

## Yalova İçin Binalarda Yalıtım Kalınlığının Değerlendirilmesi

Hüseyin Can Ülgüner<sup>1</sup>, Adil Değirmenci<sup>2</sup>, Ahmet Üstüntürk<sup>3</sup>, Alper Keleşoğlu<sup>4</sup>, Ümit Ünver<sup>5\*</sup>

<sup>1</sup> Yalova Üniversitesi Enerji Sist. Müh. h.canulguner@gmail.com, ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-3232-518X>

<sup>2</sup> Yalova Üniversitesi Enerji Sist. Müh. adldgrmnci@gmail.com, ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-9037-6428>

<sup>3</sup> Yalova Üniversitesi Enerji Sist. Müh. ahmetustunturk42@gmail.com, ORCID No : <http://orcid.org/0000-0003-3305-9589>

<sup>4</sup> Sistem Teknik Sanayi Fırınları A.Ş. alperkelesoglu@gmail.com, ORCID No : <http://orcid.org/0000-0001-7139-6653>

<sup>5</sup> Yalova Üniversitesi Makine Müh. umit.unver@yalova.edu.tr, ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-6968-6181> \*Corresponding author: umit.unver@yalova.edu.tr

**Özet** – Bina enerji performansı ve binalarda enerji tüketimi hesaplamalarında en büyük pay, termal konforu sağlamak üzere harcanan enerjiye aittir. Yazın soğutma, kışın ise ısıtma amacıyla harcanan enerji, tüketilen toplam enerjinin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Bu yüzden ısıtma ve soğutma amaçlı enerji kullanımını en aza indirmek, yatırım maliyetlerini makul seviyelerde tutmak için yalıtımın her bölge için ayrı ayrı çalışılması ve elde edilen sonuçların uygulamacılarla paylaşılması gerekir. Bu çalışmada, TS 825 standardına uygun olarak Yalova Bölgesi için binalara uygulanması gereken yalıtım kalınlığı ve şartlar incelenmiştir. Analizler COMSOL bilgisayar programı yardımıyla farklı duvar tipi tercihlerine göre ve farklı dış koşullar göz önüne alarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, Yalova’da son 40 yılın kritik dış ortam sıcaklıkları dikkate alınarak yapılan analizde, yalıtım kalınlığının 4,5 cm ye kadar çıkabileceği görülmüştür. Enerji maliyetlerinin yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayısı ile orantılı olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler** – Yalıtım, Yalıtım Kalınlığı, Yalova, TS 825, Kritik Yalıtım Kalınlığı

**Abstract** – In the calculation of building energy performance and energy consumption in buildings, the biggest share belongs to the energy consumption to provide thermal comfort. Energy consumption for cooling in summer and for heating in winter constitutes a significant portion of the total energy consumption. Therefore, insulation should be studied separately for each region in order to minimize energy use for heating and cooling purposes and keep investment costs at reasonable levels and the obtained results should be shared with application parties. In this study, insulation thickness and conditions that should be applied to buildings for Yalova Region in accordance with the TS 825 standard have been examined. Analyses were carried out with by using COMSOL software, according to different wall type preferences and considering different external conditions. According to the results obtained, in the analysis made considering the critical outdoor temperatures of the last 40 years in Yalova, it was seen that the insulation thickness could increase up to 4,5 cm. It has been determined that the energy costs are proportional to the heat conduction coefficient of the insulation materials.

**Keywords** – Insulation, Insulation Thickness, Yalova, TS 825, Critical Insulation Thickness

### I. GİRİŞ

İnsanoğlunun ısı yalıtımını ile tanışması, yaptıkları barınak ve giysiler ile başladığı söylenebilir. Ermenistan’ın ‘VayotzDzor’ bölgesinde kazı sonucu bulunan 5500 yıllık ayakbı buna güzel bir örnektir [1]. Eski Türklerin kullandığı ‘Kıl Çadır’ keçi kılından yapılıp çadıra ısı yalıtımı sağlamıştır [2]. Bu uygulamalar, ısınma ihtiyacının karşılanması enerji tasarrufunun ilk adımları olarak görülebilir [3]. Taş, pişmiş toprak, ahşap gibi malzemeler dönemin şartlarına işlenip kullanılmıştır. Daha sonraki yüzyıllarda gelişen teknoloji ile yapı malzemelerinin yalıtım açısından performansı artmıştır [4].

İsi izolasyonu, ısı kayıplarını azaltarak harcanan enerjiyi azaltır ve ısı konfor şartlarını yerine getirebilir [5]. 2016’da Türkiye’de ithal edilen enerji 113117 TEP iken, enerji üretimi 35374 TEP’ tir. 2023’te tüketilen enerjinin 218 milyon TEP’ e ulaşacağı düşünülmektedir [6]. Avrupa Komisyonu Enerji ve Ulaşım Genel Müdürlüğü’nce, enerji tüketim oranlarını %28 sanayi, %32 ulaşım ve %40’ ı binalarda olduğu ifade edilmiştir [7]. Binalar da harcanan enerjinin %85’ i iklimlendirme amaçlı olduğu belirtilmiştir [8]. Enerji de dışa bağımlı ülkeler için verimli ve

sürdürülebilir enerjiye yönelik çalışmalar ve araştırmalar önem arz etmektedir [9, 10]. Dışa bağımlılığı azaltmak için evlerde ısı yalıtımı yapılarak, tüketilen yakıt miktarı azaltılabilir [11, 12]. Ancak yanlış izolasyon uygulaması ile ısı kaybı istenilen ölçüde azaltılamaz [13]. Yapılarda yalıtım yaklaşık %50 enerji tasarrufu sağlar ve enerji temininde dışa bağımlılığı bir nebze hafifletebilir [14]. İzolasyon kalınlığı, yapı ve yalıtım malzemelerine, TS 825 standardında uygulanan bölgeye göre değişebilmektedir [15]. Yalıtım uygulamalarında standartta belirtilen koşullara uyulması zorunludur [16]. Ülkemizde uygulanan yalıtım kalınlıkları 2,8 ve 9,6 cm arasındadır. Yalıtım kalınlıkları geniş bir aralık belirttiği için optimum yalıtım kalınlık tespiti detaylı hesaplama gerektirmektedir [17].

Özel şartları sağlayan malzemelerin kullanılması ile hedeflenen, ortamdaki dışarıya veya içeriye gerçekleşen enerji akışını azaltmaya yönelik uygulamalara yalıtım denir [18]. Ülkemizde gerçekleştirilen yalıtım ile ilgili bilimsel çalışmalar zaman ile iyileşmektedir [19]. Bu çalışma, bu çalışma, Yalova bölgesine yönelik araştırma eksikliğini gidermek amacıyla yapılmış, literatüre Yalova için yapılmış olan bilimsel çalışmalara katkı sağlamak ve eksik olan

kısımları kapatmak için gerçekleştirilmiştir. Çalışmada Yalova için son 10 yılın en kritik sıcaklık değerleri olan 2,9°C, -5°C ve -11°C lik atmosferik koşullara maruz kalan, farklı yapı ve yalıtım malzemelerinin uygun yalıtım kalınlıkları hesaplanmıştır. Çalışmada, COMSOL programı ile simülasyon yapılmış, farklı duvar ve yalıtım malzemelerinin ısı transferleri karşılaştırılmıştır. Araştırmada rüzgâr hızı değişiminin yalıtım kalınlığına etkisi de gözlenmiştir.

Binalar her an meteorolojik şartlara maruz kalır ve ısı kayıpları yaşanır. Kayıplar, yalıtım ile azaltılabilir. Yalıtım kalınlığı, amortisman süresi ve kayıp faktörlerine göre yalıtım malzemesi seçilmelidir [20]. Binalarda uygun yalıtım kalınlığı hesaplamalarında önemli iki değişken vardır. Bunlar; yalıtım maliyeti ve kullanılacağı öngörülen yakıt miktarıdır. İzolasyon kalınlığının artması ısınma için tüketilen yakıt miktarını azaltır, ancak bu da ilk yatırım maliyetini artırır. Bu yüzden yeterli ölçüde yalıtım kullanılması ekonomik açıdan önemlidir [21]. Birim maliyeti fazla olan yakıt ile sağlanan tasarruf miktarı daha yüksektir, çünkü kaybı önlemek için gerekli ısı sabit kalırken yakıt maliyetinin gideri azaldığı için kazancı göreceli olarak artmıştır [22]. Sıcak iklimlerde, güneş radyasyonu sonucu ısı kazancını karşılamak için soğutma yükü artar. Bu durumda da ihtiyaç duyulan yalıtım kalınlığı artar. Ancak ısıtma yükü için ısıtımın yalıtım kalınlığını azaltma yönünde etkisi olur. Bu tür iklimlerde bina yalıtımına karar vermek için her iki hesaplama da göz önünde bulundurulmalıdır [23].

Gazbeton yalıtım malzemesinin önemli özelliklerinden biri, içi hava dolu gözenekli yapısının sağlamış olduğu düşük ısı iletkenliktir [24]. Gazbeton, bu doğal yapısı sayesinde fazla yalıtıma gerek duymadan dış ve iç duvar arasındaki ısı transferini azaltmaktadır [25]. Ekonomik değeri bulunmayan, atık madde olarak nitelendiren ayçiçek sapı gibi malzemelerden de iyileştirmeler yapılarak ısı yalıtım malzemesi elde edilebilir [26]. Benzer olarak, atık gazete kağıtları uygun hale getirilip yalıtım malzemesi olarak kullanılabilir [27].

Tam yalıtım için duvarlar harici, betonarme (kolon, kiriş gibi) yapılarının da yalıtımı sağlanmalıdır. Literatürde betonarmelerin yalıtılmasıyla tam yalıtım sağlanabileceği ifade edilmektedir [28]. Bina cephesine yalıtım giydirme tiplerinden dıştan yalıtım verimlilik de öndedir [29]. Dıştan yalıtım uygulaması diğer uygulamalara nazaran %50 daha az kayıp sağlamıştır [30]. Yalıtım kalınlığı hesabının, yapay sinir ağlarının kullanılması ile daha hızlı ve kolay olduğu bildirilmektedir ve çalışmalarında yalıtım kalınlığının yapay sinir ağıyla da aynı sonucu alabileceğini göstermiştir [31].

Özkan ve ark. (2009), farklı bölgeler için yalıtım kalınlıklarını inceleyerek, pencere/duvar oranının düşük olmasının yakıt ve yalıtım miktarında da düşüş sağlanacağını gözlemlenmiştir [32]. Pencere yüzeylerini güneye bakacak şekilde tasarlayıp çift camlı pencereler kullanarak %20-30 arası bir tasarruf sağlanabilir [33]. Edirne de yapılan çalışmada enerji tasarrufu, düşük ısı iletkenliğe sahip en ince malzeme ile sağlanmıştır [34]. Gönen’de EPS yalıtım malzemesi ve kömür kullanıldığı zaman maksimum tasarruf sağlanmıştır [35]. Yaygın kullanılmayan ‘Nano Gözenekli Vakum Yalıtım Paneller’ uzun ömür ve düşük ısı iletim değerlerine sahiptirler [36].

## II. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada TS 825 Standardına göre 2. bölgede bulunan Yalova için ısı yalıtım hesaplamaları yapılmıştır. Standartta belirtilen toplam ısı geçirgenlik katsayısına göre duvar için gereken uygun yalıtım kalınlıkları araştırılmıştır. İç ortam ve iç duvar sıcaklıkları farkı ( $\Delta T_i$ ) 2,88°C ve dış ortam ile dış duvar arasındaki sıcaklık farkı ( $\Delta T_d$ ) 0,72°C olarak literatüre göre kabul edilmiştir [37]. Modellenen sistemlerde toplam ısı geçiş katsayısı sabit olduğu için duvar sıcaklık farkları da aynı kabul edilmiştir. Uygun yalıtım kalınlığının belirlenmesi için yapılan hesaplamalarda, radyasyon etkisinin ihmal edilmesi sonuçlarda tutarsızlıklara neden olmaktadır [38]. Bu yüzden, çalışmada ısı taşınım katsayıları hesaplanırken bileşik ısı transfer katsayısı olarak değerlendirilerek, radyasyon (ışınım) etkisi de göz önüne alınmıştır.

### A. Yapı ve Yalıtım Malzemelerinin Özellikleri

Yapılan çalışmada 6 farklı duvar tipi incelenmiştir. Duvar tiplerini oluşturmak için 5 farklı yapı malzemesi kullanılmıştır. Tercih edilen yapı malzemeleri; gazbeton, bims blok, düşey delikli tuğla, izo tuğla ve yatay delikli tuğla duvardır. Tablo 1’de kullanılan yapı malzemelerinin ısı iletim katsayı değerleri ve kalınlıkları belirtilen referanstan alınmıştır [39].

Binalarda ısı yalıtımı, kışın ısınmak için, yazın ise soğutmak için harcanan enerjiyi azaltmak ve ortamda rahatlık ve termal konfor şartlarını sağlamak amacıyla uygulanır [40, 41]. Çalışmada tercih edilen 3 farklı yalıtım malzemesinin özellikleri Tablo 2’de verilmiştir [42, 43].

### B. Isı Taşınım Katsayılarının Hesaplanması

Bu çalışmada temel alınan değer, TS 825 Standardına göre 2. Bölge maksimum izin verilen ‘Toplam Isıl Geçirgenlik Katsayısı-U=0,6 (W/m<sup>2</sup>K)’dır.

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

Denklemden toplam tarafa transfer olan ısı akısı tanımlanır. Bu denklem ayrıca içerden duvara doğru ve dış duvardan dışarıya doğru gerçekleşen ısı transferine de eşittir. Yüzeyden çevreye olan ısı ışımasını hesaplanırken yüzey yayıcılık değeri 1 olarak ele alınabilir [44]. Burada ışıma etkisi, çalışma kapsamında incelenen sıcaklık değerleri çok küçük olduğundan dolayı bileşik ısı transfer katsayısı olarak değerlendirilmiş fakat taşınım baskın olduğundan dolayı taşınım ısı transfer katsayısı olarak adlandırılmıştır.

$$q=h_{iç}*(T_{iç}-T_{duvar,iç})=h_{dış}*(T_{dış}-T_{duvar,dış}) \quad (2)$$

Eşitlik 2’den iç taşınım katsayısı çekilirse;

$$h_{iç}=q/((T_{iç}-T_{duvar,iç})) \quad (3)$$

elde edilir. Dış taşınım katsayısı çekilirse;

$$h_{dış}=q/((T_{dış}-T_{duvar,dış})) \quad (4)$$

eşitliğine ulaşılır.

### C. Uygun Yalıtım Kalınlıklarının Sayısal Çözümlemesi

Ortam sıcaklıkları sabit olarak ele alındığı için ısı transferinin sürekli olduğu kabul edilmiştir. Çalışmada iç ortamdan dış ortama doğru sıcaklık gradyanı olduğu diğer yönlere olan

ısı transferinin ihmal edilebilir olduğu ve tek boyutta ısı geçişi olduğu kabul edilmiştir.

Tablo 1. Yapı Malzemelerinin Kalınlık ve Isı İletim Katsayısı Değerleri

Duvar Tipi	Yapı Malzemeleri	Kalınlık (m)	Isı İletim Katsayısı (k) (W/m.K)
Gazbeton Duvar	Alçı İç Sıva	0.02	0.51
	Gazbeton	0.23	0.13
	Çimento Harçlı Dış Sıva	0.03	0.87
Tuğla Sandviç Duvar	Alçı İç Sıva	0.02	0.51
	Yatay Delikli Tuğla	0.085 0.135	0.33
	Çimento Harçlı Dış Sıva	0.03	0.87
Bims Blok Duvar	Alçı İç Sıva	0.02	0.51
	Bims Blok	0.15	0.60
	Çimento Harçlı Dış Sıva	0.03	0.87
Tuğla Duvar	Alçı İç Sıva	0.02	0.51
	Düşey Delikli Tuğla	0.19	0.36
	Çimento Harçlı Dış Sıva	0.03	0.87
İzo Tuğla Duvar	Alçı İç Sıva	0.02	0.51
	İzo Tuğla	0.19	0.24
	Çimento Harçlı Dış Sıva	0.03	0.87
Tuğla Duvar	Alçı İç Sıva	0.02	0.51
	Yatay Delikli Tuğla	0.19	0.33
	Çimento Harçlı Dış Sıva	0.03	0.87

Tablo 2. Yalıtım Malzemelerinin Isı İletim Katsayısı Değerleri

Yalıtım Malzemesi	Isı İletim Katsayısı (k)(W/m.K)
Genleştirilmiş Polistiren Köpük Levhalar (PS)	0.030
Ekstrüde Polistiren Köpük (XPS)	0.040
Poliüretan Sert Köpük Levhalar (PUR)	0.035

Hesaplamaların kolaylığı için tasarlanan duvar modellerinin yüzey alanı  $1m^2$  olarak ele alınmıştır. Bütün yapı ve yalıtım malzemelerinin sahip oldukları ısı dirençler aşağıdaki gibi formülize edilmiştir [44].

$$\frac{1}{U} = R_i + R + R_d \quad (5)$$

Burada  $R_i$  (K/W) duvarla iç ortam arasında,  $R$  (K/W) duvarın içinde,  $R_d$  ise duvarla dış ortam arasındaki ısı dirençtir. Duvarın içindeki iletimle ısı geçişine karşı ısı direnç;

$$R = R_{yapımalzemesi} + R_{içsıva} + R_{dışsıva} + R_{yalıtım} = \frac{1}{A} \sum \frac{L_i}{k_i} \quad (6)$$

eşitliği ile tarif edilir. Modellenen duvar  $1m^2$  olduğundan, duvarın bütün katmanlarının yüzey alanları eşittir. Duvarı iç yüzeyi ile iç ortam arasındaki ısı direnç;

$$R_i = \frac{1}{h_i * A} \quad (7)$$

eşitliği ile tarif edilir. Duvarın dış yüzeyindeki ısı direnç ise;

$$R_d = \frac{1}{h_d * A} \quad (8)$$

Eşitliği ile hesaplanır. Isı geçişinin meydana geldiği alan;

$$A = H * W \quad (9)$$

denklemi ile hesaplanır. Burada H duvarın yüksekliğini W genişliğini ifade etmektedir. Buraya kadar tarif edilen büyüklükler denklem (5) te yerine koyulur ve  $L_{yalıtım}$  kalınlığı çekilirse;

$$L_{yalıtım} = \left[ \frac{1}{U} - (R_i + R_{yapımalzemesi} + R_{içsıva} + R_{dışsıva} + R_d) \right] * k_{yalıtımmalzemesi} \quad (10)$$

eşitliği elde edilir.

### D. Sayısal Modelleme

Tablo 1 ve 2'de verilen yapı ve yalıtım malzemelerinin değerleri kullanılarak, duvar tiplerinin simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Simülasyon çalışmasında parametreler bölümünde istenilen herhangi parametrenin değişimine bağlı olarak sonuçlar gözlemlenebilir.



Şekil 1. Yalıtımsız 3B Duvar Modeli ve Cmsol Duvar Kesiti (2B)

Şekil 1'deki duvar kesiti, yalıtımsız (çıplak) duvar kesiti olup, sayısal hesaplamalarda yalıtım malzemesi kullanılmamıştır. Bu duvar çeşidi, kıyas parametresi olarak simülasyona dahil edilmiştir.



Şekil 2. Yalıtımlı 3B Duvar Modeli ve Cmsol Duvar Kesiti (2B)



Şekil 3. Yalıtımlı Sandviç 3B Duvar Modeli ve Cmsol Duvar Kesiti (2B)

Şekil 2'de verilen model yalıtım duvar kesitleri için örnek oluşturmaktadır. İzolasyon malzemesi duvar bloğunun dış yüzeyine bakacak şekilde model oluşturulmuştur. Bu tercihin sebebi; yalıtımın hazırda var olan binalara uygulanabilirliği amaçlanmıştır.

Şekil 3'de sandviç duvar modeli verilmiştir. Modelin genel yapısı, yalıtım malzemesi iç veya dış cephede olmayıp, duvarın iç bölümünde yer almaktadır. Sandviç duvar modellenirken, en genel uygulama şekli dikkate alınmıştır. Bu uygulamada yalıtım malzemesi, farklı kalınlıklardaki iki yapı malzemesi arasına yerleştirilmiştir. Mevcut binalarda uygulanması zor olduğundan binanın ilk inşasında uygulanır, sonradan ilave edilmez.

Tablo 3. PS Yalıtım Malzemesi ile Yatay Delikli Tuğla Duvar Modeli Girdileri

İsim (Name)	Değer (Expression)	Tanım (Description)
yuk	1[m]	Malzemelerin yüksekliği
A <sub>s</sub>	1[m <sup>2</sup> ]	Isı transferi gerçekleşen dik alan
c <sub>p1</sub>	1[J/(kg.K)]	Malzemenin özgül ısısı
rho <sub>1</sub>	1 [kg/(m <sup>3</sup> )]	Malzemenin özgül kütlesi
U	0.6 [W/(m <sup>2</sup> .K)]	2. Bölge için izin verilen ısı geçirgenlik
h <sub>i</sub>	5.1724[W/(m <sup>2</sup> .K)]	İç ortam taşınım katsayısı
h <sub>d</sub>	20.833 [W/(m <sup>2</sup> .K)]	Dış ortam taşınım katsayısı
k <sub>al1</sub>	0.02[m]	Alçı iç sıva kalınlığı
k <sub>1</sub>	0.51[W/(m.K)]	Alçı iç sıva iletim katsayısı
k <sub>al2</sub>	0.19[m]	Yatay delikli tuğla kalınlığı
k <sub>2</sub>	0.36[W/(m.K)]	Yatay delikli tuğla iletim katsayısı
k <sub>al3</sub>	0.03[m]	Çimento harçlı dış sıva kalınlığı
k <sub>3</sub>	0.87[W/(m.K)]	Çimento harçlı dış sıva iletim katsayısı
T <sub>i</sub>	20[°C]	İç ortam sıcaklığı
T <sub>d</sub>	-5 [°C]	Dış ortam sıcaklığı
k <sub>yal</sub>	0.03[W/(m.K)]	PS yalıtım malzemesinin ısı iletkenlik değeri
k <sub>aly</sub>	$(1/(U \cdot A_s) - ((1/(h_i \cdot A_s)) + (k_{al1}/(k_1 \cdot A_s)) + (k_{al2}/(k_2 \cdot A_s)) + (k_{al3}/(k_3 \cdot A_s)) + (1/(h_d \cdot A_s)))) \cdot (k_{yal} \cdot A_s)$	PS yalıtım malzemesi için uygun yalıtım kalınlığı
Q	$U \cdot A_s \cdot ((T_i) - (T_d))$	Gerçekleşen Isı transferi

Tablo 4. Yatay Delikli Tuğla Duvar ve Sandviç Tuğla Duvar Modellerinin PS Yalıtım Malzemesi ile Simülasyon Girdileri

Duvar tipi	Koordinat Sistemi (Space Dimension)	Geometri ve Özellikleri (Geometry and Properties)	Sistemin Eksenleri (System's axis)	Sınır Tipi (Boundary type)	Sınır Koşulları (Boundary Conditions)	Parametreler (Parameters)	Ağ (Mesh)
Yalıtımlı ve Yatay Delikli Tuğla Duvar	2D	Rectangle1 H <sub>1</sub> =1m, W <sub>1</sub> =İç sıva Rectangle2 H <sub>1</sub> =1m W <sub>2</sub> =Yapı Malzemesi Rectangle3 H <sub>1</sub> =1m W <sub>3</sub> =Yalıtım Malzemesi Rectangle4 H <sub>1</sub> =1m W <sub>3</sub> =Dış sıva	x, y	Edge	HeatFlux h <sub>i</sub> =5.1724W/(m <sup>2</sup> K) T <sub>i</sub> =20 degC h <sub>d</sub> =20.83W/(m <sup>2</sup> K) T <sub>d</sub> =-5 degC	Heat Transfer in Solids Thermal conductivity of rectangle k <sub>1</sub> =iç sıva W/m.K k <sub>2</sub> =yapı malzemesi W/m.K k <sub>3</sub> =yalıtım malzemesi k <sub>4</sub> =dış sıva	Normal Mesh
Yalıtımlı ve Sandviç Tipi Tuğla Duvar	2D	Rectangle1 H <sub>1</sub> =1m, W <sub>1</sub> =İç sıva Rectangle2 H <sub>1</sub> =1m W <sub>2</sub> =Yapı Malzemesi Rectangle3 H <sub>1</sub> =1m W <sub>3</sub> =Yalıtım Malzemesi Rectangle4 H <sub>1</sub> =1m W <sub>2</sub> =Yapı Malzemesi Rectangle5 H <sub>1</sub> =1m W <sub>3</sub> =Dış sıva	x, y	Edge	HeatFlux h <sub>i</sub> =5.1724W/(m <sup>2</sup> K) T <sub>i</sub> =20 degC h <sub>d</sub> =20.83W/(m <sup>2</sup> K) T <sub>d</sub> =-5 degC	Heat Transfer in Solids Thermal conductivity of rectangle k <sub>1</sub> =iç sıva W/m.K k <sub>2</sub> =yapı malzemesi W/m.K k <sub>3</sub> =yalıtım malzemesi k <sub>4</sub> =yapı malzemesi k <sub>5</sub> =dış sıva	Normal Mesh

Tablo 5. Dış Ortam Taşınım Değerleri

2.9°C derece dış ortam için değerler			
T <sub>i</sub>	20°C	T <sub>d</sub>	2.9°C
h <sub>i</sub>	3.538 (W/m <sup>2</sup> .K)	h <sub>d</sub>	14.25 (W/m <sup>2</sup> .K)
-5°C derece dış ortam için değerler			
T <sub>i</sub>	20°C	T <sub>d</sub>	-5°C
h <sub>i</sub>	5.172 (W/m <sup>2</sup> .K)	h <sub>d</sub>	20.833 (W/m <sup>2</sup> .K)
-11°C derece dış ortam için değerler			
T <sub>i</sub>	20°C	T <sub>d</sub>	-11°C
h <sub>i</sub>	6.414 (W/m <sup>2</sup> .K)	h <sub>d</sub>	25.833 (W/m <sup>2</sup> .K)

Modellemede, ısı geçişinin tek boyutlu olduğu kabul edildiğinden, Şekil 1, 2 ve 3’de verilen duvar modelleri 2 boyutlu gösterilmiştir. Çünkü sistem üzerindeki ısı transferi yatay eksen boyunca gerçekleşmektedir. Böylece sistem sadeleştirilip en kesiti alınmıştır.

Ölçüleri bilinen yapı malzemeleri programa girilebilir, ancak izolasyonlu geometrilerin eksiksiz yapılandırılması için yalıtım kalınlığının da bilinmesi gerekmektedir. Yalıtım kalınlığı analitik metotla simülasyon programına fonksiyon tanımlanarak hesaplatılmıştır. Yalıtım kalınlığı için kullanılan eşitlik:

$$\frac{1}{(U \cdot A_s) - ((1/(h_i \cdot A_s)) + (k_{al1}/(k_1 \cdot A_s)) + (k_{al2}/(k_2 \cdot A_s)) + (k_{al3}/(k_3 \cdot A_s)) + (1/(h_d \cdot A_s)))} \cdot (k_{yal} \cdot A_s) \quad (11)$$

olarak tanımlanmıştır.

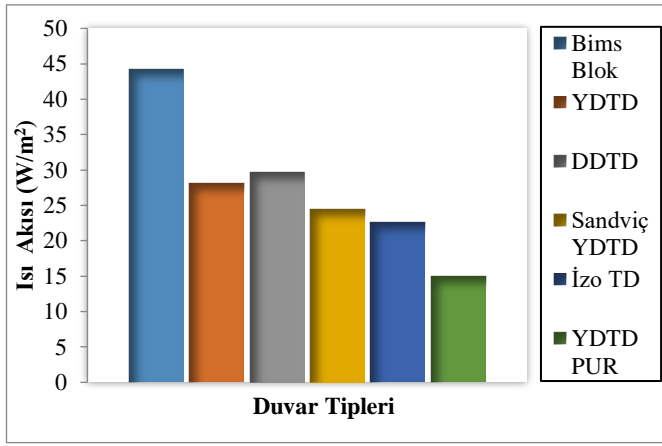
Tablo 3’de, çalışmada kullanılan PS yalıtım malzemesi ile yatay delikli tuğla duvar modelinin iç ortam sıcaklığı 20°C ve dış ortam sıcaklığı -5°C şartları altında COMSOL programının ‘Parametre’ bölümüne girilmesi gereken örnek tablo verilmiştir. Tabloda verilen değerler diğer Duvar modeli uygulamaları için de referans olarak kabul edilebilir.

Tablo 4’de PS yalıtım malzemesi tercih edilerek, sırasıyla yatay delikli tuğla duvar ve sandviç tuğla duvarın simülasyon programında ilgili bölümlere girilmesi gereken açıklamalar verilmiştir. Yapı ve yalıtım malzemelerinin kalınlık ve ısı iletim katsayı değerleri Tablo 1 ve 2’den alınmalıdır. Tablo 4’de yer alan ‘Parameter’ bölümündeki girilmesi gereken değerler Tablo 3’e karşılık gelmektedir ve açıklamaları Tanım ‘Description’ bölümünde mevcuttur. Her iki duvar modeli de 2 Boyutlu olarak tasarlanmıştır.

### III. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu çalışmada TS 825 Standartlarına göre 2. Bölgede bulunan Yalova için farklı yalıtım malzemeleri tercih edilerek, 6 adet duvar modeli için uygun yalıtım kalınlıkları belirlenmiştir. Hesaplamalarda iç ortam sıcaklığı ilgili standartta ev için belirlenen 20°C alınmıştır. Dış ortam sıcaklığı ise 2,9°C, -5°C ve -11°C olarak 3 farklı değer alınmıştır.

Tablo 5’de dış ortam sıcaklıkları 2,9, -5 ve -11°C olduğunda ve iç ortam sıcaklığı 20°C olduğunda oluşan taşınım katsayı değerleri verilmiştir. Hesaplamalarda rüzgar hızı, zorlanmış taşınım etkisi baskın olmayacak kadar küçük seçilmiş ve ortam sıcaklıklarının sabit kaldığı kabul edilmiştir. Görüldüğü gibi, dış hava sıcaklığı azaldıkça dış ortam ısı taşınım katsayısı 25 W/m<sup>2</sup>K e kadar çıkmaktadır.



Şekil 4. PUR İzolasyon Malzemesi İle Yalıtımlı (1 adet) Ve Yalıtımsız (5 adet) Duvar Tiplerinin İç Ortam, 20°C, Dış Ortam, -5°C’de Gerçekleşen Isı Akısı (W/m<sup>2</sup>).

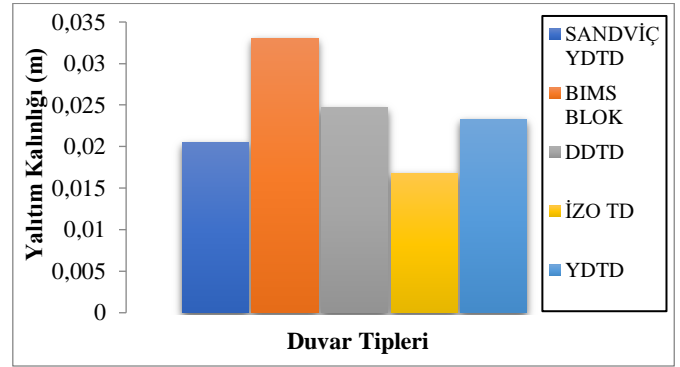
Şekilde 4’de 6 farklı duvar tipi ele alınmıştır. Seçilen duvar tiplerinden 5’i yalıtımsız (Bims blok, yatay delikli tuğla duvar, dikey delikli tuğla duvar, sandviç yatay delikli tuğla duvar, izo tuğla duvar) ve diğeri TS 825 (2. Bölge) standardına göre yapılandırılmış duvar olan yalıtımlı yatay delikli tuğla duvardır (YDTD). Yalıtım malzemesi tercihi Poliüretan Sert Köpük Levhalar (PUR), iç ortam sıcaklığı 20°C ve dış ortam sıcaklığı olarak -5°C olarak sabit kalmıştır. Bütün yapı ve yalıtım malzemelerinin toplam ısı dirençlerinin standartta belirlenen değerlere ulaşması için yapılması gereken yalıtım hesaplanması amaçlanmıştır. Sistemin toplam ısı geçirgenlik katsayısı (U), 0,6 (W/m<sup>2</sup>.K)’e eşittir. Isı akısını (W/m<sup>2</sup>) etkileyen parametreler; iç-dış ortam dirençlerinin (m<sup>2</sup>.K/W) toplamı ve ortam sıcaklıklarının (T<sub>i</sub>, T<sub>d</sub>) farkıdır. Parametrelerin sabit kalması durumunda ısı akısında da değişiklik meydana gelmez.

$$T = K - Std \quad (12)$$

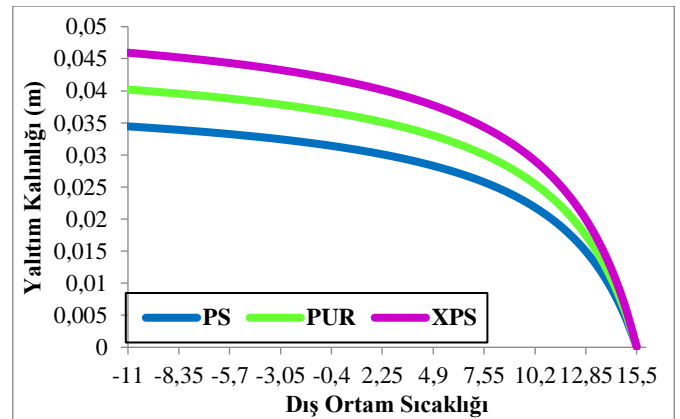
Denklemi 12’de sağlanacak tasarruf miktarı ısı akıları ile gösterilmektedir. Burada T, tasarruf miktarını [W/m<sup>2</sup>], K, herhangi bir yapı malzemesinin kaybını [W/m<sup>2</sup>] ve Std, TS 825’e göre yalıtılmış duvardan olan ısı kaybını [W/m<sup>2</sup>] ifade etmektedir. Bu fark tasarruf potansiyelini göstermektedir. Karşılaştırma için yatay delikli tuğla ele alınır ise; yalıtımlı uygulaması tercih edilmiş ısı akısı 15 (W/m<sup>2</sup>) iken, yalıtımsız yatay delikli tuğla duvarın ısı akısı yaklaşık olarak 27,5 (W/m<sup>2</sup>)’dir. Yalıtımlı veya yalıtımsız duvar arasında

gerçekleşen tasarruf %45,45’dir. İstenmeyen ısı transferinden meydana gelecek olan enerji kayıpları hesaplanabilir.

Şekil 5’de yalıtım malzemesi PS, iç ortam (20°C) ve dış ortam (-5°C) sıcaklıkları sabit alınarak, 5 farklı yapı malzemesinin TS 825 (2. Bölge) standardına göre ihtiyaç duyduğu yalıtım kalınlığı ve birbirleri ile karşılaştırılması verilmiştir. Seçilen yalıtım malzemesi PS (Genleştirilmiş Polistiren Köpük Levhalar) olma sebebi ısı iletim katsayısının düşük olması ve diğerlerine göre ekonomik olduğundan yalıtım sektöründe tercih edilen ürünlerin başında gelmesidir. Her yapı malzemesinin TS 825 standardını sağladığı uygulama kalınlığı farklıdır. Farklılığın temel nedeni, her yapı malzemesinin kendine özgü olmasıdır. Isı iletim katsayıları düşük olan yalıtım malzemeleri yüksek ısı direnç sağlar ve ısı transferini diğerlerine göre daha fazla önler. Şekil 5 incelendiğinde minimum yalıtım kalınlığına ihtiyaç duyan yapı malzemesi, ısı iletim katsayısı diğer malzemelere oranla daha düşük olan İzo tuğladır. Farklı ısı dirençler ile minimum yalıtım kalınlık İzo Tuğla Duvardır (k=0,24 (W/m.K)), maksimum yalıtım kalınlık ise Bims Blok Duvar (k=0,60 (W/m.K)) tipidir.

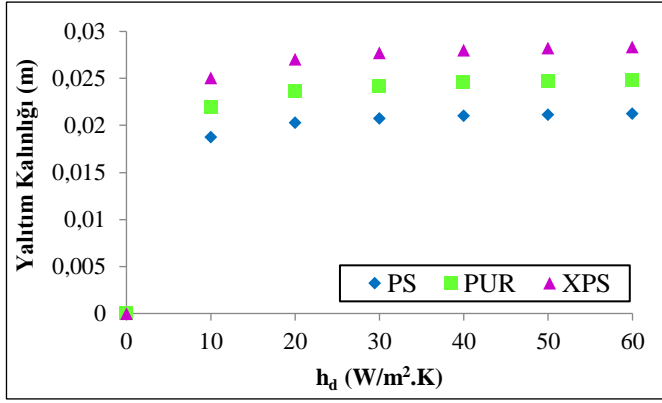


Şekil 5. PS Yalıtım Malzemesi Kullanılan Duvar Tiplerinin İç Ortam, 20°C ve Dış Ortam, -5°C’de TS 825 (2. Bölge)’e Göre Uygun Yalıtım Kalınlıkları



Şekil 6. TS 825 2. Bölge Standardına göre; PS, PUR ve XPS İzolasyon Malzemelerinin İç Ortam, 20°C ile Dış Ortam 15,5 ve -11°C Değerleri Arasında Uygun Yalıtım Kalınlıkları



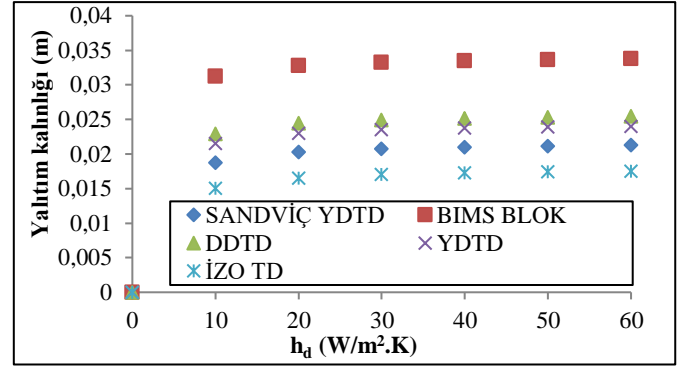


Şekil 7. Farklı Dış Ortam Taşınım Değerlerinin, Yalıtım Kalınlığına Etkisi (PS, PUR ve XPS)

Şekil 6'da dış ortam sıcaklıkları (°C) ve ortam koşullarına uygun yalıtım kalınlıkları (m) verilmiştir. Dış ortam sıcaklığı düştükçe ısı kaybını engellemek için yalıtım kalınlığı artırılması gerekmektedir. Şekil 3'de verilen Bims blok duvar tipine uygun olarak seçilen üç farklı yalıtım malzemesi kalınlıklarının dış ortam sıcaklığına bağlı olarak değişimi Şekil 9'da gösterilmiştir. Çalışma kapsamında ele alınan yalıtım malzemeleri ve TS 825 standardında Yalova için belirtilen şartlar doğrultusunda yapılacak bir duvarda, minimum yalıtım kalınlığı ile maksimum ısıl direncin elde edilmesi için uygun yalıtım malzemesinin seçimi önem arz etmektedir.

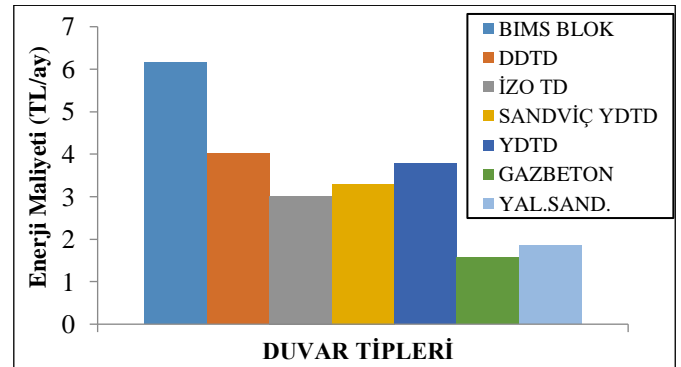
Şekil 7'de PS'nin, minimum kalınlıkta gerekli ısıl direncin elde edildiği yalıtım tipi olduğu görülmektedir. XPS'nin ise göstermiş olduğu ısıl direnç en az olmaktadır. Modellenen en soğuk ortam sıcaklığı için, en kalın yalıtım malzemesi XPS'dir. Seçim yapılırken bu hususun ve boyutlarının düzenlenebilirliği ile file donatısı, akrilik astar ve boya gibi yardımcı yapı bileşenlerinin hesaplamalara katılmadığının göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Örneğin, dış ortam kritik sıcaklığı -11°C alındığı zaman PS yalıtım malzemesi için gerekli kalınlık 3,44 cm, inşaat sektöründeki hazır ürünler 2 cm kalınlık ile başlayarak birer cm artar. Bu nedenle en düşük dış ortam sıcaklığı (-11°C) için piyasadaki 4 cm'lik ürün tercih edilmelidir. PUR yalıtım malzemesi piyasa arz şekli en incisi 5 cm olan tabakalar şeklindedir. Bunun için Yalova'da dış cephe yalıtımı amacıyla uygulanacağı zaman 5 cm'lik kalınlık tercih edilebilir. Son olarak yine aynı koşullarda XPS yalıtım malzemesi için gerekli kalınlık 4,6 cm'dir. Bu malzemenin piyasa arz şekli 2 cm den başlayarak 5 cm'ye kadar birer cm artan plakalar şeklindedir. Hesaplamalarda ara değer elde edildiği için, piyasadaki bir üst kalınlık değeri olan 50 mm kalınlığındaki ürün tercih edilmelidir.

Şekil 8'de ise farklı yapı malzemelerinin, uygulanması gereken yalıtım kalınlığının dış ortam taşınım katsayısıyla değişimi verilmiştir. İhtiyaç duyulan ısıl direnç, yalıtım malzemesinin kalınlığını arttırmakla veya daha düşük ısı iletim katsayısına sahip yalıtım malzemesi kullanmakla elde edilir. Tercih edilen yapı malzemelerinden Bims blok Duvar Tipi ısı iletkenlik değeri (k=0,60 W/mK) en yüksek olduğu için yalıtım kalınlığı en fazladır. ısı iletkenlik değeri (k=0,24 W/m.K) en düşük olan İzo Tuğla Duvar Tipi için ise en ince yalıtım kalınlığına gerek duyulmaktadır.



Şekil 8. PS İzolasyonu Uygulanmış Farklı Duvar Tiplerinin Uygun Yalıtım Kalınlığının, Değişen Dış Ortam Taşınım Katsayısı Değerleri Altında Davranışı

Şekil 9'da 7 farklı duvar tipi vardır, bunlardan 5'i yalıtımsız (Bims blok, dikey delikli tuğla duvar, izo tuğla duvar, sandviç, yatay delikli tuğla duvar), biri yalıtım malzemesi olarak kullanılan (Gaz beton) ve sonuncusu TS 825 standardına göre yapılmış yalıtımlı sandviç tipi duvardır (PS YAL. SAND.). Şekil de birim ısı kaybına karşılık, iç ortam sıcaklığını konfor konularında tutmak için tüketilen doğalgaz enerjisinin maliyeti verilmiştir. Grafik farklı duvar tiplerinin yaydığı ısı kaybını önlemek için gerekli olan yakıt (Doğalgaz) maliyetinin karşılaştırmasını vermektedir. Yakıtın alt ısı değeri 9,77 kWh/m<sup>3</sup> ve birim maliyeti 1,523 TL/Sm<sup>3</sup> alınmıştır.



Şekil 9. Farklı Duvar Tiplerinde Kullanılan Doğalgaz Enerjisinin Maliyeti

Şekil 9'da gözlenen diğer husus yapı malzemesi olarak kullanılan gaz betonun yakıt maliyetinin yalıtım uygulanan herhangi diğer duvar tiplerinden daha tasarruflu olmasıdır. Bu durum, gaz betonun ısı iletkenlik değerinin iyi olmasından kaynaklanmaktadır.

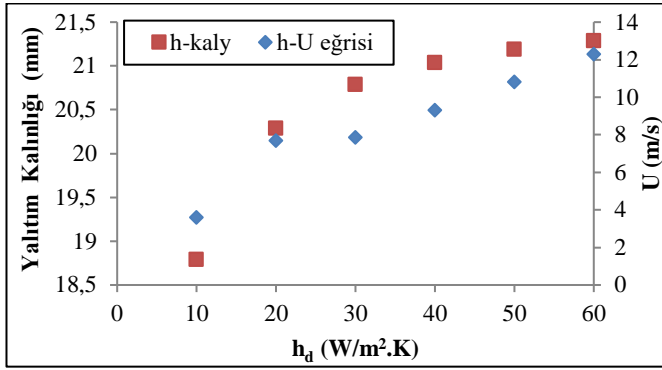
Birim m<sup>2</sup>'lik yalıtımlı ve yalıtımsız duvar yapıları karşılaştırıldığında ortalama %52 civarı tasarruf sağlanmaktadır. Maliyet hesabı yapılırken aşağıdaki formüle göre;

$$C_u = C_{Du} \times L_a \times (24 \times 30) \quad (13)$$

Eşitliği ile hesaplanır. Burada C<sub>u</sub>, (TL/ay) cinsinden birim maliyeti, C<sub>Du</sub> (TL/kWh) cinsinden doğalgazın birim maliyeti, L<sub>a</sub> (kW) cinsinden duvardan olan anlık kaybı ifade etmektedir. Yalıtımsız sandviç duvarda aylık 3,3 (TL/m<sup>2</sup>)'yi aşkın bir doğalgaz maliyeti varken yalıtımlı sandviç duvarda saatlik yaklaşık olarak 1,8 (TL/m<sup>2</sup>)'lik bir doğalgaz maliyeti vardır.

Şekil 10'da rüzgar hızı (U) değişiminin karşılık geldiği dış ortam taşınım katsayısı h<sub>d</sub> değerine göre TS 825 standardına

göre uygulanması gereken yalıtım kalınlığı değişimi



Şekil 10. Rüzgar Hızının, Dış Ortam Taşınım Katsayısı Değerine Etkisi

verilmektedir. Rüzgar hızının artması ile dış ortam taşınım değerini de arttırmaktadır. Artış sonucunda duvarın toplam ısı direnci azalır ısı transferi artar. TS 825 standardına göre istenilen ısı direnci (K/W) değerinin sağlanabilmesi için yalıtım kalınlıklarında değişiklik yapmak gerekmektedir. Rüzgâr hızı ve dış ortam taşınım değerlerinin değişimine oranla yalıtım kalınlığı artıp azalmaktadır. Yalıtım uygulanacak yapılar için yalıtım ve yapı malzemelerinin yanı sıra bölgenin rüzgâr ortalamasının da göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Ele alınan grafikte etken parametre olarak rüzgâr hızı seçilmiştir. Fakat ortamın taşınım değeri, aynı zamanda ortam sıcaklık değerine de bağlıdır. Yapılacak çalışmalarda bu hususlara dikkat edilmesi gerekmektedir.

Bu kısımda, çalışma kısaca özetlenmeli ve elde edilen sonuçlardan ulaşılan çıkarımlar üzerinde tartışma yapılmalıdır. Sonuçlar, benzer başka çalışmaların sonuçları ile karşılaştırılmalıdır.

#### IV. SONUÇLAR

Çalışmada Yalova'ya ait son 40 yılın iklim koşulları verileri kullanılarak, binalar için gerekli yalıtım kalınlıkları incelenmiştir. Araştırmada duvar içindeki taşınım katsayısının 25 W/m<sup>2</sup>.K e kadar, ısı akısının ise 45 W/m<sup>2</sup> ye kadar çıktığı tespit edilmiştir. Yalova'da yapılacak binalarda, duvar tipi olarak İZO TD seçildiğinde izolasyon yalıtım kalınlığı (2 cm) en az olmaktadır. En kalın izolasyon ise BIMS BLOK malzemesinde ihtiyaç olmaktadır (3,3 cm). Dış ortam sıcaklığı 15,5 °C iken yalıtıma gerek kalmazken, sıcaklığın azalmasıyla yalıtım ihtiyacı artmakta ve -11 °C düştüğünde 4,5 cm ye kadar çıkmaktadır. Dış ortam taşınım katsayısının artması da yalıtım kalınlığını artırma yönünde etkilemektedir. Enerji maliyetleri açısından en avantajlı duvar tipleri, gaz beton ve yalıtılmış sandviç duvar tipleri olarak tespit edilmiştir.

#### V. KAYNAKLAR

- [1] Pinhasi, R., Gasparian, B., Areshian, G., Zardaryan, D., Smith, A., Bar-Oz, G., et al. (2010). "First Direct Evidence of Chalcolithic Footwear from the Near Eastern Highlands," *Public Library of Science*.
- [2] Cihad, C. (2018). "Türkistan' dan Anadolu' ya Türklerin Kullandığı Bir Çadırın Göçü: Emirdağ ve Diğer

Yörelerde Toprak Ev." *Akademik Tarih ve Düşünce Dergisi* , 40-63.

- [3] Oral, G. K., & Manioğlu, G. (2010). "Bina Cephelelerinde Enerji Etkinliği ve Isı Yalıtımı," *5. Ulusal Çatı ve Cephe Sempozyumu* (s. 1-9). İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi.
- [4] Çetinel, E. (2012). "Tarihsel içinde dış cephe kaplama malzemelerinin ısı yalıtımı açısından irdelenmesi." DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü. İzmir
- [5] Kaynaklı, Ö., Ünver, Ü., & Kılıç, M. (2003). "Evaluating thermal environments for sitting and standing posture," *Heat Mass Transfer* , 1179-1188.
- [6] Koç, H., Yağlı, H., Koç, Y., & Uğurlu, İ. (2018). "Dünyada ve Türkiye'de Enerji Görünümünün Genel Değerlendirilmesi," *Mühendis ve Makine* , 86-114.
- [7] Kılıç, G., Al, K., Dağtekin, E., & Ünver, U. (2020). "Technical, Economic and Environmental Investigation Of Grid-Independent Hybrid Energy Systems Applicability: A Case Study," *Energy Sources Part A: Recovery, utilization, and Environmental Effects* , 1-16.
- [8] Karaağaç, İ., Durmuş, G., Uluer, O., Aktaş, M., & Tülü, F. A. (2016). "Kompozit Isı Yalıtım Levhalarında Isı İletim Katsayısı Tespit Yaklaşımları," *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi* , 133-142.
- [9] Çallı, E., & Keçebaş, A. (2012). "Bölgesel Isıtma Sistemlerinde Boru Yalıtımı Uygulamasının Ekonomik ve Çevresel Faydaları," *Tesisat Mühendisliği* , 5.
- [10] Ünver, U., & Kara, O. (2019). "Energy Efficiency by Determining the Production Process with the Lowest Energy Consumption in a Steel Forging Facility," *Journal of Cleaner Production* , 1362-1370.
- [11] Şenkal, F. (2005). "Türkiye' de Isı Yalıtımının Gelişimi ve Konutlarda Uygulanan Dış Duvar Isı Yalıtım Sistemleri," *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi* .
- [12] Ünver, Ü., Adıgüzel, E., Adıgüzel, E., Çivi, S., & Roshanaei, K. (2020). "Türkiye'deki İklim Bölgelerine Göre Binalarda Isı Yalıtım Uygulamaları," *İleri Mühendislik Çalışmaları ve Teknolojileri Dergisi* , 171-187.
- [13] Bayraktar, D., & Bayraktar, E. A. (2016). "Mevcut Binalarda Isı Yalıtımı Uygulamalarının Değerlendirilmesi," *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* , 59-99.
- [14] Bayrakçı, H. C., Davraz, M., & Başpınar, E. (2011). "Yeni nesil Isı yalıtım Malzemesi: Vakum yalıtım Paneli," *Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi* , 1-12.
- [15] Kürekçi, N. A. (2013). "Türkiye'nin Dört Derece Gün Bölgesinde Borular İçin Optimum Yalıtım Kalınlığı," *Tesisat Mühendisliği* , 25-39.
- [16] Işık, E., & Tuğan, V. (2017). "Tunceli, Hakkari ve Kars İllerinin Optimum Isı Yalıtım Kalınlığının Hesaplanması," *Int. J. Pure Appl. Sci.* 3(2): 50-57
- [17] Kaynaklı, Ö., & Yamankaradeniz, R. (2007). "Isıtma Süreci ve Optimum yalıtım Kalınlığı Hesabı," VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Bildiriler Kitabı, 187-195. 25-28 Ekim 2007, İzmir.



- [18] Şahin, M., & Bozkurt, Y. (2016). "Gemilerde Kaynaklı Yapılarda Isı Yalıtımı," *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, ÖS35-ÖS42.
- [19] Dağsöz, A. K., Bayraktar, K. G., & Ünveren, H. H. (2001). "Isı Yalıtımı Ve Kalorifer Tesisatı Standartları Üzerine Görüşler," *Tesisat Mühendisliği*, 50-54.
- [20] Ünalın, H., Gökaltun, E., & Uğurlubilek, R. (2006). "Yapı Kabuğunda Isı Kayıplarının Azaltılması ve Bir İyileştirme Projesi Örneği," *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 49-56.
- [21] Balo, F., Uçar, A., & İnallı, M. (2011). "Yapıların Dış Duvarlarında Optimum Yalıtım Kalınlığının Üç Farklı Metotla Tespiti," *Tesisat Mühendisliği*, 13.
- [22] Özel, M., & Şengür, S. (2012). "Farklı Yakıt Türü ve Yalıtım Malzemelerine Göre Optimum Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi," *Tesisat Mühendisliği*, 9-21.
- [23] Dağdır, C., & Bolattürk, A. (2011). "Sıcak İklim Bölgelerindeki Binalarda Isıtma ve Soğutma Yüküne Göre Tespit Edilen Optimum Yalıtım Kalınlıklarının Karşılaştırılması," *X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, (s. 64-77). İzmir.
- [24] Karaağaç, İ., Durmuş, G., Uluer, O., Aktaş, M., & Tülü, F. A. (2016). "Kompozit Isı Yalıtım Levhalarında Isı İletim Katsayısı Tespit Yaklaşımları," *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, 133-142.
- [25] Gürel, A. E., & Daşdemir, A. (2011). "Türkiye'nin dört farklı iklim bölgesinde ısıtma ve soğutma yükleri için optimum yalıtım kalınlıklarının belirlenmesi," *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 346-352.
- [26] Binici, H., Sevinç, A. H., & Eken, M. (2012). "Ayciçek Sapı Ve Tekstil Atıkları İle Yalıtım Malzemesi Üretimi," *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15(1), 1-5.
- [27] Binici, A., Sevinç, A. H., & Efe, V. (2015). "Atık Gazete Kağıdından Yalıtım Malzemesi Üretimi," *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 13-23.
- [28] Şenkal, F., & Karagöz, N. (2011). "Türkiye'deki Çift Duvar Arası Isı Yalıtım Uygulamalarında Isı Köprülerinin Analizi ve Yurtdışı Uygulamaları ile Karşılaştırılması," *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 16.1.
- [29] Şenkal, F., & Dilmaç, Ş. (2014). "Farklı Duvar Malzemesi ve Yalıtım Uygulamalarının Isıl Davranışlarının Deneysel Olarak İncelenmesi," *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 1-12.
- [30] Kartal, S., Can, A., & Dilmaç, Ş. (2004). "Ara Kat Döşemelerinin Isıl Davranışı Üzerine İklim Şartlarının Ve Yalıtım Sistemlerinin Etkisi," *Tesisat Mühendisliği*, 49-65.
- [31] Keleşoğlu, Ö., Ekinci, C. E., & Fırat, A. (2005). "Yalıtım Hesaplarında Yapay Sınır Ağlarının Kullanımı," *Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi* 23(3), 58-66.
- [32] Özkan, D. B., Onan, C., & Erdem, S. (2009). "Yalıtım Malzemesi Kalınlığının Yalıtıma Etkisi," *Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 190-196.
- [33] Bektaş, B., & Aksoy, U. T. (2005). "Soğuk İklimlerdeki Binalarda Pencere Sistemlerinin Enerji Performansı," *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(3), 499-508.
- [34] Öztuna, S., & Dereli, E. (2009). "Edirne İlinde Optimum Yalıtım Kalınlığının Enerji Tasarrufuna Etkisi," *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 139-147.
- [35] Aslan, A., & Yüksel, B. (2010). "Gönen Jeotermal Bölge Isıtma Sistemleriyle Isıtılan Farklı Tip Binaların Dış Duvarlarının Optimum Yalıtım Kalınlıklarının Belirlenmesi," *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 100-111.
- [36] Delikanlı, K. (2015). "Nano Gözenekli Vakum Panelleri," *SDÜ Teknik Bilimler Dergisi*, 1-7.
- [37] Bacon, D. H. (1989). "BASIC Heat Transfer," London: Butterworth & Co. (Publishers) Ltd.
- [38] Dağdır, C., & Bolattürk, A. (2011). "Sıcak İklim Bölgelerindeki Binalarda Isıtma ve Soğutma Yüküne Göre Tespit Edilen Optimum Yalıtım Kalınlıklarının Karşılaştırılması," *X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, (s. 64-77). İzmir.
- [39] Aksoy, U. T. (2008). "Sandviç Ve Gazbeton Duvar Uygulamalarının Ortalama Isı Geçirgenlik Katsayısı Ve Isı Kaybı Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi," *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 24 (1-2)277-290.
- [40] Kaynaklı, Ö., Ünver, Ü., Kılıç, M., & Yamankaradeniz, R. (2003). "Sürekli Rejim Enerji Dengesi Modeline Göre Isıl Konfor Bölgeleri," *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23-30.
- [41] Kulaksızoğlu, Z. (2006). "Isı Yalıtımı Sektör Araştırması," İzmir: İstatistik şubesi.
- [42] TS825. (2009\_Revize). "Binalarda Isı Yalıtım Kuralları," Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
- [43] Karakaya, H. (2018). "Farklı Duvar ve Yakıt Tiplerinde optimum Yalıtım Kalınlığının Isıtma ve Soğutma Tespiti ve Çevresel Etkileri," *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 193-2018.
- [44] Incropera, F. P., Dewitt, D. P., Bergman, T. L., & Lavine, A. S. (2011). "Fundamentals of Heat and Mass Transfer," Jefferson City: John Wiley & Sons.