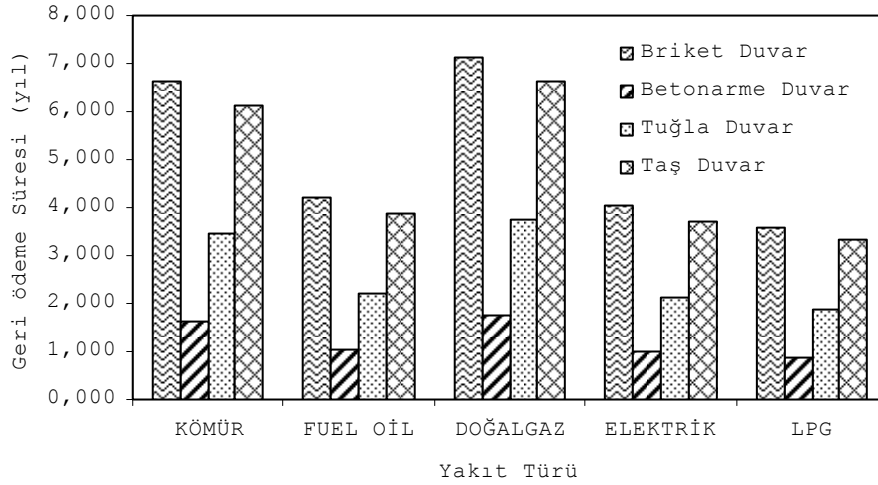


Şekil 3. Farklı yakıt türlerinin geri ödeme süresi üzerindeki etkisi
 (Aynı yalıtım kalınlığı uygulandığında)
 (Figure 3. Effect of different fuel types on payback period for the
 same insulation thickness)

Binalara optimum yalıtım kalınlığı uygulanması sonucunda elde edilen geri ödeme süresi-yakıt türü grafiği Şekil 4’de görülmektedir. Bu grafikte de bütün yakıt türleri için geri ödeme süresi en az olan betonarme duvar modeli olmuştur. Yakıt türleri arasında geri ödeme süresi bakımından en verimli olanın yine LPG olduğu gözlenmektedir. Ancak, optimum yalıtım kalınlığının uygulanması, bütün duvar türlerinde geri ödeme süresini azaltmamıştır. Çünkü, bazı duvar türleri için, hesaplanan optimum yalıtım kalınlığı, daha önceki hesaplamalarda kullanılan 0.05 m’den daha büyüktür. Bu da artan yalıtım kalınlığına bağlı olarak geri ödeme süresinin artmasına neden olmuştur. Duvar türleri için hesaplanan optimum yalıtım kalınlığı ve geri ödeme süresi değerleri, tüm duvarlarda aynı yalıtım kalınlığı uygulandığı zaman elde edilen değerlerle karşılaştırmalı olarak Tablo 3 ve 4’te verilmiştir.

Tablo 3. Optimum yalıtım kalınlıkları ve geri ödeme süresi değerleri
 (Table 3. Optimum insulation thickness and payback period values)

Yakıt Türü	Briket Duvar		Betonarme Duvar		Tuğla Duvar		Taş Duvar	
	Opt. Yal. Kal. (m)	Geri Dönüşüm Süresi (yıl)	Opt. Yal. Kal. (m)	Geri Dönüşüm Süresi (yıl)	Opt. Yal. Kal. (m)	Geri Dönüşüm Süresi (yıl)	Opt. Yal. Kal. (m)	Geri Dönüşüm Süresi (yıl)
Kömür	0.03	6.627	0.06	1.630	0.05	3.477	0.04	6.138
Fuel Oil	0.07	4.203	0.10	1.034	0.09	2.205	0.08	3.893
Doğalgaz	0.03	7.143	0.06	1.756	0.05	3.747	0.03	6.616
Elektrik	0.08	4.026	0.11	0.990	0.10	2.112	0.08	3.729
LPG	0.09	3.579	0.12	0.885	0.11	1.877	0.10	3.315



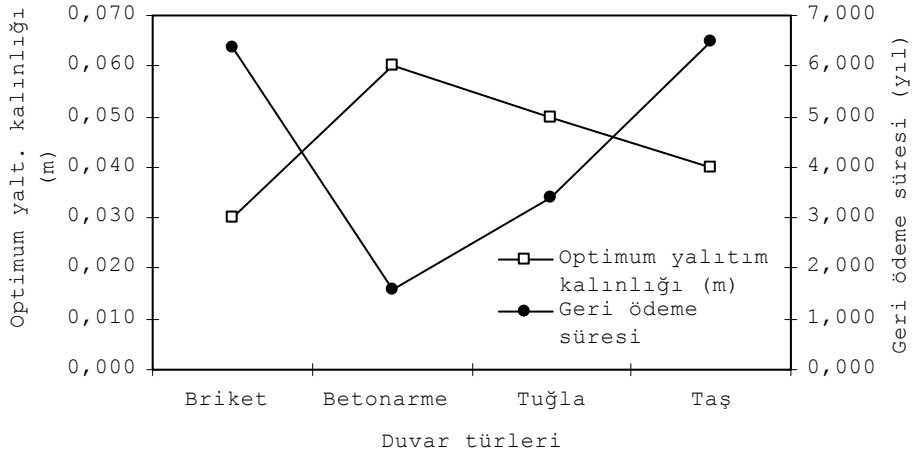
Şekil 4. Optimum yalıtım kalınlığı uygulanınca yakıt türlerinin geri ödeme süresi üzerindeki etkisi
(Figure 4. Effect of different fuel types on payback period for the optimum insulation thickness)

Şekil 5'te ise optimum yalıtım kalınlığı ve geri ödeme süresi arasındaki ilişki gösterilmiştir. Duvara optimum yalıtım kalınlığı uygulandığı zaman, geri ödeme süresi üzerinde, kullanılan yakıt türü ve duvar modeli etkili olmamakta, yalıtım kalınlığı belirleyici olmaktadır. Buna göre iki değer arasında ters orantılı bir ilişki olduğu söylenebilir. Yalıtım kalınlığının artması, geri ödeme süresini arttırır. Ancak bu durum duvara optimum yalıtım kalınlığı uygulandığı zaman geçerlidir. Bütün duvar modellerine aynı yalıtım kalınlığı uygulanınca, elde edilen geri ödeme süresi değerleri daha çok duvar modelinin enerji performansı ile ilgilidir.

Hesaplamalar sonucu elde edilen optimum yalıtım kalınlığı değerlerine göre ise, doğalgaz ve kömür en iyi sonuçları vermiştir. Çünkü bu iki yakıt türü uygulandığı zaman en küçük yalıtım kalınlığı değerleri elde edilmiştir. Bu durum hem yalıtım maliyetini düşürmekte, hem de birim fiyatları en düşük iki yakıt olmaları nedeniyle toplam maliyeti düşürmektedir. Ancak geri ödeme sürelerine bakıldığında, kömür ve doğalgazın kendilerini en geç amorti eden iki yakıt türü olduğu görülür. Çünkü kömür ve doğalgaz ısıtma değerleri yüksek olan yakıtlardır. Bu da bu iki yakıtın binaya sağladığı yıllık kazancı azaltır ve geri ödeme süresinin artmasına neden olur.

Tablo 4. Yalıtım kalınlıkları ve geri ödeme süresi değerleri
(Table 4. Insulation thickness and payback period values)

Yakıt Türü	Briket Duvar		Betonarme Duvar		Tuğla Duvar		Taş Duvar	
	Yal. Kal. (m)	Geri Dönüşüm Süresi (yıl)	Yal. Kal. (m)	Geri Dönüşüm Süresi (yıl)	Yal. Kal. (m)	Geri Dönüşüm Süresi (yıl)	Yal. Kal. (m)	Geri Dönüşüm Süresi (yıl)
Kömür	0.05	8.210	0.05	1.351	0.05	3.409	0.05	7.359
Fuel Oil	0.05	3.303	0.05	0.544	0.05	1.371	0.05	2.960
Doğalgaz	0.05	9.537	0.05	1.570	0.05	3.960	0.05	8.548
Elektrik	0.05	3.030	0.05	0.499	0.05	1.258	0.05	2.716
LPG	0.05	2.394	0.05	0.394	0.05	0.994	0.05	2.146



Şekil 5. Optimum yalıtım kalınlığı ve geri ödeme süresi ilişkisi
(Figure 5. The relation between payback period and optimum insulation thickness)

5. SONUÇ (CONCLUSION)

Günümüzde, özellikle yakıt maliyeti yüksek olan yerlerde enerji tasarrufu oldukça önem kazanmıştır. Bu çalışmada yapılan hesaplamalar, binalar için farklı dış kabuk alternatifleri söz konusu olduğunda ortaya çıkan enerji ve yalıtım maliyetlerine göre ve bunlara bağlı olarak geri ödeme sürelerine göre yakıt türlerinin performanslarını göstermiştir. Buna göre; binalarda yakıt ve ısıtma maliyeti tasarrufu için geri dönüşüm süresine bakıldığında, bu değer daha çok yalıtım kalınlığına bağlı olarak değiştiği görülmüştür. Duvara optimum yalıtım kalınlığı uygulandığı zaman, bütün duvar ve yakıt türlerinde yalıtım kalınlığı arttıkça geri ödeme süresi artmış, azaldıkça da azalmıştır. Ancak, aynı yalıtım kalınlığı uygulanınca, geri ödeme süresi, daha çok duvar tipinin gösterdiği enerji tasarrufu performansına göre değiştiği söylenebilir. Tüm duvar tipleri için optimum yalıtım kalınlığı hesaplanınca, en küçük değerler doğalgaz ve kömür için elde edilmiştir. Bu durum hem yalıtım hem de ısıtma maliyetini düşüren bir etken olmuştur. Böylece doğalgaz ve kömürün tüm duvar modelleri için en iyi yakıt türü olacağı söylenebilir.

SEMBOLLER

- C_{y11} : Yıllık ısıtma maliyeti ($\$/m^2\text{-yıl}$)
 C_{ykt} : Kullanılan enerji kaynaklarına göre enerji maliyeti ($\$/kg, \$/m^3, \$/kWh$)
 C_{mlz} : Yalıtım malzemesi birim fiyatı ($\$/m^3$)
 C_{y1t} : Yalıtım maliyeti ($\$/m^2$)
 C_t : Toplam ısıtma maliyeti ($\$$)
DGS : Derece gün sayısı ($^{\circ}C$ days)
 E_{y11} : İhtiyaç duyulan yıllık ısıtma enerjisi ($J/m^2\text{-yıl}$)
g : Enflasyon oranı
 H_u : Kullanılan enerji kaynağının ısıtma değeri ($J/kg, J/m^3, J/kWh$)
i : Faiz oranı
k : Yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı (W/mK)
N : Zaman(yıl)
GDF : Gelecek değer faktörü
 R_i : İç ısı taşınım direnci (m^2K/W)
 $R_{dış}$: Dış ısı taşınım direnci (m^2K/W)



R_{duvt} : Isı iletim direnci-yalıtım malzemesi hariç,
duvar katmanları (m^2K/W)
 x : Yalıtım kalınlığı (m)
 x_{op} : Optimum yalıtım kalınlığı (m)
 η : Kazanç kullanım faktörü

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Dağsöz, A.K. ve Bayraktar, K., (1995). Türkiye'de derece-gün sayıları ve enerji politikamız. İzocam yayınları, A-8.
2. Hasan, A., (1999). Optimizing insulation thickness for buildings using life cycle cost. Appl. Energy, Cilt:63, ss:115-124.
3. Çomaklı, K. ve Yüksel, B.(2003). Optimum insulation thickness of external walls for energy saving. Appl. Thermal Engineering, 23, ss:473-479.
4. Gustafsson, S. (2000). Optimization of insulation measures on existing buildings. Energy and Buildings, 33, ss:49-55.
5. Al-Khawaja, M. (1995). Thermal resistance of building materials. B.S. graduation project, Birzeit University.
6. Mohsen, MS. ve Akash, BA., (2001). Some prospects of energy savings in buildings. Energy Convers Manage, 42, 1307-15.
7. Aksoy, T. ve İnallı, M., (2003). Bina kabuğundaki yalıtım uygulamalarının ısıtma enerjisine etkisinin sayısal analizi. TMMOB Tesisat Mühendisliği, 76, ss:34-39.
8. TS 825, (1999). Binalarda ısı yalıtım kuralları, Resmi Gazete Sayı:23725, ss:12.
9. Ekinci, C.E. (2003). Yalıtım Teknikleri. İstanbul: Atlas Yayın Dağıtım.
10. Aksoy, T. ve İnallı, M., (2004). Kompozit bir duvarda mevsimlik ısı kayıp-kazancı ve yön ilişkisinin belirlenmesi.F.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi. 16,(1), ss:115-125.
11. Dombaycı, Ö. A., Gölcü, M. ve Pancar, Y. (2004). Optimization of insulation thickness for external walls for different energy-sources. Applied Energy.
12. Binyıldız, E., Turan, O. ve Karakoç, T.H., (1999). Binalarda ve tesisatta ısı yalıtımı. İstanbul: ODE yayınları.