

*Araştırma Makalesi / Research Article*

## Bitlis İlinde Farklı Yakıtlar ve Duvar Bileşenleri İçin Optimum Yalıtım Kalınlığı ve Enerji Tasarrufunun Analizi

Bahadır Erman YÜCE<sup>1,2\*</sup>, Mahmut Caner ACAR<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bitlis, Türkiye

<sup>2</sup>Technical University of Denmark, Department of Civil Engineering, International Centre for Indoor Environment and Energy, Denmark

<sup>3</sup>Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Niğde, Türkiye  
(ORCID: [0000-0002-2432-964X](https://orcid.org/0000-0002-2432-964X)) (ORCID: [0000-0002-6206-5374](https://orcid.org/0000-0002-6206-5374))

### Öz

Küresel olarak enerji talebi sürekli olarak artmaktadır ve bu durum hane başına olan enerji tüketimini arttırmaktadır. Bu çalışmada Bitlis ilinde optimum yalıtım kalınlığı değeri ve bu değere bağlı olarak hesaplanan enerji tasarrufu, yıllık enerji kazancı ve geri ödeme süresi kullanılan farklı yakıtlar, farklı yalıtım malzemeleri ve farklı duvar bileşenleri için incelenmiştir. Bitlis, Türkiye'nin en ağır kış şartlarını yaşayan illerinden biri olması sebebiyle elde edilen sonuçlar önem arz etmektedir. Çalışmada, yakıt için kömür ve doğalgaz, yalıtım malzemesi için taş yünü, cam yünü, EPS ve XPS ve duvar bileşeni için ise yatay delikli tuğla ve Bitlis pomzasından elde edilmiş bims kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar duvar malzemesi olarak yatay delikli tuğla yerine bims kullanımı ile optimum yalıtım kalınlığında kayda değer bir azalmanın olduğunu göstermiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre optimum yalıtım kalınlığının 0,027-0,096 m aralığında, enerji tasarrufunun 34,636-69,525 TL/m<sup>2</sup> aralığında, yıllık enerji kazancının %26,626-%62,69 aralığında ve geri ödeme süresinin ise 1,595-3,756 yıl değerleri aralığında değiştiği görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Optimum yalıtım kalınlığı, Bitlis pomzası, Enerji tasarrufu.

## Analysis of Optimum Insulation Thickness and Energy Saving for Different Fuels and Wall Components in Bitlis Province

### Abstract

Globally, the demand for energy is constantly increasing, and as a result, it increases energy consumption per household. In the present study, the value of optimum insulation thickness and the energy savings calculated based on this value, payback period and annual energy gain were examined in terms of various fuels, insulation materials and wall components in Bitlis province. Bitlis is one of the provinces with the harshest winter conditions in Turkey so the results obtained are important. In the study, natural gas and coal were chosen for fuel, EPS, XPS, rock wool and glass wool were chosen for insulation material and horizontally perforated brick and pumice block obtained from Bitlis pumice mines were chosen for wall components. Results showed that when using pumice block obtained from Bitlis pumice, the optimum insulation thickness for all cases is lower than the use of bed-hole bricks. According to the results, there was a significant decrease in the optimum insulation thickness with the use of pumice instead of horizontal perforated brick as wall material. Results also show that the optimum insulation thicknesses differ between 0,027-0,096 m, energy savings between 34,636-69,525 TL/m<sup>2</sup>, annual energy gain between 26,626% -62,69%, and the payback period between 1,595-3,756 years.

**Keywords:** Optimum insulation thickness, Bitlis pumice, Energy saving.

### 1. Giriş

Enerjinin verimli kullanılması günümüzde ülkelerin enerji politikaları için en önemli unsurlarından biri haline gelmiştir. Birleşmiş Milletler çevre programı verilerine göre binalar küresel enerjinin % 40'ını

\*Sorumlu yazar: [beyuce@beu.edu.tr](mailto:beyuce@beu.edu.tr)

Geliş Tarihi: 30.06.2021, Kabul Tarihi: 27.09.2021

kullanılmaktadır [1]. Binalarda enerji tüketimi en yüksek uygulamalardan biri ise ısıtma ve soğutma sistemleridir. Bu sistemlerin en verimli şekilde kullanılabilmesi için binaların ısıl olarak iyi bir şekilde yalıtılması gerekmektedir. İyi yalıtılmış binalar hem dolaylı hem de doğrudan çevre kirliliğini azaltır ve ülke ekonomisine olumlu katkı sağlar. Yalıtım ısıl konfor sıcaklıklarına ulaşılmasının daha az maliyetli hale gelmesini sağlar. Bu durum iyi yalıtılmış binalarda çalışan üretkenliğinin de artacağını göstermektedir.

Yalıtımlı binalarda, yapı elemanları ile dış ortam arasındaki ısı transferi azalır. Bu durum soğuk havalarda iç ortamdan dış ortama olan ısı kaybını azaltırken sıcak havalarda ise dış ortamdan iç ortama ısı geçişini azaltır.

İzolasyon malzemesinin kalınlığının artırılması ısı transferini azaltır fakat bu durum aynı zamanda izolasyon maliyetini de artırır. Bu nedenle "optimum" değere ulaşmak çok önemlidir. Optimum yalıtım kalınlığı, yalıtım ve kaybedilen ısı maliyetleri toplamının minimum olduğu kalınlık değeridir.

Optimum yalıtım kalınlığı ile ilgili akademik literatürde yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır. Gölcü ve ark. yaptıkları çalışmada Denizli ili için optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu ve geri ödeme süresi değerlerini ithal fuel oil ve kömür için hesaplamışlardır [2]. Dış cephe yalıtım malzemesi olarak taş yünü, yakıt olarak ise ithal kömür kullandıklarında, yıllık tasarrufu %42, optimum yalıtım kalınlığını 0,048 m, ve geri ödeme süresini ise 2,4 yıl olarak bulduklarını ifade etmişlerdir. Özel yaptığı çalışmada optimum yalıtım kalınlığını dinamik şartlar altında hesaplamıştır [3]. İmplicit sonlu farklar metodunu kullanarak yıllık ısıtma yükünü kararlı periyodik şartlar kullanarak hesaplamıştır. Çalışmasında yakıt olarak, doğal gaz, fuel-oil ve ithal kömür ve yalıtım malzemesi olarak XPS kullanılmıştır. Elazığ ili için optimum yalıtım kalınlığı 0,040 m olarak doğal gaz yakıtı kullanıldığı durumda elde edilmiştir. Kaynaklı, yaptığı çalışmada, optimum yalıtım kalınlığının hesaplanmasında kullanılan parametrelerin etkilerini incelemiştir [4]. Isıtma ve soğutma yüklerinin, binanın ömrünün, enflasyon oranının, enerji maliyetlerinin ve yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı değerinin artması ile optimum yalıtım kalınlığının da arttığını ifade etmiştir. Faiz oranı, yalıtım malzemesinin maliyeti, toplam duvar ısıl direnci ve performans katsayısı (COP) değerlerinin artması ile ise azaldığını göstermiştir. Işık ve Tuğan, optimum yalıtım kalınlığını Kars, Hakkari ve Tunceli illeri için araştırmışlardır [5]. Çalışmalarında, yalıtım malzemesinin ısıl iletkenlik katsayısı, duvar kalınlığı, derece-gün sayısı ve yakıt tipine göre maliyet eğrilerini oluşturmuş ve geri ödeme sürelerini hesaplamışlardır. Hakkari için 8,2 cm, Tunceli ili için 7,9 cm ve Kars için optimum yalıtım kalınlığı 10,4 cm olarak hesaplandığını ifade etmişlerdir. Özel ve Tunç, ise yaptıkları çalışmada Kars ili için optimum yalıtım kalınlığını ışınım özelliklerini de dikkate alarak bina dış duvarları için hesaplamışlardır [6]. Kars ili için, 3897 ve 4867 DG değerlerine göre optimum yalıtım kalınlıklarının sırasıyla 8 ve 9 cm olarak elde edildiğini belirtmişlerdir. Uçar ve Dumrul ise yaptıkları çalışmada dış taraftan yalıtımlı duvar ve sandviç duvar için hesaplama yapmışlardır [7]. Yakıt için kömür ve doğalgaz kullanmışlardır. Sıkıştırılmış polistiren (XPS) ve genişletilmiş polistiren (EPS) ise yalıtım malzemesi olarak yaptıkları çalışmada kullanılmıştır. Çalışmalarının sonucunda hem soğutma ve hem de ısıtma durumu için enerji tasarrufları 24,79 TL/m<sup>2</sup> ile 60,45 TL/m<sup>2</sup> arasında, geri ödeme süreleri 2,5714 ve 4,2062 yıl arasında ve optimum yalıtım kalınlıklarının ise 0,0549 m ile 0,0836 m arasında değiştiğini ifade etmişlerdir. Bademlioğlu ve ark. İse Bitlis için optimum yalıtım kalınlığını yoğunlaşma durumunu dikkate alarak şubat ayı için hesaplamışlar ve yalıtım kalınlığının en az 0,104 m olması gerektiğini ifade etmişlerdir [8]. Canbolat ve ark. yaptıkları çalışmada [9] optimum yalıtım kalınlığına etki eden parametrelerin etki oranlarını incelemiş ve en etkili parametrenin %27,33 ile ısıtma gün sayısı olduğunu, en az etkili parametrenin ise %3,21 ile ısıtma sisteminin verimi olduğunu belirtmişlerdir. Canbolat ve ark. [10] yaptıkları bir başka çalışmada ise İstanbul ili için optimum yalıtım kalınlığını güneş radyasyonunu da dikkate alarak 0,047 m olarak hesaplamışlardır. Kürekçi [11] ise Türkiye’de bulunan 81 ilin farklı yakıtlar ve ısıtma senaryoları için tasarruf miktarını, optimum yalıtım kalınlığını ve geri ödeme süresini hesaplamıştır. Huang ve ark. ise [12] yalıtım malzemesi olarak aerogel kullanmıştır. Aerogeli yaygın kullanılan diğer yalıtım malzemeleri ile kıyasladıklarında 0,0037 m ile en düşük optimum yalıtım değerine sahip olduğunu ifade etmişlerdir.

Bu çalışmada ise diğer çalışmalardan farklı olarak güncel ekonomik verilerle Bitlis ili özelinde yalıtım malzemesi olarak taş yünü, cam yünü, EPS ve XPS, yakıt olarak kömür ve doğalgaz, yapı

elemanı olarak yatay delikli tuğla ve Bitlis pomzasından elde edilmiş bims kullanımını durumunda enerji tasarrufu, optimum yalıtım kalınlığı, geri ödeme süresi ve yıllık enerji kazancı değerleri hesaplanmıştır.

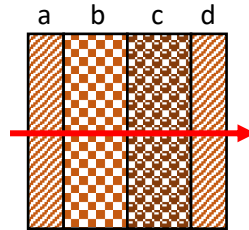
## 2. Materyal ve Metot

Binalarda meydana gelen ısı kayıpları en fazla bina dış cephe duvarlarında meydana gelmektedir. Binalardaki dış cephe duvarlarında kullanılan duvar modellerinden biri Şekil 1’de gösterilmiştir.

**Tablo 1.** Yalıtım malzemelerinin ve duvar bileşenlerinin özellikleri. [7] [13]

	Kalınlık (m)	Isı iletim katsayısı k (W/mK )	Isıl direnç R (m <sup>2</sup> K/W)
İç sıva	0,02	0,87	0,0229
Yatay Delikli Tuğla	0,13	0,45	0,2888
Bims (Bitlis Pomzası)	0,1	0,18	0,5555
Dış sıva	0,02	1,4	0,0142
R <sub>i</sub>	-	-	0,1667
R <sub>o</sub>	-	-	0,0454
Taş yünü	-	0,04	-
XPS	-	0,032	-
EPS	-	0,033	-
Cam yünü	-	0,045	-
<b>Toplam (Tuğla için)</b>			0,53
<b>Toplam (Bims için)</b>			0,80

Duvar bileşenlerinin özellikleri Tablo 1’de gösterilmiştir. Bitlis pomzasının ısıl özellikleri için TSE 1745 ve literatürden [4] faydalanılmıştır.



**Şekil 1.** Duvar modeli bileşenleri a) iç sıva, b) yatay delikli tuğla, c) yalıtım levhası, d) dış sıva

Dış duvarlardan ısı kaybını etkileyen temel faktörler duvarın toplam ısıl direnci ve ısı iletim özelliğidir. Duvar ısı iletim direncinin artması ve ısı iletim katsayısının azalması dış duvardan dış ortama geçecek ısıyı azaltmaktadır. Bina dış duvarından olan ısı kaybı aşağıdaki eşitlikle ifade edilebilir:

$$q = U \cdot \Delta T \quad (1)$$

Eşitlik 1’de ifade edilen U toplam ısı transfer katsayısıdır ve aşağıdaki Eşitlik ile hesaplanır:

$$U = \frac{1}{R_{iç} + R_{duvar} + R_{yalıtım} + R_{dış}} \quad (2)$$

Eşitlik 2’de gösterilen  $R_{iç}$  ve  $R_{dış}$  sırası ile iç ve dış yüzeylerin ısı dirençleridir.  $R_{duvar}$  ise yalıtımsız duvar tabakasının ısı direncini ifade etmektedir. Yalıtım malzemesinin ısı direnci de  $R_{yalıtım}$  ile gösterilmiştir ve Eşitlik 3 ile ifade edilir:

$$R_{yalıtım} = \frac{x}{k} \quad (3)$$

Burada  $k$  ve  $x$  sırası ile ısı iletim katsayısı ve yalıtım malzemesinin kalınlığıdır. Yalıtımsız duvarın toplam ısı direnci ise  $R_{duvar,t}$  ile ifade edilir ve bu çalışmada  $0,84 \text{ m}^2\text{K/W}$  olarak kabul edilmiştir.  $R_{duvar,t}$  Eşitlik 4’te gösterilmiştir.

$$R_{duvar,t} = R_{iç} + R_{duvar} + R_{dış} \quad (4)$$

Toplam ısı transfer katsayısı ise yukarıda elde edilen ısı direnç ifadeleri cinsinden aşağıda gösterilmiştir:

$$U = \frac{1}{R_{duvar,t} + R_{yalıtım}} \quad (5)$$

Birim yüzeyde meydana gelen yıllık ısı kaybı Eşitlik 6’da gösterilmiştir:

$$q = 86400 \cdot DG \cdot U \quad (6)$$

Burada ifade edilen  $DG$  değeri Isıtma Derece Gün sayısını (Heating Degree Day-HDD) ifade etmektedir. Bu çalışmada Bitlis için  $DG$  değeri 3545’tir. Eşitlik 7’de yıllık enerji ihtiyacı hesabı gösterilmiştir:

$$E_A = \frac{86400 \cdot DG \cdot U}{\eta} \quad (7)$$

Bu eşitlikteki  $\eta$  ifadesi yanma verimidir. Yukarıdaki eşitlikte toplam ısı direnç ifadesi açılırsa,

$$E_A = \frac{86400 \cdot DG}{(R_{duvar,t} + R_{yalıtım}) \cdot \eta} \quad (8)$$

ve Eşitlik 3 aşağıdaki gibi eşitliğe eklenirse:

$$E_A = \frac{86400 \cdot DG}{(R_{duvar,t} + \frac{x}{k}) \cdot \eta} \quad (9)$$

Eşitliği elde edilir. Isıtma için gerekli enerji ihtiyacı belirlendikten sonra yakıt tüketimi bulunabilir. Enerji ihtiyacına karşılık gelen yakıt tüketimi Eşitlik 10 ile bulunabilir:

$$m_{fA} = \frac{86400 \cdot DG}{\left(R_{duvar,t} + \frac{x}{k}\right) \cdot H_u \cdot \eta} \quad (10)$$

Yukarıdaki eşitlikte yer alan  $H_u$  ifadesi kullanılan yakıtın alt ısı değerini ifade eder. Bu çalışmada yakıt olarak doğalgaz ve kömür kullanılmıştır. Kullanılan yakıtların özellikleri Tablo 2’de ifade edilmiştir.

**Tablo 2.** Kullanılan yakıtlar ve özellikleri

Yakıt	Alt ısı Değer ( $H_u$ )	Yakıt birim fiyatı ( $C_f$ )	Yakma sistemi verimi $\eta$
Kömür	29380000 J/kg	0,68	0,65
Doğalgaz	34541000 J/m <sup>3</sup>	1,515	0,93

Enerji maliyetinin birim alan başına gösterimi ise Eşitlik 11’de gösterilmiştir:

$$C_A = \frac{86400 \cdot DG \cdot C_f}{\left(R_{duvar,t} + \frac{x}{k}\right) \cdot H_u \cdot \eta} = m_{fA} \cdot C_f \quad (11)$$

Yukarıda ifadede geçen  $C_f$  terimi yakıtın birim fiyatıdır. Tablo 2’de tüm yakıtların birim fiyatları gösterilmiştir. Yıllık enerji maliyeti aynı zamanda optimum yalıtım kalınlığını hesaplamak için gereklidir.

$$PWF = \frac{(1+r)^N - 1}{r \cdot (1+r)^N} = m_{fA} \cdot C_f \quad (12)$$

Eşitlik 11 ve 12’de şimdiki değer faktörü (present worth factor – PWF) gösterilmiştir [14]. N yıllık bir ömür boyunca toplam ısıtma maliyeti, PWF kullanılarak güncel para değeri cinsinden hesaplanabilir. Eşitlik 11’de geçen  $r$  terimi bu çalışma için enflasyon oranını  $g$  ve faiz oranı  $i$  ile Eşitlik 13’de gösterildiği gibi hesaplanır:

$$r = \frac{i - g}{1 + g} \quad (13)$$

Eğer;  $i > g$  ise  $r = (i - g)/(1 + g)$ ,  $i < g$  ise  $r = (g - i)/(1 + i)$  olarak hesaplanır. Bu çalışmada  $i=0,17$ ,  $g=0,16$  olarak kabul edilerek hesaplamalar yapılmıştır. Bina yalıtım maliyeti TL/m<sup>2</sup> cinsinden aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$C_{yalıtım} = C_i \cdot x \quad (14)$$

Eşitlik 14’te yer alan  $C_i$  ifadesi TL/m<sup>3</sup> cinsinden yalıtım malzemesinin fiyatıdır. Çalışmada yalıtım malzemelerinin  $C_i$  değerleri taş yünü için 680,903 TL/m<sup>3</sup>, XPS için 1190,276 TL/m<sup>3</sup>, cam yünü için 458,333 TL/m<sup>3</sup> ve EPS için ise 1038,2 TL/m<sup>3</sup>’dür.

Yalıtım yapılmış bir binanın toplam ısıtma maliyeti; şimdiki değer faktörü ve yalıtım maliyeti de dikkate alınarak aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$C_{t,yalıtım} = C_A \cdot PWF + C_i \cdot x \quad (15)$$

Eşitlik 11 ve Eşitlik 14, Eşitlik 15'te yerine yazılırsa yalıtım yapılmış bir binanın toplam ısıtma maliyeti Eşitlik 16'da ifade edildiği gibi hesaplanabilir:

$$C_{t,yalıtım} = \frac{86400 \cdot DG \cdot C_f \cdot PWF}{\left(R_{duvar,t} + \frac{x}{k}\right) \cdot H_u \cdot \eta} + C_i \cdot x \quad (16)$$

Eşitlik 15'te ifade edilen yalıtım yapılmış bir binanın toplam ısıtma maliyetini en aza indiren yalıtım kalınlığı optimum yalıtım kalınlığıdır.  $C_{t,yalıtım}$ 'ın  $x$ 'e göre türevi alınır ve sıfıra eşitlenirse optimum yalıtım kalınlığı  $x_{opt}$  elde edilir:

$$x_{opt} = 293.94 \left( \frac{DG \cdot C_f \cdot PWF \cdot k}{H_u \cdot C_i \cdot \eta} \right) - k \cdot R_{duvar,t} \quad (17)$$

### 3. Bulgular ve Tartışma

Küresel enerji ihtiyacı artan talebin ve ihtiyaçların sonucu olarak sürekli olarak artmaktadır. Bu sebeple enerjinin verimli kullanılması ve enerji tasarrufu gibi konular önemini arttırmıştır. Bu çalışmada dış cephe duvarı yalıtılmış bir bina için optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu, yıllık enerji kazancı ve geri ödeme süresi farklı yakıt türleri, duvar bileşenleri ve yalıtım malzemeleri için MS Excel yazılımı ile hesaplanmıştır. Ayrıca bina duvarında kullanılan bims için Bitlis pomzasının özellikleri kullanılarak hesaplar yapılmıştır. Taş yünü için yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen değerler Tablo 3'te verilmiştir. Hem bims hem de yatay delikli tuğla için kömür kullanımında yalıtım kalınlığının daha düşük olduğu görülmüştür. Doğalgazın birim fiyatı daha yüksek olduğundan yalıtım yapılması durumunda enerji tasarrufu ve yıllık enerji kazancının beklenildiği üzere daha fazla olduğu görülmüştür. Yatay delikli tuğla kullanımı için geri ödeme süreleri kömür ve doğalgaz için sırasıyla 1,905 ve 1,728 yıl olarak hesaplanmıştır. Yapı elemanı olarak bims kullanılması durumunda ise, pomzanın ısı iletim katsayısının düşük olması sebebiyle yalıtım kalınlığı azalmıştır. Duvar bileşeni malzemesinin ısıl iletkenliğinin düşük olması yalıtım malzemesine olan ihtiyacı azaltmıştır. Geri ödeme süreleri de bu bağlamda kömür için 2,9 yıla, doğalgaz için 2,4 yıla çıkmıştır.

**Tablo 3.** Taş yünü için farklı yakıt türlerinde enerji tasarrufu, optimum yalıtım kalınlığı, geri ödeme süresi ve yıllık enerji kazancı

Yalıtım malzemesi	Taş yünü							
	Yatay Delikli Tuğla				Bims			
Yakıt tipi	Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Enerji Tasarrufu (TL/m <sup>2</sup> )	Yıllık enerji kazancı (%)	Geri ödeme süresi (yıl)	Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Enerji Tasarrufu (TL/m <sup>2</sup> )	Yıllık enerji kazancı (%)	Geri ödeme süresi (yıl)

<b>Kömür</b>	0,057	101,505	52,506	1,905	0,046	45,393	34,896	2,896
<b>Doğal Gaz</b>	0,068	148,179	57,869	1,728	0,058	71,543	41,523	2,408

XPS için yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen değerler Tablo 4'te verilmiştir. XPS malzemenin ısı iletim direnci daha yüksek olduğundan optimum yalıtım kalınlığı değerleri hem kömür hem de doğalgaz için azalmıştır fakat XPS yalıtım levhalarının fiyatları diğer yalıtım malzemelerine göre yüksek olduğu için enerji tasarrufu ve yıllık enerji kazancı değerleri de azalmıştır. Bunun sonucunda geri ödeme süreleri de değişmiştir. Yatay delikli tuğla için bu değişim oldukça az olsa da bims kullanımında ise artış daha belirgindir. Bims kullanımında geri ödeme süresi kömür için 3,7 yıla doğalgaz için ise yaklaşık 3 yıla çıkmıştır.

**Tablo 4.** XPS için farklı yakıt türlerinde enerji tasarrufu, optimum yalıtım kalınlığı, geri ödeme süresi ve yıllık enerji kazancı

Yalıtım malzemesi	XPS							
	Yatay Delikli Tuğla				Bims			
Yakıt tipi	Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Enerji Tasarrufu (TL/m <sup>2</sup> )	Yıllık enerji kazancı (%)	Geri ödeme süresi (yıl)	Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Enerji Tasarrufu (TL/m <sup>2</sup> )	Yıllık enerji kazancı (%)	Geri ödeme süresi (yıl)
<b>Kömür</b>	0,036	87,908	45,473	2,199	0,027	34,636	26,626	3,756
<b>Doğalgaz</b>	0,044	131,649	51,413	1,945	0,035	57,853	33,578	2,978

EPS için yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen değerler Tablo 5'de verilmiştir. Ele alınan EPS ve XPS malzemelerinin ısı özelliklerinin ve maliyetlerinin birbirine yakın olmaları sebebiyle elde edilen değerler de birbirine yakın çıkmıştır. Bu durum hem farklı yakıtlar için hem de farklı duvar bileşenleri için geçerlidir. EPS kullanımında maliyetin az da olsa düşük olması sebebi ile geri ödeme süreleri daha kısadır.

**Tablo 5.** EPS için farklı yakıt türlerinde enerji tasarrufu, optimum yalıtım kalınlığı, geri ödeme süresi ve yıllık enerji kazancı

Yalıtım malzemesi	EPS							
	Yatay Delikli Tuğla				Bims			
Yakıt tipi	Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Enerji Tasarrufu (TL/m <sup>2</sup> )	Yıllık enerji kazancı (%)	Geri ödeme süresi (yıl)	Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Enerji Tasarrufu (TL/m <sup>2</sup> )	Yıllık enerji kazancı (%)	Geri ödeme süresi (yıl)
<b>Kömür</b>	0,04	92,343	47,767	2,094	0,031	38,069	29,265	3,417
<b>Doğalgaz</b>	0,048	137,063	53,528	1,868	0,04	62,266	36,139	2,767

Tablo 6'da cam yünü için elde edilen değerler gösterilmiştir. Cam yünü için elde edilen değerler incelendiğinde en fazla optimum yalıtım kalınlığı değerinin bu malzemede elde edildiği görülmüştür. Yeterli bir yalıtım için daha fazla kalınlık gerektirse de geri ödeme süreleri göz önüne alındığında cam yünü levhaların en düşük geri ödeme süresine sahip olduğu görülmektedir. Bitlis pomzasından elde edilen bimsin duvar bileşeni olarak kullanılması durumunda ise diğer yalıtım elemanlarında olduğu gibi, düşük ısı kaybından dolayı geri ödeme süresi artmıştır.

**Tablo 6.** Cam yünü için farklı yakıt türlerinde enerji tasarrufu, optimum yalıtım kalınlığı, geri ödeme süresi ve yıllık enerji kazancı

Yalıtım	Cam Yünü
---------	----------

malzemesi	Yatay Delikli Tuğla				Bims			
	Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Enerji Tasarrufu (TL/m <sup>2</sup> )	Yıllık enerji kazancı (%)	Geri ödeme süresi (yıl)	Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Enerji Tasarrufu (TL/m <sup>2</sup> )	Yıllık enerji kazancı (%)	Geri ödeme süresi (yıl)
<b>Kömür</b>	0,077	111,766	57,814	1,730	0,065	53,924	41,454	2,412
<b>Doğalgaz</b>	0,092	160,525	62,690	1,595	0,08	82,159	47,685	2,097

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada Bitlis ili için 2021 ekonomik verilerine göre, dış cephe yalıtımında gerekecek enerji tasarrufu, optimum yalıtım kalınlığı, geri ödeme süresi ve yıllık enerji kazancı değerleri hem kömür ve doğalgaz gibi farklı yakıtların kullanılması durumunda hem de bims (Bitlis Pomzası) ve yatay delikli tuğla gibi farklı yapı elemanlarının kullanılması durumunda hesaplanmıştır. Yakıt olarak kömür kullanıldığında optimum yalıtım kalınlığı doğalgaz kullanımına göre tüm durumlarda azalmıştır. En düşük optimum yalıtım kalınlığı 0,027 m olarak hesaplanmıştır ve bu değer yakıt olarak kömür, yalıtım malzemesi olarak XPS ve duvar bileşeni olarak bims kullanılması durumunda elde edilmiştir. En yüksek optimum yalıtım kalınlığı ise ısı iletim katsayısı en yüksek olan cam yünü malzemenin kullandığı yakıt olarak doğalgaz ve duvar bileşeni olarak ise yatay delikli tuğlanın kullanıldığı durumda hesaplanmıştır. Yine bu durumda en yüksek enerji tasarrufu ve yıllık enerji kazancı değerleri elde edilmiştir ve değerler sırasıyla 160,525 TL/m<sup>2</sup> ve %62,69'dur. Bu senaryoda ödeme süresi de en düşük değerde hesaplanmıştır. En yüksek geri ödeme süresi ise malzeme olarak XPS, yakıt olarak kömür ve duvar bileşeni olarak bims kullanılması durumunda 3,756 yıl olarak elde edilmiştir. Yalıtım kabiliyeti ve birim fiyat özellikleri geri ödeme süresinde etkili olmuştur. Yapı elemanı olarak bims kullanılması durumunda, yalıtım özellikleri duvar bileşeni tarafından da iyileştirilmiş olduğundan, geri ödeme süresi artmıştır. Bitlis ili pomza olarak zengin yeraltı kaynaklarına sahip olduğundan bölgede bims üretimi ve kullanımının artması, ısı kayıplarını azaltacak ve yalıtım maliyetini düşüreceğinden gerek bölgesel gerekse ulusal anlamda ekonomik bir katkı sağlayacaktır.

#### Yazarların Katkısı

Çalışmaya tüm yazarlar eşit oranda katkı sunmuştur.

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

#### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

#### Kaynaklar

- [1] United Nations Environment Programme Sustainable Buildings and Climate Initiative. Sustainable Buildings. 2021. <https://www.unep.org/explore-topics/resource-efficiency/what-we-do/cities/sustainable-buildings>, (Erişim Tarihi: 16.05.2021).
- [2] Gölcü M., Dombaycı Ö. A., Abalı S. 2006. Denizli İçin Optimum Yalıtım Kalınlığının Enerji Tasarrufuna Etkisi ve Sonuçları. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 21 (4): 639–644.



- [3] Özel M. 2008. Bina Dış Duvarlarının Optimum Yalıtım Kalınlıkları İçin Dinamik Yaklaşım Ve Maliyet Analizi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 23(4): 879–884.
- [4] Kaynaklı O. 2011. Parametric Investigation of Optimum Thermal Insulation Thickness for External Walls. *Energies*, 4(6): 913–927.
- [5] Işık E., Tuğan V. 2017. Tunceli, Hakkâri ve Kars illerinin optimum ısı yalıtım kalınlığının hesaplanması. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 3 (2): 50–57.
- [6] Özel M., Tunç D. 2018. Kars ilindeki binalar için ısıtma yükü ve optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 30 (1): 251–257.
- [7] Uçar A., Dumrul M.U. 2019. Bir konutun dış duvarları için ısıtma ve soğutma yüklerine göre optimum yalıtım kalınlığının tespiti ve enerji tasarrufu analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 16: 740–749.
- [8] Bademlioglu A.H., Canbolat A S., Kaynaklı Ö. 2018. Bina dış duvarlarında yoğuşma dikkate alınarak gerekli yalıtım kalınlığının belirlenmesi: Bitlis ili için örnek çalışma. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 23 (3): 333-340.
- [9] Canbolat A.S., Bademlioglu A.H., Saka K., Kaynaklı Ö. 2020. Investigation of parameters affecting the optimum thermal insulation thickness for buildings in hot and cold climates. *Thermal Science, Part A*, 24 (5): 2891-2903
- [10] Canbolat A.S., Bademlioglu A.H., Kaynaklı Ö. 2018. Determination of proper insulation thickness for building walls regarding economic consideration. *International Research Journal of Advanced Engineering and Science*, 3 (4): 173-176.
- [11] Kürekçi N.A. 2016. Determination of optimum insulation thickness for building walls by using heating and cooling degree-day values of all Turkey’s provincial centers. *Energy and Buildings*, 118: 197-213.
- [12] Huang H., Zhou Y., Huang R., Wu H., Sun Y., Huang G., Xu T. 2020. Optimum insulation thicknesses and energy conservation of building thermal insulation materials in Chinese zone of humid subtropical climate. *Sustainable Cities and Society*, 52: 101840
- [13] Kayan Y. 2019. Bitlis pomzası ile üretilen bimslerin mekanik özelliklerinin deneysel olarak araştırılması ve geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır. 1-66.
- [14] Riggs J. I. 1982. *Engineering Economics*. McGraw Hill, New York, 1-620.