



# Türkiye'nin Farklı Derece Gün Bölgelerinde Isı Pompası Kullanıldığında Optimum Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi ve Ekonomik Analizi

## *Determination of Optimum Insulation Thickness and Economic Analysis for Heat Pump Application in Different Degree Day Regions of Turkey*

Atilla G. Devecioğlu<sup>1\*</sup>, Uğur Yaman<sup>2</sup>, Vedat Oruç<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, [atillad@dicle.edu.tr](mailto:atillad@dicle.edu.tr)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9174-378X>

<sup>2</sup> Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye,  
[ugur.yaman@dicle.edu.tr](mailto:ugur.yaman@dicle.edu.tr) ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6625-1025>

<sup>3</sup> Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, [voruc@dicle.edu.tr](mailto:voruc@dicle.edu.tr)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9055-1508>

### MAKALE BİLGİLERİ

#### Makale Geçmişi:

Geliş 10 Eylül 2024  
Revizyon 25 Eylül 2024  
Kabul 5 Ekim 2024  
Online 23 Aralık 2024

#### Anahtar Kelimeler:

*Isı pompası; Isıtma derece-gün;  
optimum izolasyon kalınlığı*

### ÖZ

Isı pompası ile ısıtma yapılması durumunda, Türkiye'nin farklı ısıtma derece gün değerlerine sahip illerindeki binaların dış duvarları için optimum yalıtım kalınlıkları belirlenmiştir. TS 825 göre birinci, ikinci ve üçüncü derece gün bölgesinde bulunan Aydın, Diyarbakır ve Nevşehir illeri için, yakıt olarak elektrik (ısı pompası) ve doğalgaz kullanılması, yalıtım malzemesi olarak ekstrüde polistiren (XPS) ve taş yünü kullanılması durumunda optimum yalıtım kalınlıkları belirlenmiştir. Sonuçlarda, ısı pompası ve taş yünü kullanılması durumunda sırasıyla Aydın, Diyarbakır ve Nevşehir için optimum yalıtım kalınlıkları 0.022, 0.036 ve 0.047 m tespit edilmiştir. Bu değerler doğal gaz kullanılması durumuna göre %22-%29 oranında azalma göstermiştir.

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 10 September 2024  
Received in revised form 25 September 2024  
Accepted 5 October 2024  
Available online 23 December 2024

#### Keywords:

*Heat pump; Heating degree-days;  
Optimal insulation thickness*

### ABSTRACT

In case of heating with a heat pump, optimum insulation thicknesses were determined for external walls of buildings in provinces of Turkey with different heating degree day values. For Aydın, Diyarbakır and Nevşehir provinces located in the first, second and third degree day zones according to TS 825, optimum insulation thicknesses were determined when electricity (heat pump) and natural gas were used as fuels, and extruded polystyrene (XPS) and rock wool were used as insulation materials. In the results, optimum insulation thicknesses were determined as 0.022, 0.036 and 0.047 m for Aydın, Diyarbakır and Nevşehir, respectively for the case of using-heat pump and rock wool. These values decreased by 22%-29% compared to the case of using natural gas.

Doi: 10.24012/dumf.1547522

\* Sorumlu Yazar

## Giriş

Dış duvarların yalıtımı, enerji tüketimini ve dolayısıyla karbon emisyonlarını azaltmada büyük bir potansiyele sahiptir. Dış duvarlar için optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi standardı olmadığı için yapı sektöründe yalıtım kalınlığı tespiti TS 825'e göre yapılmaktadır.

Avrupa Birliği (AB) binalarda enerji tüketiminin azaltılması için tüm yeni binaların 2030 yılına kadar sıfır emisyonlu olması, bina dış kabuğunun iyi yalıtımlı olması ve yalnızca yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik kullanması ve kullanımından kaynaklanan karbon emisyonlarının 2030'dan itibaren hesaplanması gerektiğini bildirmiştir [1]. AB Enerji Verimliliği Direktifi, üye ülkelerin, 2024'ten 2030'a kadar ortalama yıllık enerji tasarrufu oranını mevcut %0.8'den %1.49'a çıkarmak zorunda olduğunu söylemektedir [2].

Binalar küresel enerji tüketiminin %20'sini ve binaların inşası ve işletilmesi için küresel elektriğin %50'sini tükettiği görülmektedir [3].

Mühendislik hesaplamalarında yapılarda enerjinin etkin kullanılması elzemdir. Farklı duvar profilleri için yapılan çalışmada betonpan ve demir profille örülmüş duvarın tuğla duvardan %37.5 daha fazla enerji tasarrufu sağladığı sonucuna varılmıştır. Demir profilli binalar enerji tasarrufu açısından avantajlı fakat yoğunlaşma açısından dezavantajlıdır [4]. Yapılarda enerjinin etkin kullanılması için en önemli uygulama ısı yalıtımdır. Binaların dış kabuğuna ve çatısına ısı yalıtımı uygulanması enerjinin verimliliği açısından önemli olduğu gibi emisyonların azaltılması, ısı konfor ve enerji tüketimine bağlı işletme giderlerinin minimize edilmesi açısından çok önemlidir [5]. TS 825 Isı Yalıtım Standartları'nın tüm binalara uygulanmasıyla Türkiye'de birim alan başına enerji tüketiminin 100–150 kWh/ m<sup>2</sup>'ye indirilebileceği belirtilmiştir [6].

Daha önceki çalışmalarda, binalarda ısı yalıtımının enerji, ekonomik ve çevresel performansı ile ilgili incelemeler yapılmıştır.

İtalya'da düşük dereceli günlere sahip iklim bölgelerinde, kaplamanın soğutma ihtiyaçları üzerindeki olumsuz etkisi incelenmiştir. Tüm iklim bölgelerinde, soğutma ihtiyacı en sıcak aylarda azalırken, kaplama nedeniyle dağıtılmayan ek

termal yük ılıman aylarda artmaktadır. Sonuç olarak, binanın toplam enerji ihtiyaçlarına dayanarak farklı İtalyan iklim bölgeleri için optimum yalıtım kalınlıkları belirlenmiştir [7].

ASHRAE standardı kullanılarak soğutma derece gün (CDD) ve ısıtma derece gün (HDD)'ye dayalı belirlenen optimum yalıtım kalınlıkları, Birleşik Krallık Meteoroloji Ofisi ve saatlik yöntemler kullanılarak elde edilen kalınlıklara kıyasla ortalama %14 oranında düşük tahmin edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, iklimin karasallaşmasıyla birlikte, Yaşan Döngüsü Maliyet Analiz (LCCA) yöntemi kullanılarak bina dış duvar optimum yalıtım kalınlığını belirlemek için derece günlerini hesaplamak için başka bir yöntemi doğru şekilde kullanmanın önemli hale geldiğini göstermiştir [8].

Arnavutluk'taki binalar üzerine yapılan çalışma toplam ısı transfer değerinin 0.30 W/m<sup>2</sup>K eşit veya daha az olması gerektiğini, bu da binaların 0.03 ila 0.11 m aralığında optimize edilmiş yalıtım kalınlığına ihtiyacı olduğunu göstermektedir. Yenilenmemiş binalarla, yıllık 23.50 – 84.50 €/m<sup>2</sup> net tasarruf, 39.10 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>'ye kadar CO<sub>2</sub> azaltımı ve maksimum 0.30 ila 1.20 yıla kadar basit geri ödeme süresine ihtiyaç olacağı belirlenmiştir [9].

İngiliz konut stoğunun optimize edilmiş duvar yalıtım kalınlığını belirlemek için yapılan çalışmada, optimize edilmiş cam yünü yalıtım kalınlığının 0.010 m ile 0.275 m arasında olduğu belirtilmiştir. Duvar yalıtım kalınlığını arttırmanın olumsuz etkilere yol açacağı ortaya konulmuştur. Stok seviyesinde tüm yaşam enerji tüketiminin azaltılmasına ilişkin fazla tahmini %20.5 ile %26.7 arasında değişmektedir [10].

Elâzığ ili için yalıtım kalınlığının 10 yıllık zaman diliminde bugünkü net değer faktörüyle hesaplama yapılmış ve optimum yalıtım kalınlıklarıyla beraber enerji tasarrufları ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır [11]. Kürekçi ve arkadaşları [12], çalışmalarında derece gün değerleri kullanarak ekonomik analiz yöntemiyle Türkiye'de bulunan 81 ilde 2 farklı yakıt ve 5 farklı ısı yalıtım malzemesi için optimum yalıtım kalınlığı ve buna bağlı enerji tasarrufları ve ekonomik geri ödeme sürelerini hesaplamışlardır. Isı yalıtımı binalarda enerji performansının arttırılmasında

kullanılan en etkin ve basit çözümlerden biridir. Isı yalıtımı ile enerji performansının artırılmasının yanı sıra fosil yakıt kaynaklı çevresel emisyonlarda ciddi oranda azaltılabilmektedir. Özellikle soğuk iklim bölgelerinde ısı yalıtımı ısıtma amaçlı enerji tüketiminde ve buna bağlı çevresel emisyonlarda ciddi tasarruf sağlamaktadır [13]. Bu çalışmada, Türkiye'nin 1., 2. ve 3. derece gün bölgesinde bulunan Aydın, Diyarbakır ve Nevşehir illerindeki binaları ısıtmak amacıyla doğalgaz yakıtı ve ısı pompası kullanılması dikkate alınarak ekstrüde polistiren köpük (XPS) ve taş yünü yalıtım malzemeleri için analizler gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın özgün yanı üç farklı iklim bölgesinde bulunan illerde bina dış duvarları için optimum yalıtım kalınlığı ( $x_{opt}$ ) değerinin belirlenmesi ve ekonomik analiz yapılarak geri ödeme sürelerinin hesaplanmasıdır.

## 1. Materyal ve Metot

Bu çalışmada üç farklı iklim bölgesinde bulunan Aydın, Diyarbakır ve Nevşehir illerine ait ısıtma derece gün (HDD) değerleri için yalıtım malzemesi olarak XPS ve taş yünü, yakıt olarak doğal gaz ve ısı pompası için elektrik seçilerek optimum yalıtım kalınlıkları hesaplanmıştır.

Denge sıcaklığı, iç ortamın ısıtılmasına gerek duyulmayan sıcaklıktır. HDD belirlenirken dış ortam sıcaklığı ile denge sıcaklığı dikkate alınır [13].

Eğer,  $T_0 < T_b$  ise;

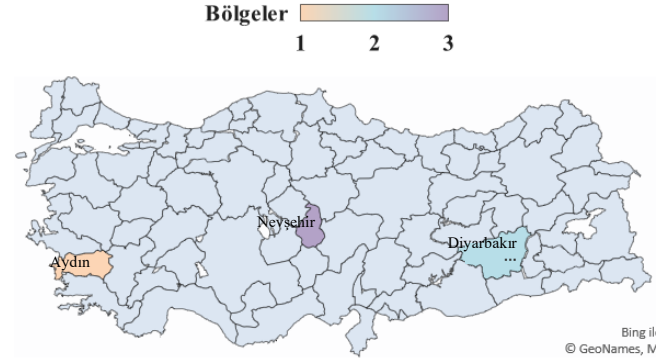
$$HDD = \sum_0^N (T_b - T_0) \quad (1)$$

Eğer,  $T_b < T_0$  ise;

$$HDD=0 \quad (2)$$

Burada  $T_b$  denge sıcaklığıdır,  $T_0$  bir meteoroloji istasyonunda kaydedilen günlük ortalama dış hava sıcaklığıdır,  $N$  bir ısıtma sezonunda  $T_0 < T_b$  olması koşuluyla gün sayısıdır. Bu nedenle ısıtma derece-gün değerleri  $T_0 < T_b$  olarak hesaplanır. Türkiye, TS 825'in belirlediği ısıtma derece-gün sayılarına göre dört iklim bölgesine ayrılmıştır. 1. Bölge ısınma için en az enerji ihtiyacı olan bölgeyi, 4. Bölge ise en soğuk dolayısıyla ısıtma için enerjiye en çok ihtiyaç duyulan bölgeyi temsil etmektedir. Soğutma uygulamaları için de benzer şekilde

derce-gün değerleri hesaplanabilir [14,15]. Bu çalışmadaki seçilen iller için ısıtma derece-gün değerleri Tablo 1'de [16] ve bu illerin fiziki konumları Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. TS 825'e göre 3 bölgede bulunan şehirler

Tablo 1. HDD değerleri [16]

Şehirler	HDD
Aydın	1213
Diyarbakır	2142
Nevşehir	3033

## 2. Optimum Yalıtım Kalınlığı ve Ekonomik Geri Ödeme Süreleri

### 2.1. Optimum Yalıtım Kalınlığı

Isı daima sıcak olan bölgeden soğuk olan bölgeye geçer. Dış hava sıcaklığının iç hava sıcaklığından küçük olduğu zamanlarda bina dış kabuğundan ısı kayıpları gerçekleşir. Dış duvarın birim yüzey alanı başına kaybedilen ısı miktarı ( $q$ ) aşağıdaki gibi elde edilir [17]

$$q = U \cdot (T_i - T_0) \quad (3)$$

Burada  $U$  duvarın toplam ısı transfer katsayısı ( $W/m^2K$ ),  $T_i$  iç hava sıcaklığı ve  $T_0$  dış hava sıcaklığıdır. Bir yalıtım katmanı içeren dış duvarın toplam ısı transfer katsayısı ( $U$ ) Denklem (4)'de verilmektedir [18]

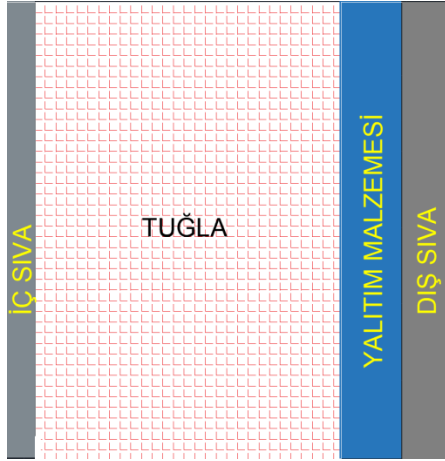
$$U = \frac{1}{R_i + R_w + R_{ins} + R_0} \quad (4)$$

$$R_{ins} = \frac{x_{ins}}{k_{ins}} \quad (5)$$

burada  $R_i$  ve  $R_o$  sırasıyla iç ve dış ortamın taşınım ısı direncini göstermekte olup değerleri  $0.13 \text{ m}^2\text{K/W}$  ve  $0.04 \text{ m}^2\text{K/W}$ 'dir.  $R_w$  yalıtımsız duvarın ısı direncini,  $x$  ve  $k$  sırasıyla yalıtım malzemesinin kalınlığını ve ısı iletkenlik katsayısını göstermektedir. Yalıtımsız duvarın toplam direnci ( $R_{w,t}$ ) Denklem (6) yardımıyla belirlenmiş olup, Şekil 2' de verilen kompozit duvarın, malzemelerinin fiziksel ve termal özellikleri Tablo 2 ve Tablo 3'de sunulmuştur [19,20].

Tablo 2. Yalıtım Malzemelerinin Özellikleri [19,20]

	XPS	Cam Yünü
$k$ (W/mK)	0.031	0.04
$C_y$ (\$/m <sup>3</sup> )	180	80
$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	28	24



Şekil 2. Kompozit duvar

Tablo 3. Kompozit Duvar Bileşenlerinin Değerleri [20]

Duvar bileşenleri	Kalınlık (m)	$k$ (W/mK)	$R$ (m <sup>2</sup> K/W)
İç Sıva	0.02	0.87	0.023
Tuğla	0.13	0.45	0.289
Dış Sıva	0.03	1.40	0.021
$R_o$			0.040
$R_i$			0.130
$R_{w,t}$			0.503

$$R_{w,t} = R_i + R_w + R_o \quad (6)$$

HDD değerleri kullanarak birim yüzey alanı için yıllık ısı kaybı ( $q_{yil}$ ) Denklem (7) ile bulunabilir [21],

$$q_{yil} = 86400 \cdot HDD \cdot U \quad (7)$$

Dış duvarın birim alanından ısı kaybı ile ısıtma için gerekli olan yıllık enerji miktarı ( $E$ ), Denklem (8)'de belirtildiği gibi, yıllık ısı kaybının ısıtma sisteminin verimi ( $\eta$ ) değerine bölünmesiyle elde edilir [15],

$$E = \frac{q_{yil}}{\eta} \quad (8)$$

Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı miktarı ( $E_H$ ) Denklem (9) ile hesaplanabilir [22]:

$$E_H = \frac{86400 \cdot HDD}{(R_{w,t} + R_{ins})\eta} \quad (9)$$

Çalışmada incelenen yakıtın alt ısıl değeri ( $H_u$ ), ısıtma sistemi verimi ( $\eta$ ) ve yakıt fiyatı ( $C_f$ ) bilgileri Tablo 4'de belirtilmektedir [23]. Ayrıca hesaplamalarda ısı pompasının enerji kaynağı olan elektriğin fiyatı  $0.046 \text{ \$/kWh}$  olarak kabul edilmiştir.

Tablo 4. Çalışmada kullanılan yakıt bilgileri [23]

Yakıt	$H_u$ (J/m <sup>3</sup> )	$\eta$ (%)	$C_f$ (\$/m <sup>3</sup> )
Doğal gaz	$34485 \times 10^3$	90	0.360

Yalıtımsız duvarın birim alanını ısıtmak için gerekli olan yıllık enerji ihtiyacı ile yalıtımlı duvarın birim alanını ısıtmak için gerekli enerji ihtiyacı farkı bize net yıllık enerji tasarrufunu verir. Enflasyon ve faiz oranının bağlı şimdiki değer faktörü (PWF) Denklem (12) ile hesaplanabilir. Denklem (13)'te ise faizin enflasyon oranına eşit olduğu durumda bugünkü net değer faktörü hesabı verilmiştir. Denklem (14) ile yalıtımın maliyeti, Denklem (15) ile ısıtma için optimum yalıtım kalınlığı ( $x_{opt}$ ) hesaplanabilir [12].

Eğer,  $i > g$  ise:

$$r = \frac{i-g}{1+g} \quad (10)$$

Eğer,  $g > i$  ise:

$$r = \frac{g-i}{1+i} \quad (11)$$

$$PWF = \frac{(1+r)^N - 1}{r \times (1+r)^N} \quad (12)$$

Eğer  $i = g$  ise:

$$PWF = \frac{N}{1+i} \quad (13)$$

$$C_{ins} = C_y \cdot x \quad (14)$$

$$x_{opt} = 293.94 \left( \frac{HDD \cdot C_f \cdot PWF \cdot k}{H_u \cdot C_y \cdot \eta} \right)^{\frac{1}{2}} - k \cdot R_{w,t} \quad (15)$$

## 2.2. Ekonomik Geri Ödeme Süresi

Gerı ödeme süresi (PP), bir yatırımın ekonomik sürdürülebilirliğini ölçen bir yöntem değil, kaç yıllık gelirlerin giderleri karşılayacağını hesaplayan bir yöntemdir. Denklem (16)'da  $C_H$  yalıtımsız,  $C_{t,H}$  ise yalıtımlı haldeki enerji maliyetlerini temsil eder [11]. Isıtılan binalar için yıllık toplam net tasarruf miktarı ( $A_{yıl}$ ) Denklem (17) ile, ekonomik geri ödeme süresi (PP) ise Denklem (18) ile hesaplanmaktadır [24].

$$C_{t,H} = C_H \times PWF \times C_{ins} \quad (16)$$

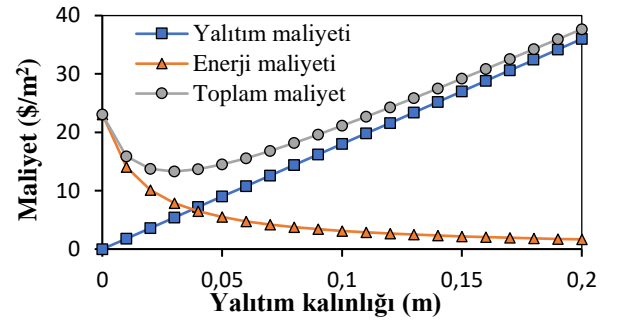
$$A_{yıl} = C_H - C_{t,H} \quad (17)$$

$$PP = \frac{C_{ins}}{A_{yıl}} \quad (18)$$

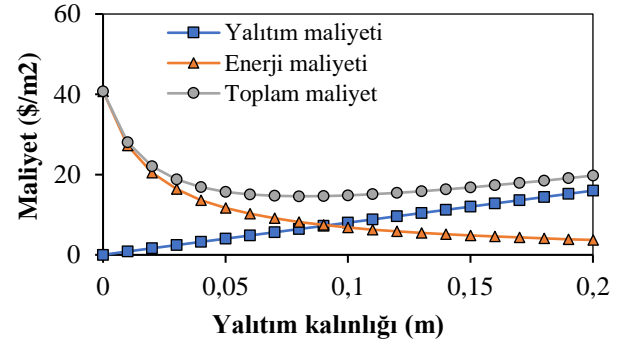
## 3. BULGULAR

### 3.1. Optimum Yalıtım Kalınlıkları

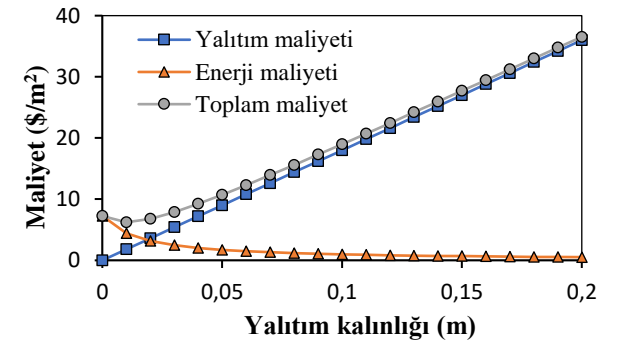
Çalışmada TS 825'e göre farklı iklim bölgelerinde bulunan Aydın, Diyarbakır, Nevşehir illerinde yakıt olarak doğalgaz ve ısı pompası, yalıtım malzemesinin olarak da XPS ve taş yünü için optimum kalınlıkları belirlenmiştir. Şekil 3'te Aydın için farklı yakıt türleri ve yalıtım malzemeler için optimum yalıtım kalınlıkları verilmiştir. Grafiklerin ortak özelliği yalıtım kalınlığının artmasıyla, yalıtım maliyetinin artmış enerji maliyetinin ise azalmış olmasıdır. Toplam maliyet, birim alan için yakıt ve yalıtım malzemesi maliyetlerinin toplamını göstermektedir. Aydın ili için doğal gaz kullanılması durumunda optimum yalıtım kalınlıklarının sırasıyla XPS ve Taş yünü için 0.029 m ve 0.031 m, ısı pompası kullanılması durumunda ise 0.015 m ve 0.022 m olarak hesaplanmıştır.



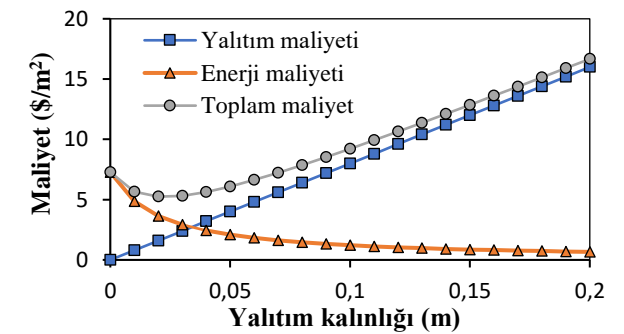
(a)



(b)



(c)



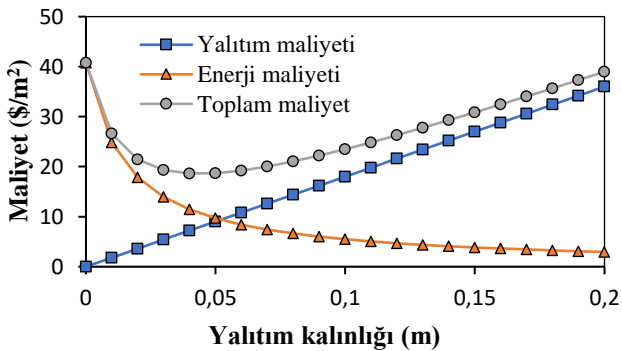
(d)

Şekil 3. Aydın için optimum yalıtım kalınlığının maliyetle değişimi (a) Doğal gaz-XPS (b) Doğal gaz-Taş yünü (c) Isı pompası- XPS (d) Isı pompası Taş yünü

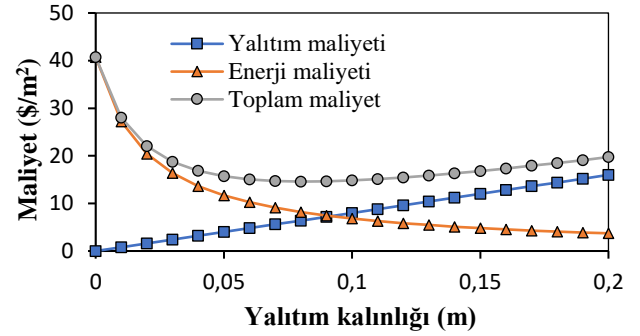
Aydın ili için doğalgaz ve XPS kullanılması durumunda, optimum yalıtım kalınlığı için toplam maliyet  $13.67 \$/m^2$  ve ısıtma maliyeti  $6.47 \$/m^2$  olurken, yalıtımsız duvar için enerji maliyeti  $23.08 \$/m^2$ 'dir. Aynı şartlarda optimum kalınlıklı taş yünü kullanılması durumunda, enerji maliyeti  $5.8 \$/m^2$  bulunmuştur. Isı pompası kullanılması durumunda XPS için, toplam ısıtma maliyeti  $6.78 \$/m^2$  ve enerji maliyeti  $3.18 \$/m^2$  olurken, optimum kalınlıklı taş yünü kullanılması durumunda, enerji maliyeti  $2.92 \$/m^2$  olmuştur. Karşılaştırmada en uygun enerji maliyetinin ısı pompası, yalıtım malzemesi olarak taş yünü kullanılması durumu olduğu söylenebilir.

Şekil 4'te Diyarbakır ili için doğal gaz kullanılması durumunda optimum yalıtım kalınlıklarının sırasıyla XPS ve Taş yünü için  $0.043 \text{ m}$  ve  $0.05 \text{ m}$ , ısı pompası kullanılması durumunda  $0.017 \text{ m}$  ve  $0.036 \text{ m}$  olarak hesaplanmıştır.

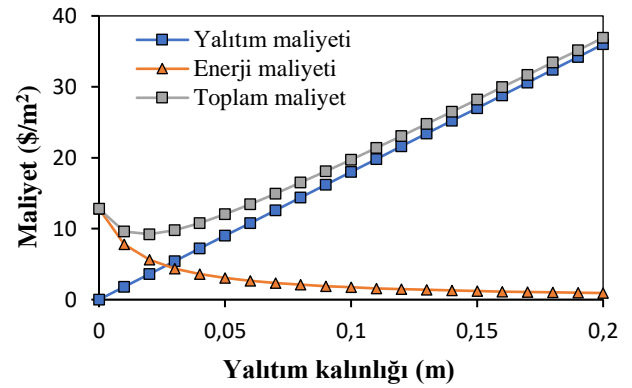
Diyarbakır ili için doğal gaz ve optimum kalınlıklı XPS kullanılması durumunda, toplam maliyet  $18.33 \$/m^2$  ve enerji maliyeti  $11.43 \$/m^2$  olurken, yalıtımsız durumda enerji maliyeti  $40.76 \$/m^2$ 'dir. Toplam maliyet ve enerji maliyeti arasındaki fark, optimize edilmiş yalıtım maliyeti olan  $7.2 \$/m^2$  olarak hesaplanmıştır. Aynı şartlarda optimum kalınlıklı taş yünü kullanılması durumunda, enerji maliyeti  $7.4 \$/m^2$  olmuştur. Isı pompası kullanılması durumunda optimum kalınlıklı XPS için, toplam maliyet  $9.22 \$/m^2$  ve enerji maliyeti  $5.62 \$/m^2$  olurken, optimum kalınlıklı taş yünü kullanılması durumunda, enerji maliyeti  $4.29 \$/m^2$  olmuştur. Karşılaştırmada en uygun enerji maliyetinin yakıt olarak doğal gaz, yalıtım malzemesi olarak Taş yünü kullanılması durumunda olduğu söylenebilir.



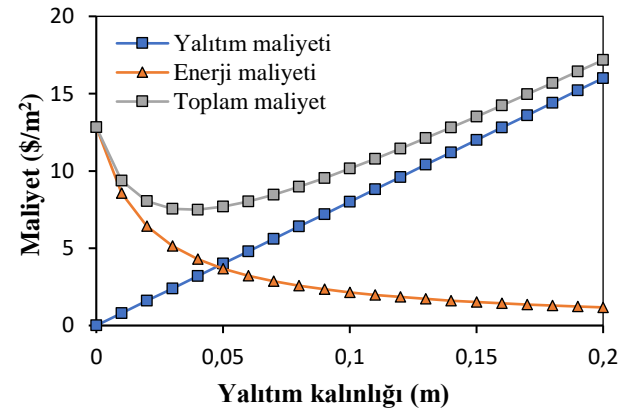
(a)



(b)



(c)

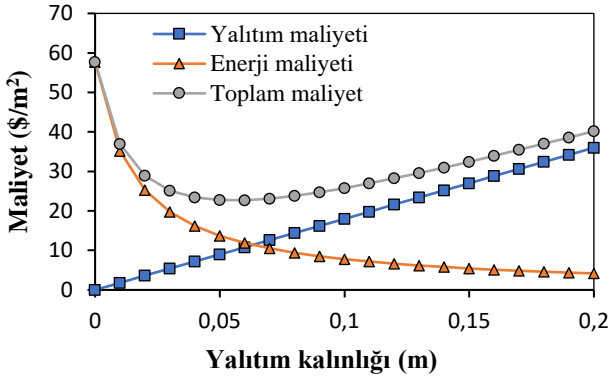


(d)

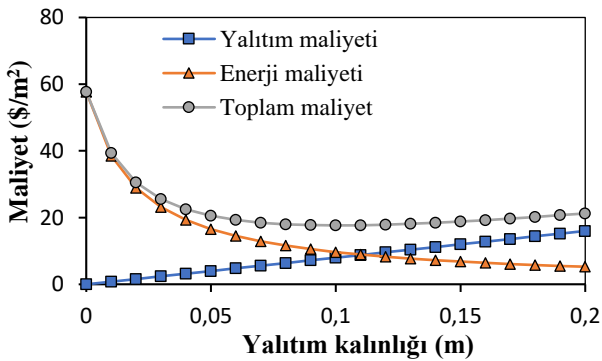
Şekil 4 Diyarbakır için optimum yalıtım kalınlığının maliyetle değişimi (a) Doğal gaz-XPS (b) Doğal gaz-Taş yünü (c) Isı pompası- XPS (d) Isı pompası Taş yünü

Şekil 5'te Nevşehir ili için doğal gaz kullanılması durumunda optimum yalıtım kalınlıklarının sırasıyla XPS ve Taş yünü için  $0.055 \text{ m}$  ve  $0.06 \text{ m}$ , ısı pompası kullanılması durumunda  $0.025 \text{ m}$  ve  $0.047 \text{ m}$  olarak hesaplanmıştır.

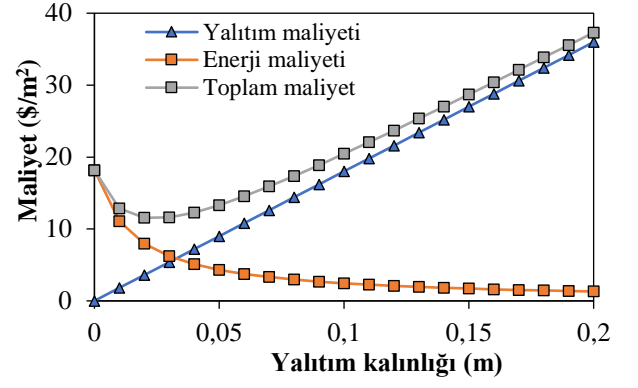
Nevşehir ili için doğal gaz ve optimum kalınlıklı XPS kullanılması durumunda, toplam maliyet 22.70  $\$/m^2$  ve enerji maliyeti 11.90  $\$/m^2$  olurken, yalıtılmamış duvarlı enerji maliyeti 57.71  $\$/m^2$ 'dir. Toplam maliyet ve enerji maliyeti arasındaki fark, optimize edilmiş yalıtım kalınlığındaki yalıtım maliyeti olan 10.8  $\$/m^2$  verir. Aynı şartlarda optimum kalınlıklı taş yünü kullanılması durumunda, enerji maliyeti 9.67  $\$/m^2$  olmuştur. Isı pompası kullanılması durumunda optimum kalınlıklı XPS için, toplam maliyet 11.56  $\$/m^2$  ve enerji maliyeti 7.96  $\$/m^2$  olurken, optimum kalınlıklı taş yünü kullanılması durumunda, enerji maliyeti 5.21  $\$/m^2$  olmuştur. Karşılaştırmada en uygun enerji maliyetinin ısı pompası, yalıtım malzemesi olarak taş yünü kullanılması durumunda olduğu söylenebilir.



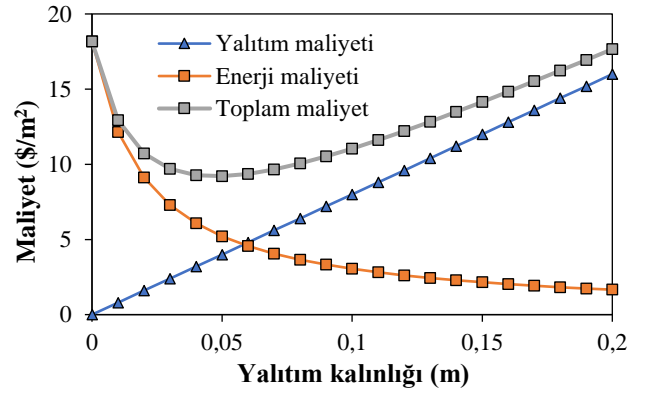
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 5. Nevşehir için optimum yalıtım kalınlığının maliyetle değişimi (a) Doğal gaz-XPS (b) Doğal gaz-Taş yünü (c) Isı pompası- XPS (d) Isı pompası Taş yünü

Tablo 5 ve Tablo 6'da TS 825'e göre farklı iklim bölgelerinde bulunan dört ilde yakıt olarak doğalgaz ve ısı pompası ile ısıtma, yalıtım malzemesi olarak da XPS ve taş yünü için optimum kalınlıkları, yıllık kazanç ( $A_{yıl}$ ) ve ekonomik geri ödeme süreleri (PP) hesaplanmıştır. Tablo 5'te yalıtım malzemesi olarak XPS; yakıt olarak doğalgaz kullanımında birinci bölgede bulunan Aydın ilinden 3. Bölgede bulunan Nevşehir iline doğru gidildikçe, yıllık kazanç bazında sırasıyla %100 ve %47 oranında artış gözlenmektedir. Isıtma pompası ile ısıtma yapıldığında yıllık kazançlar sırasıyla %105 ve %54 oranında artış sağlamıştır. Yine Tablo 5'te doğalgaz ile ısıtma ile ısı pompasıyla ısıtma arasında ekonomik geri ödeme sürelerinde sırasıyla Aydın, Diyarbakır ve Nevşehir illerinde 2.6, 2 ve 1.65 yıl fark bulunmaktadır.



Tablo 5. XPS kullanımında illere göre sonuçlar

Doğalgaz				
Şehirler	HDD	$x_{opt.}$ (m)	$A_{yıl}$ (\$/m <sup>2</sup> )	PP (Yıl)
Aydın	1213	0.029	1.6	3.3
Diyarbakır	2142	0.043	3.2	2.5
Nevşehir	3033	0.055	4.7	2.1
Isı pompası				
Şehirler	HDD	$x_{opt.}$ (m)	$A_{yıl}$ (\$/m <sup>2</sup> )	PP (Yıl)
Aydın	1213	0.015	0.39	5.9
Diyarbakır	2142	0.017	0.8	4.5
Nevşehir	3033	0.025	1.23	3.75

Tablo 6'da yalıtım malzemesi olarak taş yünü; ısıtma için ısı pompası ve doğalgaz kullanımları kıyaslandığında birinci bölgede bulunan Aydın ilinden 3. Bölgede bulunan Nevşehir iline doğru gidildikçe, yıllık kazanç farkları sırasıyla 1.07, 2.06 ve 3.1 \$/m<sup>2</sup> hesaplanmıştır. Yine Tablo 6'da doğalgaz ve ısı pompasıyla ısıtma arasında ekonomik geri ödeme sürelerinde sırasıyla Aydın, Diyarbakır ve Nevşehir illerinde 0.7, 0.6 ve 0.6 yıl fark bulunmaktadır.

Tablo 6. Taş yünü kullanımında illere göre sonuçlar

Doğalgaz				
Şehirler	HDD	$x_{opt.}$ (m)	$A_{yıl}$ (\$/m <sup>2</sup> )	PP (Yıl)
Aydın	1213	0.031	1.55	3.8
Diyarbakır	2142	0.05	3	2.8
Nevşehir	3033	0.06	4.5	2.3
Isı pompası				
Şehirler	HDD	$x_{opt.}$ (m)	$A_{yıl}$ (\$/m <sup>2</sup> )	PP (Yıl)
Aydın	1213	0.022	0.48	4.5
Diyarbakır	2142	0.036	0.94	3.4
Nevşehir	3033	0.047	1.4	2.9

### 3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Sonuç olarak, Şekil 3, Şekil 4, Şekil 5'te gösterilen yalıtım kalınlığı-maliyet grafiklerinde ve Tablo 5 ile Tablo 6'da belirlenen bulgularda TS 825'e göre belirlenen bölgelerde birinci bölgede ısıtma için ısı pompası kullanmanın avantajlı olacağı, ikinci ve üçüncü bölgelerde ise ısıtma için doğalgaz kullanımının avantajlı olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca ısı pompalarının belirli sıcaklık derecelerinde verimsiz çalışması ve ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması sebebiyle sıcak bölgelerde kullanımının daha uygun olacağı önerilir.

#### Etik kurul onayı ve çıkar çatışması

**beyanı** Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur. Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

#### Kaynaklar

- [1] EPBD recast, Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast), Official Journal of the European Union, 2021.
- [2] Energy Efficiency Directive (EU/2023/1791), [https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficiency-targets-directive-and-rules/energy-efficiency-directive\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficiency-targets-directive-and-rules/energy-efficiency-directive_en)
- [3] IPCC 2014. Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.,Switzerland.
- [4] Kahraman, G. (2021). Comparison of heat transfer and condensation on the walls of buildings constructed with iron profiles versus other classic models. *Heat Transfer Research*, 52(14): 1-10.
- [5] Öztuna, S. ve Dereli, E., (2009). Edirne ilinde optimum duvar yalıtım kalınlığının enerji tasarrufuna etkisi, *Trakya Univ J Sci*, 10, 2, 139-147.
- [6] Dilmac, S., & Kesen, N. (2003). A comparison of new Turkish thermal insulation standard (TS 825), ISO 9164, EN 832 and German regulation. *Energy and Buildings*, 35(2), 161-174.



- [7] Borelli, D., Cavalletti, A., Cavalletti, P., Peshku, J., & Tagliafico, L. A. (2024). A methodology to evaluate the optimal insulation thickness for heating and cooling needs in different climatic zones for buildings made of reinforced concrete with cavity walls. *Heliyon*, 10(10).
- [8] Verichev, K., Serrano-Jiménez, A., Carpio, M., Barrios-Padura, Á., & Díaz-López, C. (2023). Influence of degree days calculation methods on the optimum thermal insulation thickness in life-cycle cost analysis for building envelopes in Mediterranean and Semi-Arid climates. *Journal of Building Engineering*, 79, 107783.
- [9] Malka, L., Kuriqi, A., & Haxhimusa, A. (2022). Optimum insulation thickness design of exterior walls and overhauling cost to enhance the energy efficiency of Albanian's buildings stock. *Journal of Cleaner Production*, 381, 135160.
- [10] Li, X., & Tingley, D. D. (2023). A whole life, national approach to optimize the thickness of wall insulation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 174, 113137.
- [11] Özel, M., (2011). "Effect of wall orientation on the optimum insulation thickness by using a dynamic method", *Applied Energy*, 88: 2429-2435.
- [12] Kürekçi, A., Bardakçı, A., D., Çubuk, H. ve Emanet, Ö., (2012). Türkiye'nin tüm illeri için optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi. *Tesisat Mühendisliği*, 131: 5-21.
- [13]. Akyüz, M. K., Altuntaş, Ö., & Söğüt, M. Z. (2017). Economic and environmental optimization of an airport terminal building's wall and roof insulation. *Sustainability*, 9(10), 1849.
- [14] Ashrae, *Ashrae Handbook- Fundamentals (SI)*, Energy estimating and modeling methods chapter 31, 2001.
- [15] Büyükalaca, O., Bulut, H., Yılmaz, T., Türkiye'nin bazı illeri için derece-gün değerleri, 12. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi Bildiriler Kitabı, Cilt 1, sayfa 107-112, Sakarya, 2000.
- [16] Pusat Ş, Ekmekçi İ, Dündar AÇ, Ermiş K, Şen Y. İstanbul İçin Tipik Meteorolojik Yıl ve Derece-Saat Hesabı. 2.Ulusal İklimlendirme Soğutma Eğitimi Sempozyumu ve Sergisi Oct. 23-25 2014, Balıkesir, Turkey.
- [17] TSE (Turkish Standards Institution). TS 825: Thermal Insulation in Buildings; 1998.
- [18] Ertürk, M. 2017. A new model for exergetic optimum insulation thickness. *International Journal of Exergy* 22 (4):309–30. doi:10.1504/IJEX.2017.083945.
- [19] N. Daouas, Z. Hassen & H. B. Aissia, "Analytical period solution for the study of thermal performance and optimum insulation thickness of building walls in Tunisia", *Appl Thermal Eng*, vol. 30, pp. 319–326, 2010.
- [20] Evin, D., and A. Ucar. 2019. Energy impact and eco-efficiency of the envelope insulation in residential buildings in Turkey. *Applied Thermal Engineering* 154:57384. doi:10.1016/j.applthermaleng. 2019.03.102.
- [21] A. Uçar & F. Balo, "Determination of the energy savings and the optimum insulation thickness in the four different insulated exterior walls", *Renewable Energy*, vol. 35, pp. 88-94, 2010.
- [22] Küçüktopcu E, Cemek B. A study on environmental impact of insulation thickness of poultry building walls. *Energy*. 2018; 150:583-590.
- [23] Bolattürk, A., (2008). "Optimum Insulation Thickness for Building Walls with Respect to Cooling and Heating Degree-Hours in the Warmest Zone of Turkey", *Building and Environment*, 43: 1055-1064.
- [24] N. Sisman, E. Kahya , N. Aras & H. Aras, "Determination of optimum insulation thicknesses of the external walls and roof (ceiling) for Turkey's different degree-day regions", *Energy Policy*, vol. 35, pp. 5151-5155, 2007.