

Gönen Jeotermal Bölge Isıtma Sistemiyle Isıtılan Farklı Tip Binaların Dış Duvarlarının Optimum Yalıtım Kalınlıklarının Belirlenmesi

Asiye ASLAN^{1,*}, Bedri YÜKSEL²

¹Balıkesir Üniversitesi Gönen Meslek Yüksekokulu, Gaz ve Tesisatı Tek. Böl., Gönen, Balıkesir.

²Balıkesir Üniversitesi Müh.-Mim. Fak. Makina Müh. Böl., Çağış kampüsü, Balıkesir.

Özet

Bu çalışmada Gönen jeotermal bölge ısıtma sistemi ile ısıtılan ve farklı dış duvar yapısına sahip 4 ayrı bina seçilerek, dış duvarlarının ısı transfer katsayıları ve optimum yalıtım kalınlıkları araştırılmıştır. Isı transfer katsayıları ölçüm yapılarak ve hesapla elde edilmiştir. Ölçülen değerler ile hesaplanan değerler karşılaştırılmış ve birbiriyle uygun olduğu görülmüştür. Optimum yalıtım kalınlıkları, ömür maliyet analizi yöntemine göre, jeotermal enerji ile kömür yakıtı ve yalıtım malzemesi olarak XPS ile EPS için hesaplanmış, enerji tasarrufları ile geri ödeme süreleri belirlenmiştir. Sonuç olarak, optimum yalıtım kalınlıkları 0.026 ile 0.122 m arasında değişmiş ve maksimum yıllık tasarruf 21.37 \$/m² ve en kısa geri ödeme süresi 1.67 yıl olarak elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: jeotermal bölge ısıtma sistemi, yalıtım kalınlığı.

Determination of Optimum Insulation Thickness for External Walls of Different Type Buildings Heated By Gonen Geothermal District Heating System

Abstract

In this study, by choosing four buildings which have different external wall structures and heated by Gonen geothermal district heating system, heat transfer coefficients of their external walls and optimum insulation thickness were investigated. Heat transfer coefficients were obtained from measurements and calculations. The measured and calculated values are compared and were found to be appropriate with each other. Optimum insulation thickness, according to the lifetime cost analysis, were calculated for geothermal energy and coal as fuel and XPS and EPS as insulation materials, energy savings and payback periods have been identified. As a result, the optimum insulation thickness varies between 0.026 and 0.122 m and a maximum annual savings is 21.37\$/m² and shortest payback period is 1.67 years were obtained.

Keywords: geothermal district heating system, insulation thickness.

* Asiye ASLAN, aaslan@balikesir.edu.tr, Tel: (266) 762 08 68.

1. Giriş

Gönen jeotermal bölge ısıtma sistemi 1987 yılında devreye alınan Türkiye'nin ilk jeotermal bölge ısıtma sistemidir. Sistemde ısıtılan binaların çoğunun eski olması ve inşa edildikleri yıllardaki inşaat standartlarına göre yapılmış olması nedeniyle, enerji kayıpları fazla olmaktadır. Konutlarda tüketilen enerji miktarını azaltmanın en etkili yolu, ısı yalıtımı yapmaktır. Bir binada ısı yalıtımı dış duvar, tavan ve döşemede yapılır. Mevcut binalarda sonradan yalıtım yaptırmak kolay bir işlemdir. Doğru malzemenin ve doğru yalıtım kalınlığının uygulanmasıyla önemli oranda tasarruf sağlamak mümkündür.

Literatürde, binalarda enerji tasarrufu ve optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi ile ilgili birçok çalışmaya rastlanmıştır. Hasan [1] ömür maliyet analizi yöntemine göre kaya yünü ve polistren yalıtım malzemesi kullanarak Filistin'de, duvar alanından 21 $\$/m^2$ tasarruf sağlamanın mümkün olabileceğini hesaplamıştır. Gustafson [2] eski binalarda kullanılan enerjiyi aza indirmek için optimizasyon yapmış ve bunun için bir simülasyon programı geliştirmiştir. Bu programı kullanarak ısıtma sistemlerinde ömür çevrim maliyet karşılaştırması yapmıştır. Burada en önemli vurgulanan sonuç, bölgesel ısıtma sistemlerinde işletme maliyetlerinin düşük olması için binalarda yeniden yalıtım yapılması ve ısı kayıplarının en aza indirilecek şekilde binaların tasarlanmasıdır. Mohsen ve Akash [3] binalarda enerji tasarrufu konusunda Ürdün'de yaptıkları çalışmalarında binaların duvar ve çatılarında yalıtım malzemesi olarak EPS kullanılması durumunda % 76.8 değerine varan miktarlarda enerji tasarrufu sağlanabileceğini ortaya koymuşlardır. Çomaklı ve Yüksel [4] Türkiye'nin en soğuk üç şehri için (Erzurum, Erzincan ve Kars) binalarda dış duvarlarının optimum yalıtım kalınlığını belirlemiş ve Erzurum ili için optimum yalıtım kalınlığı uygulandığında 12 $\$/m^2$ -yıl tasarruf sağlanabileceğini hesaplamışlardır. Şişman v.d. [5] Türkiye'nin dört farklı derece-gün bölgesi için dış duvar ve çatının optimum yalıtım kalınlığını belirlemişlerdir. Dış duvar için 1.28 ile 5.67 $\$/m^2$ -yıl, çatı için 0.92 ile 4.92 $\$/m^2$ -yıl arasında değişen tasarruf miktarı hesaplamışlardır. Bolattürk [6] Türkiye'de farklı derece gün bölgelerinden 16 şehir için dış duvarların optimum yalıtım kalınlığını araştırmıştır. Farklı yakıt tiplerine ve farklı şehirlere bağlı olarak optimum yalıtım kalınlığını 2 ile 7 cm, enerji tasarrufunu % 22 ile 79 ve geri ödeme süresini 1.3 ile 4.5 yıl aralığında hesaplamıştır.

Bu çalışmada; Gönen jeotermal bölge ısıtma sistemiyle ısıtılan farklı dış duvar yapısına sahip 4 ayrı bina seçilerek, dış duvarlarının ısı transfer katsayıları ve optimum yalıtım kalınlıklarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Optimum yalıtım kalınlığı jeotermal enerji ve ilçede yaygın olarak kullanılan kömür yakıtı için hesaplanmıştır. Bununla birlikte optimum yalıtım kalınlığına bağlı olarak elde edilecek yıllık tasarruflar ile geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Optimum yalıtım kalınlığı, faiz ve enflasyon oranları dikkate alınarak hesaplanmış olup, hesaplar ömür maliyet analizine göre yapılmıştır.

2. Farklı Tip Binaların Dış Duvarlarının Mevcut Durumlarının Tespit Edilmesi

Çalışmada ilk etapta, Gönen jeotermal bölge ısıtma sistemiyle ısıtılan binalar incelenerek, farklı dış duvar yapısına sahip (Dış duvar 1, 2, 3, 4) dört adet bina seçilmiştir. Binaların dış duvar konstrüksiyonlarının belirlenmesinde Belediye'den temin edilen mimari projelerden faydalanılmıştır. Binaların dış duvarlarının ısı transfer katsayıları hesaplanarak belirlenmiştir. Aynı zamanda dış duvarların ısı transfer

katsayıları Ahlborn ısı akış plakası ve termokupllar kullanılarak ölçüm yöntemiyle de bulunmuştur. Tablo 1’de seçilen binaların dış duvar konstrüksiyonlarının yalıtımsız veya eksik yalıtımlı mevcut durumu ile hesabı yapılacak optimum yalıtımlı durumu birlikte gösterilmiştir.

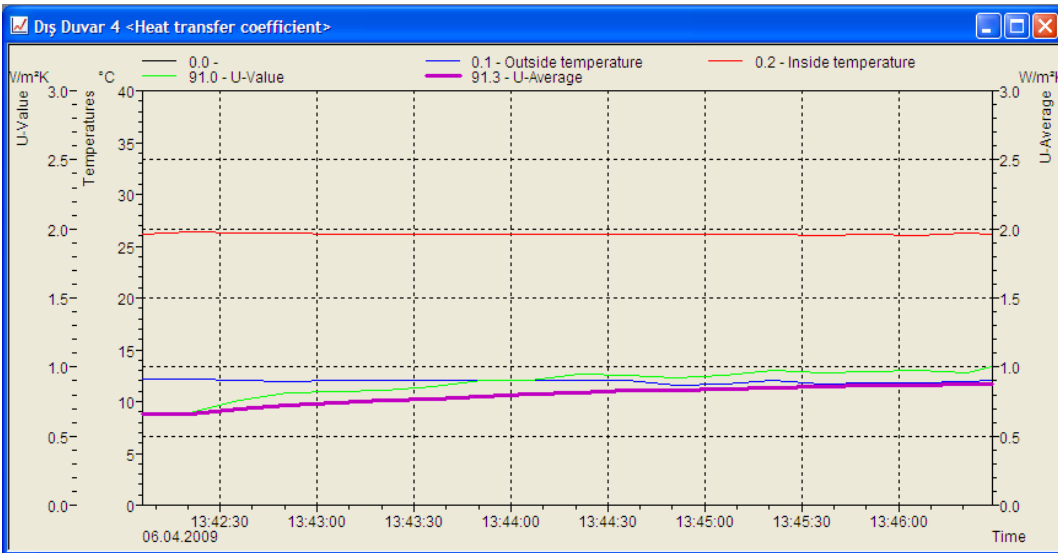
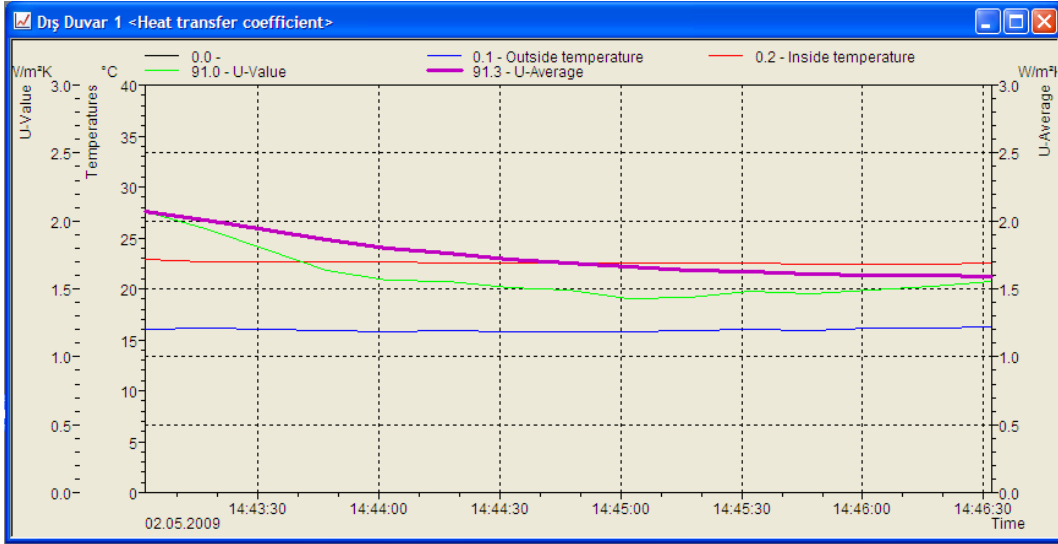
Tablo 1. Dış duvarlarının mevcut ve yalıtımlı durumlarının konstrüksiyonları.

DIŞ DUVAR KONSTRÜKSİYONLARI		Yalıtımsız / Eksik Yalıtımlı Mevcut Durum		Optimum Yalıtımlı Durum	
		Kalınlık (m)	Isı İletkenliği (λ) (W/mK)	Kalınlık (m)	Isı İletkenliği (λ) (W/mK)
Dış duvar 1	İç sıva	0.02	0.87	0.02	0.87
	Delikli tuğla	0.19	0.45	0.19	0.45
	Yalıtım	-	-	x_{opt}	0.028 - 0.034
	Dış sıva	0.03	1.4	0.03	1.4
			$U_{hes} = 1.571 \text{ W/m}^2\text{K}$		$U = 1/(R_{izo}+0.637)$
Dış duvar 2	İç sıva	0.02	0.87	0.02	0.87
	Delikli tuğla	0.19	0.45	0.19	0.45
	Yalıtım (XPS, EPS)	0.03 - 0.04	0.028 - 0.034	x_{opt}	0.028 - 0.034
	Dış sıva	0.03	1.4	0.03	1.4
			$U_{hes} = 0.585 - 0.552 \text{ W/m}^2\text{K}$		$U = 1/(R_{izo}+0.637)$
Dış duvar 3	İç sıva	0.02	0.87	0.02	0.87
	Gazbeton	0.2	0.22	0.2	0.22
	Yalıtım	-	-	x_{opt}	0.028 - 0.034
	Dış sıva	0.03	1.4	0.03	1.4
			$U_{hes} = 0.890 \text{ W/m}^2\text{K}$		$U = 1/(R_{izo}+1.124)$
Dış duvar 4	İç sıva	0.02	0.87	0.02	0.87
	Delikli tuğla	0.085	0.45	0.085	0.45
	Yalıtım (EPS)	0.02	0.040	x_{opt}	0.040
	Delikli tuğla	0.135	0.45	0.135	0.45
	Dış sıva	0.03	1.4	0.03	1.4
		$U_{hes} = 0.831 \text{ W/m}^2\text{K}$		$U = 1/(R_{izo}+0.703)$	

Seçilen binalarda dış duvarların hesaplanan ısı transfer katsayıları ile ölçüm sonuçlarından elde edilen ısı transfer katsayıları Tablo 2’de birlikte verilmiştir. Tablodan ölçülen ve hesaplanan değerlerin uygunluğu görülmektedir. Dış duvar 1 ve 4’ün ölçüm sonuçlarının grafikleri Şekil 1, 2’te verilmiştir.

Tablo 2. Dış duvarlarının hesaplanan ve ölçülen ısı transfer katsayıları karşılaştırılması.

Yapı Bileşenleri	Hesaplanan (U_{hes}) (W/m ² K)	Ölçülen ($U_{ölç}$) (W/m ² K)
Dış duvar 1	1.571	1.59
Dış duvar 2 (XPS için)	0.585	0.68
Dış duvar 2 (EPS için)	0.552	0.60
Dış duvar 3	0.890	0.90
Dış duvar 4	0.831	0.89



3. Dış Duvarların Optimum Yalıtım Kalınlıklarının Belirlenmesi

Binalarda uygulanacak ısı yalıtımında kullanılacak yalıtım malzemesi kalınlığı, hedeflenen enerji tasarrufu ve oluşacak yatırım maliyeti arasındaki optimizasyona göre belirlenebilir. En uygun yalıtım kalınlığı tespit edilirken, ısıtma yapılan gün sayısı, günlük ısıtma süresi, bu süre esnasında dış ortam hava sıcaklığı, yakıt birim fiyatı, yakıtın ısıl değeri, sistem verimi, ısı yalıtım malzemesinin ısı yalıtım kabiliyeti, ısı yalıtım malzemesinin birim fiyatı, ısı yalıtım malzemesinin kullanım ömrü, enflasyon ve faiz oranları, binanın yapı bileşenlerinin ısı transfer özellikleri gibi kriterler göz önüne alınmalıdır.

Türkiye TS 825'e göre dört derece gün bölgesine ayrılmıştır. Balıkesir ili Gönen ilçesi ikinci derece gün bölgesinde bulunmakta ve ısıtma derece gün sayısı 1914'tür. (18 °C denge noktası sıcaklığında) [7]. Yapılan hesaplar ve analizlerde kullanılan jeotermal enerji ve kömür yakıtlarının fiyat, alt ısıl değer ve ısıtma sistemlerinin verim değerleri Tablo 3'de verilmiştir.

Jeotermal enerjinin birim fiyatının hesaplanmasında Gönen ilçesinde 2009 yılı abone ücretleri dikkate alınmıştır. 2009 yılında Gönen'de jeotermal aboneleri 100 m² büyüklüğünde bir konut için 70 TL/ay ücret ödemektedir. Bu durumda yıllık jeotermal ücreti 840 TL/yıl'dır. Yıllık yakıt miktarı aşağıdaki genel formüle göre hesaplanarak jeotermal enerji için birim fiyat belirlenmiştir [8].

$$F = \frac{24(DG)C_D q}{\eta_s (T_i - T_d) H_u} \quad (1)$$

Formülde, DG derece gün değerini (°C-gün), C_D ($C_D=0.8$) 18 °C temel sıcaklığında derece gün korelasyon faktörü, q toplam ısı kaybı (kW), η_s sistem verimi, T_i ve T_d sırasıyla iç ve dış sıcaklık değerleri (°C) ve H_u ısıtma sistemi verimi (kWh/kg)'dir. Hesaplama 100 m² konut için toplam ısı kaybı yaklaşık 8.83 kW ve $T_i = 20$ °C, $T_d = -6$ °C olarak alınmıştır [9].

Yalıtım malzemesi olarak ülkemizde ve özellikle ilçede yaygın kullanılan dış duvarlarda yalıtım malzemeleri; mantolama yönteminde XPS ve EPS ($\rho \geq 20$ kg/m³) ve sandwich yönteminde EPS ($\rho = 10$ kg/m³) kullanılmıştır. Tablo 4. bu yalıtım malzemelerinin özelliklerini vermektedir.

Tablo 3. Yakıtların fiyat, alt ısıl değer ve ısıtma sistemlerinin verimi [8, 10, 11].

	Fiyat	Alt Isıl Değer	Verim (%)
Jeotermal Enerji	0.4482 \$/kg	36.000x10 ⁶ J/kg	98
Kömür	0.2767 \$/kg	25.122x10 ⁶ J/kg	65

1 \$=1.47 TL

Tablo 4. Yalıtım malzemelerinin özellikleri.

Yalıtım Malzemesi	Yoğunluğu (ρ) (kg/m ³)	Isı İletkenliği (λ) (W/mK)	Fiyatı (\$)
XPS (Extruded Polistren)	≥ 30	0.028	144
EPS (Ekspanded Polistren)	≥ 20	0.034	85
	10	0.040	40

3.1. Dış Duvarlarda Isı Kayıpları

Binalardan ısı kayıpları çoğunlukla, dış duvar, tavan, taban, pencere ve sızıntı ile meydana gelir.

Dış duvarın birim alanından ısı kaybı,

$$q = U\Delta T \quad (2)$$

şeklindedir. Burada, U ısı transfer katsayısı, ΔT ise gün boyunca değişen dış ortam sıcaklığı ile sabit iç ortam sıcaklığının farkıdır. Birim alan için yıllık ısı kaybı şöyle hesaplanabilir.

$$q_A = 86400 DGU \quad (3)$$

Burada DG derece gün sayısıdır. Yıllık enerji talebi, yıllık ısı kaybının ısıtma sisteminin verimine η_s bölünmesiyle yaklaşık olarak elde edilir.

$$E_A = \frac{86400DGU}{\eta_s} \quad (4)$$

Bir yalıtım bileşenini de içeren tipik bir duvar için U değeri,

$$U = \frac{1}{R_i + R_w + R_{izo} + R_d} \quad (5)$$

şeklindedir. Burada, R_i ve R_d iç ve dış yüzey ısı taşınım direnci olup, R_w yalıtımsız duvarın ısı geçirgenlik direnci ve R_{izo} yalıtım tabakasının ısı geçirgenlik direncidir ve

$$R_{izo} = \frac{x}{\lambda} \quad (6)$$

şeklinde yazılır. Denklemden x ve λ sırasıyla yalıtım malzemesinin kalınlığı ve ısı iletim katsayısı değeridir. Eğer R_{wt} yalıtımsız duvarın toplam ısı geçirgenlik direnci ise (5) numaralı eşitlik yeniden aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$U = \frac{1}{R_{wt} + R_{izo}} \quad (7)$$

Sonuç olarak, yıllık ısı yükü aşağıda verildiği gibidir.

$$E_A = \frac{86400DG}{(R_{wt} + \frac{x}{\lambda})\eta_s} \quad (8)$$

3.2. Optimum Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi

Optimum yalıtım kalınlığı hesaplanırken, ömür boyu maliyet analizi kullanılan yöntemlerden biridir. Toplam ısıtma maliyeti, N yıl ömür için şimdiki değer faktörü PWF ile birlikte değerlendirilir. Şimdiki değer faktörü enflasyon oranı (g) ve faiz oranına (i) bağlıdır. Enflasyon ve faiz oranlarına göre PWF aşağıdaki gibi yazılabilir.

Eğer $i > g$ ise,

$$r = \frac{i - g}{1 + g}$$

Eğer $i < g$ ise,

$$r = \frac{g - i}{1 + i} \quad \text{ve,}$$

$$PWF = \frac{(1 + r)^N - 1}{r(1 + r)^N} \quad (9)$$

Denklemden N ömür, hesaplarda 10 yıl olarak alınmıştır. Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası [12] ve Türkiye İstatistik Kurumu [13] kayıtlarına göre yıllık faiz oranı (i) ve enflasyon oranı (g) 2009 yılı sonu itibariyle sırasıyla, % 9.25 ve % 5.08 olarak alınmıştır.

Eğer $i = g$ ise,

$$PWF = \frac{N}{1 + i} \quad (10)$$

Birim alan için yıllık ısıtma maliyeti,

$$C_A = \frac{86400DGC_f}{(R_{wt} + \frac{x}{\lambda})H_u\eta_s} \quad (11)$$

şeklinde. Burada C_f , yakıt maliyetidir ve (\$/kg) birimindedir.

Yalıtım maliyeti aşağıda verildiği gibidir.

$$C_{izo} = C_I x \quad (12)$$

Burada C_I , yalıtım malzemesinin maliyeti (\$/m³) ve x de yalıtım malzemesinin kalınlığı (m) dir.

Yalıtımlı binanın toplam ısıtma maliyeti,

$$C_t = C_A PWF + C_I x \quad \text{veya} \quad (13)$$

$$C_t = \frac{86400DGC_f PWF}{(R_{wt} + \frac{x}{\lambda})H_u\eta_s} + C_I x \quad (14)$$

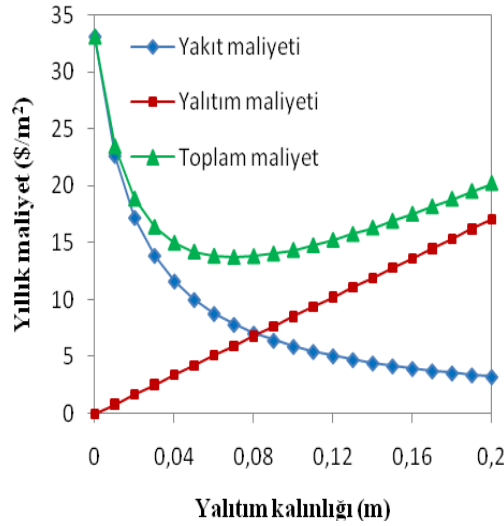
şeklinde. Optimum yalıtım kalınlığı toplam ısıtma maliyetinin (14 nolu denklemin) yalıtım kalınlığına (x) göre türevinin alınmasıyla elde edilir.

$$x_{opt} = 293.94 \left(\frac{DGC_f PWF \lambda}{H_u C_I \eta_s} \right)^{1/2} - \lambda R_{wt} \quad (15)$$

Denklemden görüldüğü gibi, optimum yalıtım kalınlığı, derece gün sayısı, yakıt maliyeti, yalıtım malzemesinin maliyeti, şimdiki değer faktörü, yakıt, duvar ve yalıtım malzemesinin özelliklerine bağlıdır.

4. Sonuçlar ve Tartışma

Binalarda artan yalıtım kalınlığı ile ısı kaybı dolayısıyla, ısıtma yükü ve yakıt maliyeti azalır. Ancak kalınlığın artması yalıtım maliyetinin artması demektir. Yakıt ve yalıtım maliyetinin toplamından oluşan toplam maliyet, belirli bir değerine kadar azalır; bu seviyeden sonra artar. Toplam maliyetin minimum olduğu değer optimum yalıtım kalınlığını verecektir. Gönen için yalıtım kalınlığına göre yıllık maliyetin değişimi Şekil 3’de gösterilmiştir. Şekil jeotermal enerji ve yalıtım malzemesi olarak XPS kullanılması durumuna göre Dış duvar 1 için elde edilmiştir.



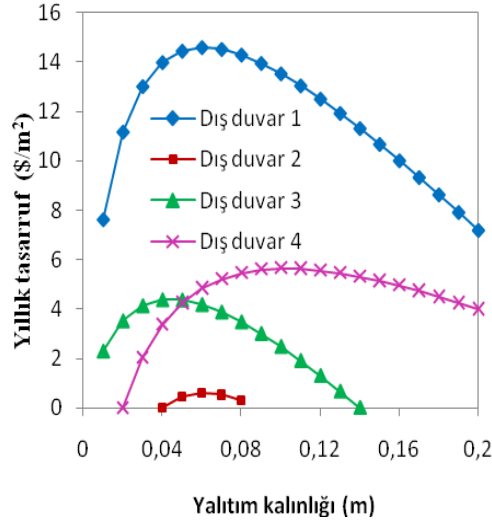
Şekil 3. Gönen için yalıtım kalınlığının toplam maliyete etkisi.

Gönen ilçesinde kullanılan enerji türüne ve yalıtım malzemesine göre farklı duvar tiplerinin hesaplanan optimum yalıtım kalınlık değerleri Tablo 5’te verilmiştir.

Tablo 5. Enerji türü ve yalıtım malzemesine göre optimum yalıtım kalınlıkları (m).

Duvar Tipleri	Jeotermal Enerji		Kömür	
	XPS	EPS	XPS	EPS
Dış duvar 1	0.039	0.060	0.048	0.073
Dış duvar 2	0.039	0.060	0.048	0.073
Dış duvar 3	0.026	0.044	0.035	0.057
Dış duvar 4	-	0.102	-	0.122

Her bir duvar tipi için birim alandan elde edilen yıllık tasarrufun yalıtım kalınlığına göre değişimi Şekil 4’te verilmiştir. Grafikler Dış duvar 1, 2 ve 3’te EPS ($\rho \geq 20 \text{ kg/m}^3$), Dış duvar 4’te EPS ($\rho \geq 10 \text{ kg/m}^3$) yalıtım malzemesi ve jeotermal enerji kullanılması durumuna göre elde edilmiştir.



Şekil 4. Yıllık tasarrufun yalıtım kalınlığına göre değişimi.

Dış duvarların optimum kalınlıkta yalıtım malzemesi ile yalıtılmasıyla birim alandan en fazla yıllık tasarruf yalıtımsız olan Dış duvar 1’de elde edilmektedir. Halen 0.04 m yalıtımlı olan Dış duvar 2 ve 0.02 m yalıtımlı olan Dış duvar 4’de ilave yalıtımla optimum kalınlıklar elde edilmektedir. Görüldüğü gibi en az tasarruf Dış duvar 2’de elde edilmektedir. Yapı elemanları genel olarak değerlendirildiğinde, yalıtımlı elemanlarda tasarruf miktarları en az yalıtımsız elemanlarda ise maksimum çıkmaktadır.

Tablo 6 duvar tiplerinin yalıtım türüne ve kullanılan enerji cinsine göre optimum yalıtım kalınlıklarında birim alandan elde edilen yıllık parasal tasarruf miktarlarını ve optimum yalıtım kalınlıkları uygulandığında, yatırımların geri ödeme sürelerini vermektedir. Doğal olarak en kısa geri ödeme süreleri en fazla tasarrufun sağlandığı yapı elemanında meydana gelmektedir. En kısa geri ödeme süresi, en fazla yıllık tasarrufunun sağlandığı Dış duvar 1’de elde edilmiştir. 12 yılı geçen tasarruflar ekonomik olmadığı için dikkate alınmamıştır.

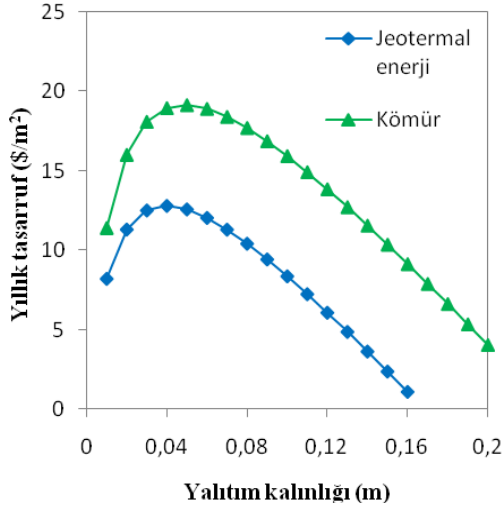
Tablo 6. Enerji türü ve yalıtım malzemesine göre yıllık tasarruf miktarları ve geri ödeme süreleri.

Duvar Tipleri	Tasarruf miktarı (\$)				Geri ödeme süresi (yıl)			
	Jeotermal Enerji		Kömür		Jeotermal Enerji		Kömür	
	XPS	EPS	XPS	EPS	XPS	EPS	XPS	EPS
Dış duvar 1	12.78	14.60	19.16	21.37	2.09	1.83	1.86	1.67
Dış duvar 2	0.28	0.60	1.05	1.57	ihmal	ihmal	ihmal	ihmal
Dış duvar 3	3.12	4.39	5.63	7.28	4.85	3.45	3.59	2.78
Dış duvar 4	-	5.65	-	8.77	-	2.64	-	2.24

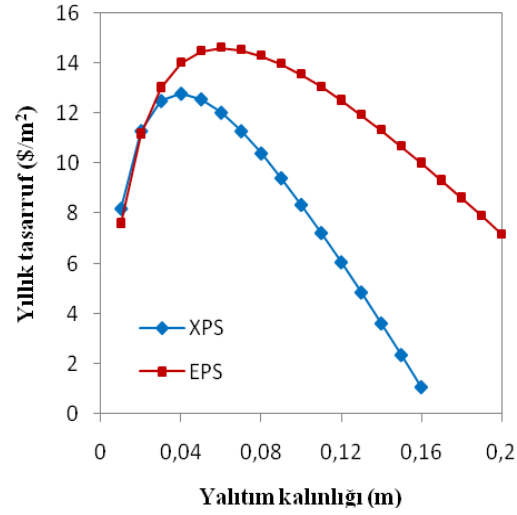
Şekil 5 Dış duvar 1’de yalıtım malzemesi olarak XPS kullanılması durumunda farklı enerji kullanımları (jeotermal enerji ve kömür) için yıllık parasal tasarrufun yalıtım kalınlıklarına göre değişimini vermektedir. Kömür yakıtı kullanıldığında daha fazla tasarruf elde edilmektedir.

Isıtma amaçlı jeotermal enerji kullanılması durumunda ve Dış duvar 1’de, yalıtım malzemesi olarak XPS veya EPS kullanılırsa, yıllık parasal tasarrufun yalıtım kalınlığı ile değişimi Şekil 6’da verilmektedir. EPS yalıtım malzemesi kullanıldığında elde edilen tasarruf miktarının daha fazla olduğu görülmektedir.

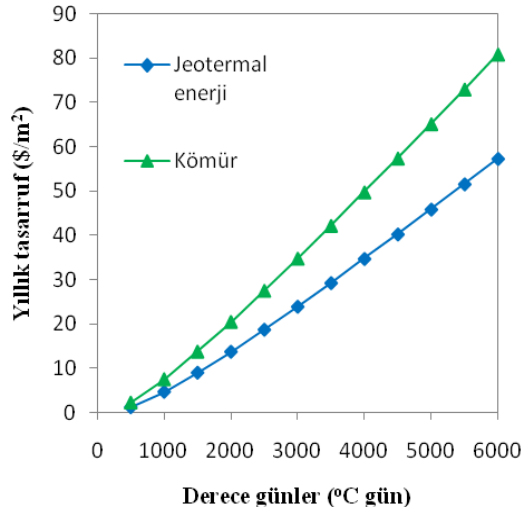
Şekil 7 ise Dış duvar 1’de XPS yalıtım malzemesi kullanıldığında jeotermal enerji ve kömür yakıtı için yıllık tasarrufun derece gün değerlerine göre değişimini vermektedir. Görüldüğü gibi derece gün değeri arttıkça tasarruf miktarı da artmaktadır.



Şekil 5. Farklı enerji türleri için yıllık tasarrufun yalıtım kalınlığına göre değişimi.



Şekil 6. Farklı yalıtım malzemeleri için yıllık tasarrufun yalıtım kalınlığına göre değişimi.



Şekil 7. Farklı enerji türleri için yıllık tasarrufun derece güne göre değişimi.

Gönen jeotermal bölge ısıtma sistemiyle ısıtılan, farklı duvar yapısına sahip 4 ayrı binanın hem jeotermal enerji hem de kömür olmak üzere iki enerji kaynağı için ve yalıtım malzemesi olarak XPS ve EPS kullanılarak dış duvarlarının optimum yalıtım

kalınlıkları hesaplanmıştır. Hesaplamalarda ömür maliyet analizi (LCA) kullanılmıştır. Dış duvarlarda optimum yalıtım kalınlığı uygulandığında, önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlanmıştır. Özellikle Gönen jeotermal bölge ısıtma sistemi gibi enerji kayıplarının fazla olduğu konutların çoğunlukta olduğu (Dış duvar 1 gibi) bir bölge ısıtma sisteminde yalıtım yapılarak enerji tasarrufu sağlamak, tasarruf edilen enerji ile daha fazla konutun ısıtılmasına imkan verecektir. Sonuç olarak yerli enerji kaynaklarımızın mevcut enerji talebimizi karşılamakta yetersiz kaldığı günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek ve bu kaynakları verimli kullanarak israfın önlenmesini, enerji maliyetlerinin azaltılmasını ve bununla birlikte çevrenin korunmasını sağlanması son derece önemlidir.

Semboller

C_A	Isıtma için yıllık enerji maliyeti ($\$/m^2\text{-yıl}$)
C_D	Derece gün korelasyon faktörü
C_f	Yakıt maliyeti ($\$/kg$)
C_I	Yalıtım maliyeti ($\$/m^2$)
C_{izo}	Yalıtım malzemesinin maliyeti ($\$/m^3$)
DG	Derece gün sayısı ($^{\circ}C$ gün)
EPS	Expanded polistren köpük
E_A	Isıtma için gerekli yıllık enerji miktarı ($J/m^2\text{-yıl}$)
F	Yıllık yakıt miktarı (kg)
g	Enflasyon oranı
H_u	Isıl değer (kWh/kg)
i	Faiz oranı
U	Toplam ısı transfer katsayısı (W/m^2K)
U_{hes}	Hesaplanan toplam ısı transfer katsayısı (W/m^2K)
$U_{ölç}$	Ölçülen toplam ısı transfer katsayısı (W/m^2K)
LCA	Ömür maliyet analizi
N	Ömür (yıl)
PWF	Şimdiki değer faktörü
q	Toplam ısı kaybı (kW)
q_A	Yıllık ısı kaybı (W/m^2)
R_d	Dış ortam havasının ısı direnç katsayısı (m^2K/W)
R_i	İç ortam havasının ısı direnç katsayısı (m^2K/W)
R_{izo}	Yalıtım malzemesinin ısı direnç katsayısı (m^2K/W)
R_w	Yalıtımsız duvar tabakasının ısı direnç katsayısı (m^2K/W)
R_{wt}	Yalıtımsız duvar tabakasının toplam ısı direnç katsayısı (m^2K/W)
T_i	İç ortam sıcaklığı ($^{\circ}C$)
T_d	Dış ortam sıcaklığı ($^{\circ}C$)
XPS	Ekstrüde polistren köpük
x	Yalıtım kalınlığı (m)
x_{opt}	Optimum yalıtım kalınlığı (m)
λ	Yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı (W/mK)
ρ	Yoğunluk (kg/m^3)
η_s	Yakma sisteminin verimi

Kaynaklar

- [13]. Hasan, A., Optimizing insulation thickness for buildings using life cycle cost, **Applied Energy**, 63, 115-124, (1999).
- [14]. Gustafsson, SI., Optimisation of insulation measures on existing buildings, **Energy and Buildings**, 33, 49-55, (2000).
- [15]. Mohsen, MS., Akash, BA., Some prospects of energy savings in buildings, **Energy Conversion and Management**, 42, 1307-1315, (2001)
- [16]. Comaklı, K., Yuksel, B., Optimum insulation thickness of external walls for energy saving, **Applied Thermal Engineering**, 23, 473-479, (2003)
- [17]. Sisman, N., Kahya, E., Aras, N., Aras, H., Determination of optimum insulation thicknesses of the external walls and roof (ceiling) for Turkey's different degree-day regions, **Energy Policy**, 35, 5151-5155, (2007)
- [18]. Bolatturk, A., Optimum insulation thicknesses for building walls with respect to cooling and heating degree-hours in the warmest zone of Turkey, **Building and Environment**, 43, 1055-1064, (2008)
- [19]. Bulut, H., Büyükcalaca, O., Yılmaz, T., Heating and cooling degree days zones for Turkey, **16. National Heat Science and Technique Congress**, Kayseri, Turkey, (2007).
- [20]. Hepbasli, A., A study on estimating the energetic and exergetic prices of various residential energy sources., **Energy and Buildings**, 40, 308-315, (2008)
- [21]. TS 2164, Kalorifer Tesisatı Projelendirme Kuralları, **Türk Standartları**, Ankara, (1983).
- [22]. <http://www.canakkalegaz.com.tr/turkish/> (2009)
- [23]. Enerji ve Çevre Teknoloji Sistemleri Dergisi, **Teknik Yayıncılık Grubu**, (2008).
- [24]. Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası (TCMB), (2009), <http://www.tcmb.gov.tr/>
- [25]. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), (2009), <http://www.tuik.gov.tr/>