




Calculation amount of carbon dioxide and sulfur dioxide per capita area, per unit area for the heating period: Example of Izmir

Mustafa Ertürk 

Department of Mechanical Engineering, Sakarya University of Applied Sciences, Faculty of Technology, Sakarya, 54130, Turkey

Highlights:

- Optimum insulation thickness payback times, energy saving analysis for İzmir based on two different wall types and three fuel types
- Analysis the amount of carbon dioxide and sulfur dioxide for the heating period outdoor wall unit area
- Heating period per capita carbon dioxide and sulfur dioxide analysis

Keywords:

- Optimum insulation thickness
- Heating period
- Unit area emissions
- Per person emissions

Article Info:

Research Article
Received: 29.04.2020
Accepted: 20.07.2020

DOI:

10.17341/gazimmfd.728927

Correspondence:

Author: Mustafa Ertürk
e-mail: mustafaerturk@subu.edu.tr
phone: + 90 264 616 0221

Graphical/Tabular Abstract

Theory and Methods:

This study comprises three stages as the first stage 2 different fuels, 3 different insulation materials, 2 different externally insulated wall are investigated for effects on optimum insulation thickness (OIT) in cases of different components of external walls, total cost, energy savings and repayment duration according to the lifetime cost analysis method. In the second stage comparisons are exposed for carbon dioxide and sulfur dioxide amounts released per unit area (m^2) in the heating period according to wall, fuel and insulation material type without insulation. The effect of OIT on the environment and energy for İzmir is determined for the first time in the literature. The third stage of the study presents two different approaches of carbon dioxide and sulfur dioxide amounts per capita in the heating period for coal and natural gas emissions.

Table A. Investigation of the effect of insulation thickness on per capita CO_2 during heating period

Insulation Material	Insulation Thickness (cm)												
	Heating Period CO_2 Amount Per Person for Coal in Externally Insulated Wall (kg / person year)												
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
XPS	3484	1595	1033	764	606	502	428	374	332	298	270	248	228
EPS	3484	1670	1097	817	651	541	462	404	359	323	293	268	248
Taş Yünü	3484	1762	1178	885	708	591	506	443	394	355	323	296	273

Purpose:

This study is performed for İzmir, which indicates that if coal is used as fuel in insulated and uninsulated buildings then the amount of CO_2 and SO_2 emissions increases per unit area during the heating period, whereas the amount of CO_2 decreases by using natural gas as fuel. On the other hand, the amount of CO_2 and SO_2 per capita for coal and for natural gas are presented in detail as a new contribution to the existing literature.

Results and Conclusion:

In cases of natural gas usage as fuel in a building with an externally insulated exterior wall, the amount of CO_2 emission will decrease by 57% for XPS, 58% for EPS and 56% from the unit area during the heating period for Stone wool compared to the uninsulated wall, while the heating period for the sandwich outer wall will reduce CO_2 emission from the unit area. It has been demonstrated that the amount of CO_2 will decrease by 57% for XPS and EPS, and 56% for Stone wool. The heating period in an uninsulated building is the heating period of 1839 kg per capita for natural gas. If the building is insulated with XPS according to OYK, the amount of CO_2 per capita will decrease by 76% in the heating period. If coal is used as fuel then the heating period in an uninsulated building is determined as 3484 kg per capita CO_2 per capita, and in case of insulation with XPS according to OYK, 838 kg / capita heating period. In addition, it has been revealed that the amount of SO_2 per capita in the heating period for the externally insulated exterior wall for coal will decrease by 73% compared to the uninsulated wall, while this rate will be 69% for the sandwich walls. With these approaches introduced to the literature, the heating period CO_2 SO_2 amounts in any province of the world can be easily calculated with the parameters in Equations 22 and 23.



Isıtma dönemi için bina birim alan, kişi başı karbondioksit ve kükürtdioksit miktarlarının hesaplanması: İzmir Örneği

Mustafa Ertürk*

Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Sakarya, 54130, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- İki farklı duvar tipi ve üç yakıt türüne göre İzmir için optimum yalıtım kalınlığı, geri ödeme süreleri, enerji tasarrufu analizleri
- Isıtma dönemi dış duvar birim alanı için karbondioksit ve kükürtdioksit miktarı analizi
- Isıtma dönemi kişi başı karbondioksit ve kükürtdioksit analizi

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi
Geliş: 29.04.2020
Kabul: 20.07.2020

DOI:

10.17341/gazimmfd.728927

Anahtar Kelimeler:

Optimum yalıtım kalınlığı,
ısıtma dönemi,
birim alan emisyonlar,
kişi başı emisyonlar

ÖZET

Hava kirliliği her yıl 3 milyona yakın insanın ölümüne neden olmaktadır. Bu değer, dünyadaki yıllık ölüm oranının % 5'ine karşılık gelmektedir. Literatürde il bazında konutların yıllık yakıt ve elektrik tüketimi resmi olarak kayıt altına alınan verilerle sera gazı emisyonları hesaplamaları yapılmaktadır. Bu hesaplamalarda ısınma, sıcak su, ev tipi eşyaların (buzdolabı, klima, çamaşır ve bulaşık makinası, ütü, fırın vb) tükettiği enerji ayrımı yapılmamaktadır. Bu çalışmada İzmir ili için farklı duvar tipi, yakıt ve yalıtım malzemeleri göz önüne alınarak ısıtma amaçlı enerji gereksinimi ve kişi başı emisyonlar yeni bir yöntem kullanılarak hesaplanmıştır. Isıtma dönemi birim alandan salınan karbondioksit miktarı (IDBASC) ve ısıtma dönemi birim alandan salınan kükürtdioksit miktarı (IDBASKM) duvar, yakıt ve yalıtım malzemesi cinsine göre ve yalıtımsız olarak karşılaştırılmaları yapılarak optimum yalıtım kalınlığı (OYK)'nın çevre ve enerji üzerindeki etkisi İzmir ili için hesaplanmıştır. Farklı yakıt, izolasyon malzemesi ve duvar şekline bağlı olarak enerji talebi ve IDBASC azalmanın %76 seviyesine ulaşabileceği belirlenmiştir. Isıtma dönemi kişi başı karbondioksit miktarı (IDKBCM) ve ısıtma dönemi kişi başı kükürtdioksit miktarı (IDKBKM) olmak üzere iki yeni yaklaşım daha getirilmiştir. 1TDYD'da XPS ile OYK'na göre ve yakıt olarak kömür kullanılması durumunda; IDKBCM'nın 836 kg/kişi yıl, IDKBKM yalıtımsız bir dairede 7196 kg kişi/ ısıtma dönemi, OYK'na göre 1727 kg kişi/ ısıtma dönemi hesaplanmıştır.

Calculation amount of carbon dioxide and sulfur dioxide per capita area, per unit area for the heating period: Example of Izmir

H I G H L I G H T S

- Optimum insulation thickness, payback times, energy saving analysis for İzmir based on two different wall types and three fuel types
- Analysis the amount of carbon dioxide and sulfur dioxide for the heating period outdoor wall unit area
- Heating period per capita carbon dioxide and sulfur dioxide analysis

Article Info

Research Article
Received: 29.04.2020
Accepted: 20.07.2020

DOI:

10.17341/gazimmfd.728927

Keywords:

Optimum insulation
thickness,
heating period,
unit area emissions,
per person emissions

ABSTRACT

The damage to the environment caused by fossil-derived fuels is very high. Each year air pollution causes the death of close to 3 million people. This value is equivalent to 5% of the global annual death rate. In the literature, greenhouse gas emission calculations are made with data officially recorded from annual fuel and electricity consumption in housing on a provincial basis. These calculations do not differentiate energy consumed for heating, hot water or domestic appliances (fridge, air conditioning, washing machines, dishwashers, iron, oven, etc.). This study calculated energy requirements for heating and per person emissions with a new method taking account of different wall types, fuel and insulation material for İzmir province. The carbon dioxide amount released per unit area in the heating period (CDUAHP) and sulfur dioxide released per unit area in the heating period (SDUAHP) were compared according to wall, fuel and insulation material types and without insulation. The effect of optimum insulation thickness (OIT) on the environment and energy was calculated for İzmir. It was determined that with different fuel, isolation material and wall types, energy demand and CDUAHP reductions could reach 76% levels. Two new approaches of carbon dioxide amount per person in the heating period (CDPPHP) and sulfur dioxide amount per person in the heating period (SDPPHP) were developed. For 1TEIW with XPS according to OIT and coal as fuel, the CDPPHP was 836 kg/person year, while the SDPPHP for an uninsulated apartment was 7196 kg/person heating period, with 1727 kg person/heating period calculated according to OIT.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: mustafaerturk@subu.edu.tr / Tel: +90 264 616 0221

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Küresel bazda baş döndürücü hızla artan enerji ihtiyacı tüm dünya milletlerinin başlıca sorunları arasında yer almaktadır. Enerji sırasıyla sanayi, bina, ulaştırma ve tarım olmak üzere dört sektörde ağırlıklı olarak sarf edilmektedir. Yapılarda sarf edilen enerjinin çoğu ısıtma veya soğutma amaçlı kullanılması, artan enerji fiyatları bina dış duvarlarında yalıtımı cazip hale getirmektedir. Enerji tüketiminin artmasına bağlı fazla yakıt tüketimi ekonomik kayba, zararlı baca gazı emisyonlarını artırıp hava kirliliğine ve tüm insanlık için tehdit oluşturan küresel ısınma miktarını artırmaktadır. Türkiye’de konut ve yapı sektöründe tüketilen enerji miktarı toplam enerji tüketiminin % 35’ine tekabül etmektedir. Konut ve yapı sektöründeki bu tüketim değeri bilinçli yalıtımla azaltılabilir [1]. Küresel olarak teknolojiye hızlı değişim bireylerin lüks konutlara olan ilgisini artırması; konut stokunun artmasına, yeşil sahaların azalmasına, fosil yakıt tüketiminin artmasına neden olmaktadır. Bu durum atmosfer havası kirliliği, küresel ısınma ve doğal enerji kaynaklarını azaltma gibi problemlere neden olmaktadır. Dünya milletleri bu sorunları sürdürülebilir olarak çözmek için küresel bazda uzun, orta ve kısa vadeli sözleşmeler imzalamaktadır. Türkiye küresel bazda kısıtlamalar getiren Kyoto Protokolü’ne imza atan ülkeler arasında bulunmaktadır[2]. Türkiye’nin yüksek enerji açığı olmasına rağmen, her geçen gün artan teknolojik yatırımlar, şehirleşme, yaşam kalitesinin yükselmesi, göç ve diğer faktörler enerji tüketimini sürekli olarak artırmaktadır. Ülkemizin enerji açığının azaltılması için enerji tasarrufuna ve verimliliğine yönelik önlemlerin alınması gerekmektedir. Tekniğine uygun yalıtımla binalardaki hem enerji talebi azalacak hem de baca gazları azalacaktır. Yalıtım kalınlığının artması ısı kaybını azaltırken, yalıtım maliyetini artırmaktadır. Yalıtım hesaplamalarında yalıtım malzemesi kalınlığı arttıkça yıllık enerji giderleri de belli bir noktaya kadar azalmakta sonrasında artış göstermektedir. Yıllık enerji giderlerinin en az olduğu noktaya OYK denilmektedir. Literatürde farklı il ve yalıtım malzemeleri ve borular için OYK hesaplamaları yapılmıştır. Kurt [3] Karabük ili için yaptığı çalışmada dış duvarlarda hava boşluğu ile yalıtım malzemesinin birlikte kullanılmasıyla OYK, enerji tasarrufu ve emisyonlar üzerindeki etkisini araştırmıştır. Gürel vd. [4] Karabük’te iki yakıt türüne göre dış duvar OYK’nın ekonomik ve çevresel analizini araştırmışlardır. Öztuna [5] Edirne şehrinde altı değişik yakıt türü ve iki değişik dış duvar bileşeni için optimum yalıtım kalınlığının enerji tasarrufuna etkisini araştırmıştır. Enerji tasarrufu miktarının %24 ile %47 arasında değiştiğini bulmuştur. Gürel ve Daşdemir [6] Türkiye’deki dört farklı iklim bölgesindeki binaların OYK göre yalıtılmasıyla baca gazı emisyonlarının % 65-%75 oranında azalacağını hesaplamışlardır. Bolattürk[7] optimum yalıtım kalınlıkları hesaplamalarında güneş radyasyonunu da dikkate alarak OYK belirlemiştir. Bu çalışma sonucunda; sıcak iklim kesimlerindeki yapılarda OYK’nın soğutma kapasitelerine göre hesaplanması gerektiğini açıklamıştır. Bolattürk [8] başka bir çalışmada Türkiye’nin dört farklı iklim bölgesi ve on altı farklı iline

yönelik OYK ve geri ödeme sürelerini (GÖS) hesaplamıştır. Daşdemir ve Kurt [9] Adıyaman ili için dış duvarda yalıtım malzemesiyle birlikte hava boşluğunu kullanılmasıyla kişi başına düşen emisyon miktarı 2,13 ton CO₂ seviyesinden 0,45 ton CO₂ seviyesine düştüğünü ortaya koymuşlardır. Öztürk vd. [10] donmuş ve soğuk muhafaza odaları için OYK’larını ömür maliyet analiz yöntemine göre hesaplamışlardır. Ertürk vd, [11] ısıtma ve soğutma uygulamaları için farklı yakıt, yalıtım malzemesi ve yapı bileşenleri için optimum yalıtım kalınlığına bağlı enerji analizleri gerçekleştirmiştir. Mahlia ve İqbal [12] Maldivler’de OYK’na göre yalıtılmış binalarda farklı yakacak türleri için baca gazı emisyon miktarlarındaki azalmayı hesaplamışlardır. Dış duvarda hava boşluğu kullanılması durumunda optimum yalıtım kalınlığının düştüğü, CO₂ emisyonunda %25 oranında azalma olduğunu tespit etmiştir. Kaynaklı ve Yamankaradeniz [13] derece-gün sayısının belirlenmesi ve dış duvarlara uygulanacak OYK hesaplamalarına yeni bir yaklaşım sunmuşlardır. Yalıtımla ilgili çalışmaların temel amacı enerji tüketimini ve baca gazı salınımlarını azaltmaktır.

Literatürde il bazlı karbon ayak izi hesaplamaları birincil ve ikincil ayak izi olmak üzere yapılmaktadır. Birincil ayak izi; evsel yıllık toplam enerji tüketimi ve ulaşım olmak üzere fosil kaynaklı yakıtların yanmasıyla doğrudan ortaya çıkan CO₂ miktarıdır. İkincil ayak izi; günlük hayatta kullandığımız ürünlerin imalatı ve en sonunda bozulmalarıyla ilgili olan dolaylı CO₂ miktarıdır[14]. Birincil karbon ayak izi hesaplaması açıklamasından anlaşılacağı üzere; literatürde il bazlı sera gazı hesaplamaları yaz ve kış dönemi ayrımı yapılmadan, kayıt altına alınan yıllık yakıt ve elektrik tüketimine göre yapılmaktadır. Ayrıca evlerde kullanılan beyaz eşyaların (buzdolabı, klima, çamaşır ve bulaşık makinası, ütü, fırın, süpürge vb) yıllık tüketmiş olduğu enerjide hesaplamalara dahil edilmektedir. Bu çalışmada sadece ısıtma sezonunda bina dış duvarlarında kaybolan ısıtma enerjisi için birim alan için ve kişi başı emisyonlar İzmir için literatüre dört farklı yaklaşım olarak sunulmuştur. Bu yaklaşımların literatürdeki diğer çalışmalardan farkı:

- i) Bu çalışmada ısıtma dönemindeki enerji ihtiyacına bağlı emisyon miktarları iki farklı; duvar, yalıtım, yakıt çeşidine göre literatüre IDBASCN ve IDBASKM yaklaşımı getirilmiştir.
- ii) Bu çalışmada ısıtma dönemindeki enerji ihtiyacına bağlı kişi başı emisyon miktarları iki farklı; duvar, yalıtım, yakıt çeşidine göre literatüre IDKBCM ve IDKBKM yaklaşımı getirilmiştir.
- iii) Literatürde ısıtma dönemi için birim alan enerji ihtiyacı ve kişi başı emisyon salınım miktarı olmaması konut ve kişi bazlı karbon tüketimi hesaplamalarında sorunlar yaşanmaktadır. Bu çalışmada farklı yakıt, duvar ve izolasyon malzemesine göre birim alan enerji tüketimine göre ve kişi başı salınımların bilinmesi konut ve kişi bazlı hesaplamalarındaki sorunları azaltacaktır.
- iv) Bu çalışmada il bazında karbon tüketim vergisinin ayrıntılı olarak belirlenmesine neden olacaktır. Bu durum

daha az karbon vergisi ödenecek illere ve daha küçük konutlar yapılması talebini artıracaktır.

İzmir için literature ilk defa kazandırılan bu yaklaşım dünyanın herhangi bir yerindeki şehir içinde uygulanabilir.

2. YÖNTEM (METHOD)

İzmir için yapılan bu çalışma üç aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada; iki farklı duvar (1TDYD, 2TSD), üç farklı yalıtım malzemesi (XPS, EPS, Taş yünü), yakıt olarak doğalgaz ve kömür için 1-23 numaralı eşitliklerle ayrıntılı hesaplamalar yapılarak OYK'ları tespit edilmiştir. Bu hesaplamalarla yakıt, duvar ve yalıtım malzemesi tipine göre birim alan için; yalıtım, yakıt, toplam maliyetler, geri ödeme süreleri, yıllık kazançlar bulunmuştur. İkinci aşamada; ilk defa İzmir için yapılarak IDBASC ve IDBASKM olarak literatüre iki yeni yaklaşım kazandırılmıştır. Bu aşamada; 1 kg yakıtın (doğal gaz ve kömür) yanmasıyla atmosfere salınacak emisyonlar duvar, yakıt, yalıtım malzemesi cinsine göre ve yalıtımsız olarak karşılaştırılmaları yapılarak OYK'nın çevre ve enerji üzerindeki etkisi açıklanmıştır. Üçüncü aşamada; il bazında ısıtma dönemi IDKBCM ve IDKBKM olmak üzere literatüre iki yeni yaklaşım (Eş. 22 ve 23) daha literatüre kazandırılmıştır. Bu eşitlik parametreleriyle dünyanın herhangi bir yerindeki il için IDKBCM ve IDKBKM kolaylıkla hesaplanabilecektir.

2.1. Hesaplama Kullanılan Varsayımların Açıklanması (Disclosure of assumptions used in calculations)

Toplam dış duvar alanının %12'sine eşit veya daha küçük toplam pencere alanı şartına sahip binalarda ısı izolasyonu şartı aranmaz. Yapıların ısı kaybeden toplam düşey dış yüzey alanının % 60'ı ve üzerinde cam oranına sahip yapılarda, pencere ısı iletim katsayısının 2.1 W/m²K ve küçük olarak tasarlandığında, bu binalar standarda uygun kabul edilir [15]. TS 825'te (binalarda ısı yalıtım kuralları) bina dış kabuğu bileşenleri alanlarıyla pencerelerle ilgili yönetmelik vardır. Kolon, giriş alanlarıyla ilgili yönetmelik bulunmamaktadır. Türkiyede bulunan konutların il bazında toplam dış duvar alanıyla ilgili veri bulunmamaktadır. Bu çalışmada İzmir ili toplam dış duvar alanı hesaplaması için; ilde tek katlı ve çok katlı olarak inşa edilen binaların 166.6 m², ayırık nizam, kat yüksekliği 3m, brüt dış duvar alanının % 20'si kolon, giriş alanı, % 20'si de balkon kapısı, pencere alanı olarak yapıldığı, taban ve tavan döşemeleri ısı kayıplarının ihmal edildiği, brüt 166.6 m² toplam dış duvar alanının %20'si (33.3 m²) kolon ve giriş alanının, %20'si (33.3 m²) balkon kapısı ve pencere alanının brüt dış duvar alanından çıkarılmasıyla net toplam dış duvar alanı (NTDDA) 100 m² olarak olduğu varsayılmıştır. Hesaplamalar yalıtımsız ve OYK'na göre yalıtım yapılmış olduğu varsayılarak IDKBCM ve IDKBKM' ları Şekil 1'deki iki duvar tipi (1TDYD, 2TSD) iki yakıt türü (kömür, doğalgaz) ve üç yalıtım malzemesi (XPS, EPS, Taşyünü) için yapılmıştır. Çalışmada kullanılan iki duvarın kesit resmi Şekil 1'de görülmektedir. Bu şekildeki duvar bileşenleri; (a) iç sıva (3 cm), (b) tuğla (13.5cm), (c) izolasyon malzemesi, (d) dış sıva (2cm), (e) tuğla (8cm) olarak görülmektedir.

2.2. Optimum Yalıtım Kalınlığının (OYK) Enerji Tüketimi ve Çevre Üzerindeki Etkisinin Açıklanması (Disclosure of the Impact of OIT on Energy Consumption and the Environment)

Çalışmanın ikinci aşamasında ısıtma dönemi dış duvar birim yüzey alanı için enerji ihtiyacı 1-5 numaralı eşitliklerle, 6-12 numaralı eşitliklerle OYK, GÖS, 13-21 numaralı eşitliklerle de IDBASC ve IDBASKM ayrıntılı olarak hesaplanmıştır.

2.2.1. Isıtma dönemi için yalıtımlı ve yalıtımsız dış duvarda enerji ihtiyacının hesaplanması

(Calculation of energy requirements for insulated and uninsulated external wall for the heating period)

Binalardaki en fazla ısı kaybı ya da ısı kazancı dış duvarda olmaktadır. Dış duvardaki ısı kayıp ve kazançları binanın yönüne, konumuna, yalıtımlı olup olmamasına ve dış duvar bileşenlerinde kullanılan malzemelerin özelliğine göre farklı olmaktadır. Bu çalışmada, ısıtma için yıllık enerji ihtiyacı 1-5 numaralı eşitliklerle hesaplanmıştır. Dış duvar birim alanından transfer edilen ısı kaybı, Eş. 1'de verilmiştir [16].

$$q = U \cdot (T_b - T_o) \quad (1)$$

Eşitlikte, U dış duvar toplam ısı transfer katsayısı [W/m²K], T_b denge sıcaklığını [°C] ve T_o iç ortam sıcaklığı [°C] dir. Dış duvar toplam ısı transfer katsayısı Eş. 2 ile hesaplanmaktadır [17].

$$U = \frac{1}{R_i + R_w + R_y + R_d} \quad (2)$$

Eşitlikte; U dış duvar toplam ısı transfer katsayısını (W/m²K) R_i ve R_d sırasıyla duvar iç ve dış yüzeyinin ısı taşınım katsayılarıdır. R_w yalıtımsız duvar tabakasının toplam ısı transfer katsayısıdır. R_y kullanılan yalıtım malzemesinin ısı direncini, x yalıtım malzemesinin tabaka kalınlığını (m), k_y izolasyon malzemesinin ısı iletim katsayılarını [W/mK] göstermekte olup, Eş. 3 ile hesaplanmıştır [18].

$$R_y = \frac{x}{k_y} \quad (3)$$

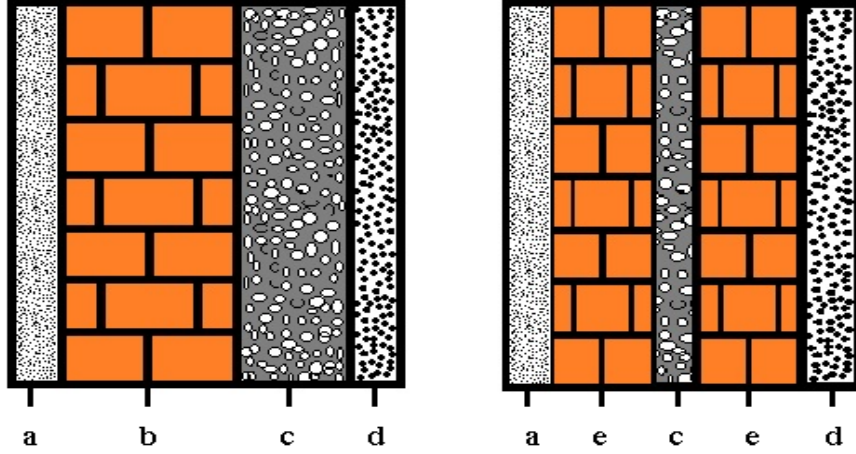
Yalıtımsız duvarın ısı direnci, R_w ile gösterilirse, izolasyonsuz dış duvarın toplam ısı transfer katsayısı Eş. 4 ile hesaplanır [18].

$$U = \frac{1}{R_w} \quad (4)$$

Bina dış duvarlarında yalıtımlı ve yalıtımsız olarak, ısıtma için harcanan yıllık enerji miktarı Eş. 5'te verilmiştir [20].

$$E_A = \frac{C_f \cdot U \cdot IDS}{LHV \cdot \eta} \quad (5)$$

Eşitlikte, C_f ; yakıt maliyetini, IDS ; ısıtma derece saat değerini, LHV ; yakıtın alt ısı değerini (J/m³), η ; ısıtma sistemi verimini ifade etmektedir. Tablo 1'de çalışmada kullanılan yakıtlara ait özellikler verilmiştir.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan İki farklı duvarın kesit görünüşleri (Cross-sections of two different wall types used in the study)

Tablo 1. Kullanılan Yakıtın Özellikleri (The properties of the fuel used)

Yakıt Cinsi	Kimyasal Formül [22]	Alt Isıl Değer [23]	Isıl Verim [22]	Fiyat
Kömür	$C_{5.85}H_{5.26}O_{1.13}S_{0.008}N_{0.077}$	29.260×10^6 J/kg	0.65	0.821221 TL/kg [21]
Doğal Gaz	$C_{1.05}H_{4.0}O_{0.034}N_{0.022}$	34.285×10^6 J/m ³	0.93	1.066443 TL/m ³ [22]

2.2.2. Ömür maliyet analizi yöntemine göre Optimum Yalıtım Kalınlığının hesaplanması (Calculation of OIT according to the life cycle analysis method)

OYK hesaplamalarında, toplam ısıtma maliyetinin minimum olduğu noktada OYK ve yakıt maliyeti belirlenmektedir [24]. OYK hesaplamaları için yaşam döngüsü yöntemi kullanılmaktadır [25]. Bu çalışmada, yaşam döngüsü hesaplama yöntemine göre 6-12 numaralı eşitliklerle OYK belirlenmiştir. Toplam ısıtma maliyeti hesaplamalarında bina yaşam müddeti (N) ile şimdiki değer unsuru (P_i) birlikte dikkate alınmıştır. P_i ; faiz oranı (i) ve enflasyon oranına (d) bağlı olup Eş. 6'ya göre hesaplamalar yapılmaktadır [26]. Hesaplamalar için i , d %9 alınmıştır [26].

$$i = d \text{ ise } P_i = \frac{N}{1+i} \quad (6)$$

İzolasyonun ilk yatırım maliyeti (P_2), işletme ve bakım giderleri olup, Eş. 7'den hesaplanmıştır [28].

$$P_2 = I + P_i \cdot M_s - \frac{R_v}{(1+d)^N} \quad (7)$$

Eşitlikte, M_s ; yıllık bakım, işçilik maliyetinin ilk maliyete oranını, R_v ; perakende satış fiyatının ilk satış fiyatına oranını göstermektedir. Bu durumda bakım ve işçilik maliyetleri sıfır kabul edilirse P_2 değeri 1 alınabilir. İzolasyon maliyeti (C_y) ise, Eş. 8 ile hesaplanmıştır [29]. Eşitlikte İzolasyon malzemesinin birim hacim fiyatı (C_i), İzolasyon malzemesi tabaka kalınlığı (x) olarak sembolize edilmiştir.

$$C_y = C_i \cdot x \quad (8)$$

Bina duvarı birim yüzeyinden elde edilecek enerji tasarrufu (S) Eş. 9'da verilmiştir [30].

$$S = P_1 \cdot E_A - P_2 \cdot C_y \quad (9)$$

Yalıtılmış bir binanın toplam ısıtma maliyeti (C_{top}) Eş. 10'da verilmiştir [31].

$$C_{top} = P_1 E_A + P_2 C_y \quad (10)$$

Yalıtım da optimum nokta yıllık maliyetin en düşük olduğu, enerji tasarrufunun en yüksek olduğu nokta olarak ifade edilebilir. Eş. 11 yardımıyla Optimum yalıtım kalınlığı hesaplanmaktadır [28]. Hesaplamalarda kullanılacak parametreler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Hesaplamalarda Kullanılan Değişkenler (Variables used in the calculations)

Parametre	Değer
IDS (İzmir) (°C saat)[32]	28512
Yakıt Özellikleri	Tablo 1
İzolasyon	
XPS	
k[33]	0.033 W/mK
EPS	
k[34]	0.036 W/mK
Taş yünü	
k[33]	0.04 W/mK
1TDYD	
R_{wt}	0.508 m ² K/W
2TSD	
R_{wt}	0.696 m ² K/W
Ömür, N	10 yıl
P_1	9
P_2	1

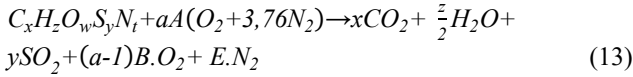
$$X_{opt} = \left(\frac{IDS \cdot C_f \cdot P_1 \cdot k_y}{P_2 \cdot LHV \cdot C_i \cdot \eta} \right)^{1/2} - k_y \cdot R_{wt} \quad (11)$$

Yalıtımın geri ödeme süresi Eş. 12’de verilmiştir [31].

$$GÖS = \frac{LHV \cdot C_i \cdot P_2 \cdot \eta \cdot (R_{wt} \cdot x + R_{wt}^2 \cdot k_y) \cdot (1 + i)}{C_f \cdot IDS} \quad (12)$$

2.2.3. Baca gazı emisyon hesaplamaları (The calculations of exhaust emission)

Bina dış duvarlarına uygulanacak olan izolasyon, enerji tasarrufunun yanı sıra baca gazı emisyonlarını azaltıp atmosferin kişi başına düşen baca gazı emisyonlarını da azaltacaktır. İzmir için iki tip duvar, iki yakıt türü için yalıtımsız ve OYK’na göre XPS, EPS, Taşyünü ile yalıtım yapılmış olduğu varsayılarak IDBASCМ ve IDBASKM’ları Eş. 13-21’le hesaplanmıştır. Kullanılan yakıtların genel yanma eşitliği Eş. 13’te verilmiştir [34].



A ve B sabitleri oksijen denge eşitliklerinden (Eş. 14, 15 ve 16) hesaplanabilir [34].

$$A = \left(x + \frac{z}{4} + y - \frac{w}{2} \right) \quad (14)$$

$$B = (\alpha - 1) \left(x + \frac{z}{4} + y - \frac{w}{2} \right) \quad (15)$$

$$E = 3.76\alpha \left(x + \frac{z}{4} + y - \frac{w}{2} \right) + \frac{t}{2} \quad (16)$$

Eş.12’de CO ve NO_x emisyonları ihmal edilmiştir. Eş. 17, 18 ile 1 kg yakıtın yanmasıyla açığa çıkacak emisyon oranları hesaplanmıştır [35].

$$M_{CO_2} = \frac{x \cdot M_{CO_2}}{M_{yakıt}} \quad (kg \ CO_2 / kg \ yakıt) \quad (17)$$

$$M_{SO_2} = \frac{y \cdot M_{SO_2}}{M_{yakıt}} \quad (kg \ SO_2 / kg \ yakıt) \quad (18)$$

Yıllık yakıt tüketimine göre birim yüzeydeki CO₂ ve SO₂ emisyon miktarı Eş. 19, Eş. 20’de verilmiştir[36].

$$M_{CO_2} = \frac{44 \cdot x}{M_{yakıt}} E_A \quad (kg \ CO_2 / m^2 - yıl) \quad (19)$$

$$M_{SO_2} = \frac{64 \cdot y}{M_{yakıt}} E_A \quad (kg \ SO_2 / m^2 - yıl) \quad (20)$$

Eş. 19 ve 20’deki M yakıtın mol ağırlığı olup Eş. 21 ile hesaplanmıştır.

$$M_{yakıt} = 12x + z + 16w + 32y + 14t \quad (kg/mol) \quad (21)$$

2.3. Isıtma Dönemi Kişi Başı Karbondioksit Miktarı (IDKBCM) ve Isıtma Dönemi Kişi Başı Kükürtdioksit Miktarı (IDKBKM) Hesaplama Yönteminin Açıklanması (Explanation of Calculation Methods for Carbon Dioxide Amount Per Person in the Heating Period (CDPPHP) and Sulfur Dioxide Amount Per Person in the Heating Period (SDPPHP))

2011 yılı OECD ülkeleri sera gazı salınımı değerlerine göre, CO₂ salınımları en fazla ülke 6.7 milyar ton ile ABD iken, Türkiye 422 milyon ton ile dokuzuncu sırada, OECD devletleri fert başı sera gazı salınımları ortalaması 12.8 ton CO₂ eşdeğeridir. Avustralya fert başı 24.7 ton CO₂ eşdeğeriyle birinci sırada yer alırken OECD ülkeleri arasında Türkiye 5.7 ton CO₂ eşdeğer ile en az sera gazı emisyonu salınımı yapan ülke arasındadır [37].

Bu çalışmada literatüre iki yeni yaklaşım (IDKBCM, IDKBKM) getirilmiştir. Bu yaklaşımlar Eş. 22 ve 23’de açıklanmıştır.

$$IDKBCM = \frac{IDBASCМ \cdot NTDDA \cdot İTKS}{İNS} \quad (kg /kişi ısıtma dönemi) \quad (22)$$

Bu eşitlikte il toplam konut sayısını (İTKS), il nüfus sayısını (İNS) ifade etmektedir.

İkinci yaklaşımda ise SO₂ emisyonunu bulmak için, IDKBKM ile literatüre ikinci bir yaklaşım Eş. 23 getirilmiştir.

$$IDKBKM = \frac{IDBASKM \cdot NTDDA \cdot İTKS}{İNS} \quad (kg /kişi ısıtma dönemi) \quad (23)$$

Eş. 22’deki IDBASCМ Tablo 5’te her iki yakıt için ayrı ayrı olarak Eş. 23’teki IDBASKM’ları yalıtımsız, farklı yalıtım kalınlığına (2-24cm), 2 duvar tipi, üç farklı yalıtım malzemesine ve iki yakıt türüne göre 183 farklı hesaplama yapılmıştır. Bu hesaplamalar yazılan visual basic tabanlı yazılımla yapılmıştır. Yazılım sonuçları analiz edilerek Tablo 6-8 ve Şekil 2-7’de verilmiştir.

İzmir İTKS’la ilgili veri olmadığı için Türkiye İstatistik Kurumu Balıkesir Bölge Müdürlüğüne 2018 yılı hane halkı sayısı için resmi yazıyla başvuru yapılmıştır. Başvuru 95083221-622.03-E.120 sayı numarasıyla resmi excell dosyası olarak teslim edilmiştir. Bu excell dosyasında; “31 Aralık 2018 Tarihli Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları İllere Göre Hanehalkı Sayısı” İzmir hane halkı sayısı (Kent Nüfusu 20.001 ve üzeri yerleşim yerlerini (il/ilçe merkezi, belde ve köyler) 1392267 olduğu belirtilmiştir. Hane halkı sayısı İzmir İTKS olarak hesaplamalarda kullanılmıştır. İzmir nüfus sayısı 4320579’dır[38]. İzmir için yapılan bu çalışmada; İTKS 1392267 konut, İNS 4320579 kişi olarak alınmıştır.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

İki farklı dış duvar, yakıt türü ve üç farklı izolasyon malzemesi için hesaplama ve analiz sonuçları üç aşamada ayrıntılı olarak tablo ve grafiklerle açıklanmıştır.

3.1. Optimum Yalıtım Kalınlığı (OYK), Yakıt Maliyeti, Toplam Maliyet, Geri Ödeme Süresi (GÖS) ve Yıllık Kazanç Hesaplamaları Sonuçları

(Results of optimum insulation thickness (OIT), fuel costs, total costs, return on investment (ROI) and annual gain calculations)

Bu bölümde İzmir ili iki duvar tipi (1TDYD ve 2TSD) için; OYK, yakıt ve toplam maliyet, GÖS ve yıllık kazanç hesaplamalarında, yakıt olarak doğalgaz ve ithal kömür, izolasyon malzemesi olarak da, XPS, EPS, ve Taş yünü seçilmiştir. Her iki yakıt türü için de ayrı ayrı hesaplamalar yapılmış, yapılan bu hesaplamalar iki duvar tipiyle karşılaştırılmıştır. Seçilen iki farklı dış duvar yapısı için, OYK'ları, GÖS'leri, toplam maliyetler ve senelik kazançları hesaplama sonuçları kömür için Tablo 3'de, doğalgaz için Tablo 4'te verilmiştir. Tablo 3'den görüleceği üzere 2TSD

için optimum yalıtım kalınlığı, yapı bileşenlerinin ısı iletim katsayıları ve duvar bileşenlerinin farklı olmasından dolayı 1TDYD'dan daha düşük çıkmıştır.

Tablo 4'te 1TDYD ve 2TSD için en küçük OYK'ları sırasıyla 0.048m ve 0.042m ile XPS'de olduğu, GÖS'inde taş yünü olduğu görülmektedir. Her iki duvar tipi içinde taş yünü OYK'nın en büyük olmasına rağmen GÖS'nin küçük çıkmasının nedenleri toplam maliyetlerin düşük, kazançların yüksek olmasından dolayıdır.

Dıştan XPS yalıtımlı duvar için yakıt olarak doğalgaz kullanılması durumunda OYK 4.8 cm olurken yakıt olarak kömür seçilmesi halinde OYK 5.4 cm, 2TSD OYK 4.2 cm olmaktadır. Yakıt türünün optimum yalıtım kalınlığına bu denli değiştirmesinde yakıt maliyeti, yakıt alt ısı değeri, yakıt verimi belirleyici bir etken olmaktadır. Tablo 3 ve Tablo 4'te her iki yakıt ve duvar tipi, üç yalıtım malzemesi çeşidine göre küçükten büyüğe sırasıyla; OYK'ğı XPS, EPS ve taş yünü, toplam maliyet ve GÖS'de taş yünü EPS, XPS olduğu, yıllık kazancında XPS, EPS ve taş yünü olduğu görülmektedir.

Tablo 3. İki farklı dış duvar tipi ve kömür için üç farklı izolasyon malzemesine göre hesaplama sonuçları
(Calculation results for two different wall types and three different insulation materials for coal)

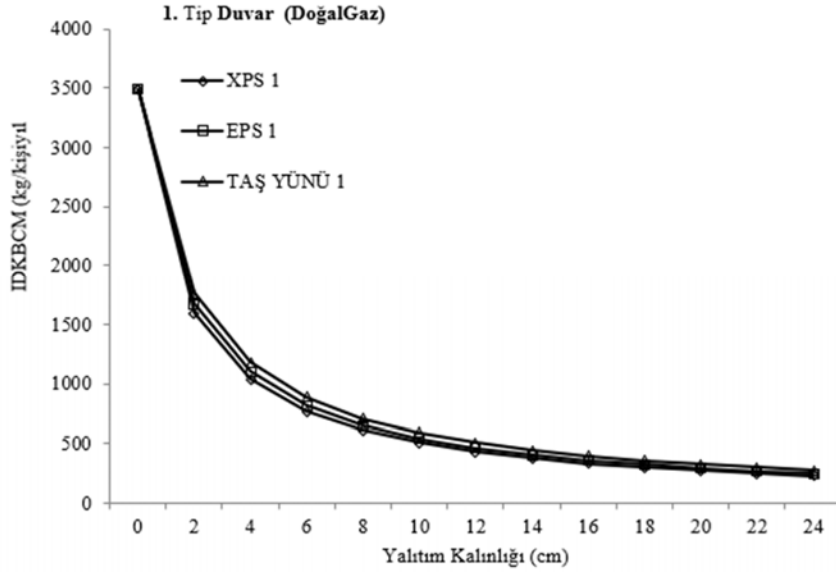
Yakıt Türü	Duvar Tipleri					
	1TDYD			2TSD		
Kömür	XPS	EPS	Taş Yünü	XPS	EPS	Taş Yünü
Yalıtım Maliyeti (TL/m ² yıl)	14.580	13.860	13.320	12.690	12.320	12.060
Yakıt Maliyeti (TL /m ² yıl)	18.857	17.908	17.149	19.072	17.959	17.054
Toplam Maliyet (TL /m ² yıl)	33.437	31.768	30.469	31.762	30.279	29.114
GÖS (yıl)	2.400	2.247	2.133	3.252	3.069	2.938
Kazanç (TL/m ² yıl)	46.162	47.831	49.130	26.337	27.819	28.984
Optimum Yalıtım Kalınlığı (m)	0.054	0.063	0.074	0.047	0.056	0.067

Tablo 4. İki farklı duvar tipi ve doğalgaz için üç farklı yalıtım malzemesine göre hesaplama sonuçları
(Calculation results for two different wall types and three different insulation materials for natural gas)

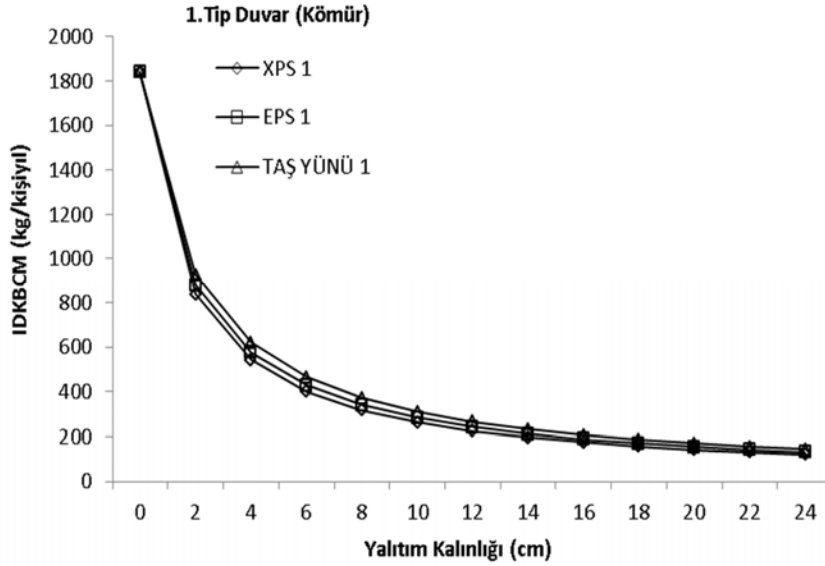
Yakıt Türü	Duvar Tipleri					
	1TDYD			2TSD		
Doğalgaz	XPS	EPS	Taş Yünü	XPS	EPS	Taş Yünü
Yalıtım Maliyeti (TL/m ² yıl)	12.960	12.540	12.060	11.340	11.000	10.800
Yakıt Maliyeti (TL/m ² yıl)	17.678	16.590	15.893	17.623	16.641	15.799
Toplam Maliyet (TL/m ² yıl)	30.638	29.130	27.953	28.963	27.641	26.599
Geri Ödeme Süresi (Yıl)	2.560	2.425	2.301	3.519	3.313	3.172
Kazanç (TL/m ² yıl)	37.658	39.166	40.343	20.885	22.207	23.249
Optimum Yalıtım Kalınlığı (m)	0.048	0.057	0.067	0.042	0.050	0.060

Tablo 5. İki duvar ve yakıt türüne göre, yalıtımsız ve optimum yalıtım kalınlığına göre IDBASC M
(According to two wall and fuel types, uninsulated and according to optimum insulation thickness IDBASC M)

Duvar ve Yakıt Türü	IDBASC M (kg/m ² ısıtma dönemi)			
	Yalıtımsız	Optimum Yalıtım Kalınlığına Göre		
		XPS	EPS	Taş Yünü
1TDYD Kömür	118.462	28.383	26.728	25.381
1TDYD Doğalgaz	69.297	16.126	15.133	14.497
2TSD Kömür	86.464	28.064	26.652	25.521
2TSD Doğalgaz	45.470	16.075	15.179	14.411



Şekil.2. Doğal gaz 1TDYD için izolasyon malzemesi cinsi ve kalınlığı için IDKBCM

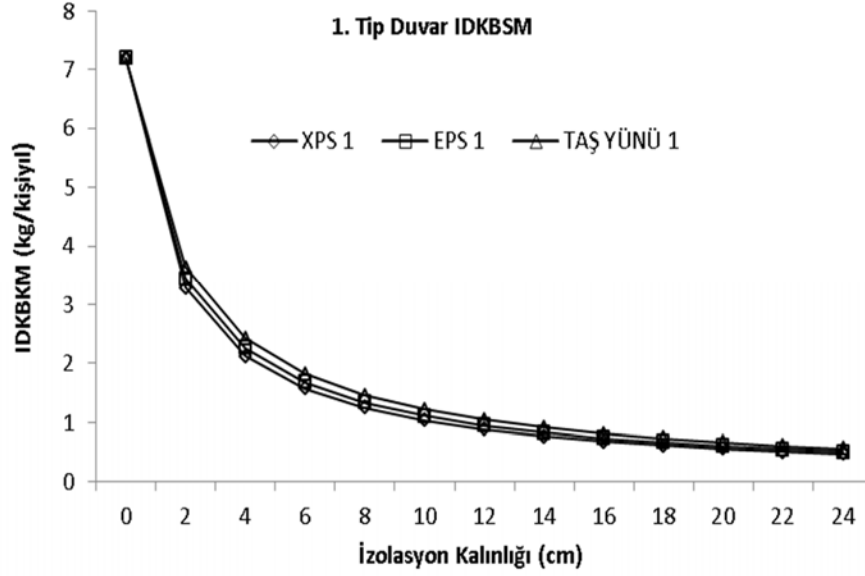


Şekil.3. Kömür 1TDYD için izolasyon malzemesi cinsi ve kalınlığı için IDKBCM (IDKBCM According to the type and thickness of insulation material for coal 1TDYD)

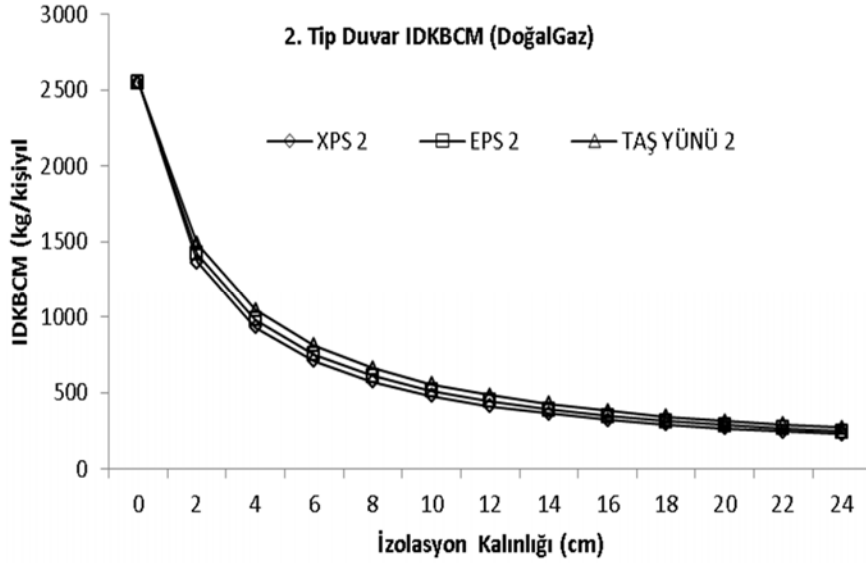
3.2. Farklı Yalıtım, Duvar, Yakıt Cinsine Göre Emisyon Hesaplamalarının Yalıtım Durumuna Göre Hesaplanması (Calculation of emissions according to different insulation, wall and fuel types)

Yakıt tüketimini azaltmak için yapılan yalıtımla hem enerji tasarrufu yapılmakta hem de yakıt kaynaklı emisyonlar aynı ölçüde azaltılmaktadır. Kömürün yanmasıyla atmosfere CO₂ ve SO₂, doğal gazın yanmasıyla da SO₂ salımı olmaktadır. Çalışmanın ikinci aşaması ilk defa İzmir için yapılarak literatüre kazandırılmıştır. Bu aşamada; 1 kg yakıtın yanmasıyla atmosfere salınacak emisyonlar duvar, yakıt ve yalıtım malzemesi cinsine göre ve yalıtımsız olarak karşılaştırılmaları yapılarak OYK'nın çevre ve enerji

üzerindeki etkisi açıklanmıştır. Hesaplamalar sonrasında ortaya çıkan sonuçlar analiz edilerek CO₂ ve SO₂ salımları Tablo 5'te verilmiştir. Bu tabloda görüleceği üzere yalıtımsız 1TDYD'a sahip bir binada yakıt olarak doğalgaz kullanılması durumunda IDBASC_M 69.297 kg/m² ısıtma dönemi olduğu, bu binanın XPS ile OYK'na göre yalıtılması durumunda IDBASC_M 16.126 kg/m² ısıtma dönemi olduğu, oransal olarak %76 azalacağı görülmektedir. Bu durum yakıt olarak kömür kullanıldığında ise IDBASC_M 118.462 kg/m² ısıtma dönemi olduğu görülmektedir. 2TSD'a sahip yalıtımsız bir binada yakıt olarak doğalgaz kullanılması durumunda IDBASC_M 45.470 kg/m² ısıtma dönemi, bu binanın XPS ile OYK'na göre yalıtılması durumunda IDBASC_M 16.075 kg/m² ısıtma dönemi, yakıt olarak kömür



Şekil.4. Kömür 1TDYD için izolasyon malzemesi cinsi ve kalınlığı için IDKBKM (IDKBKM According to the type and thickness of insulation material for coal 1TDYD)



Şekil.5. Doğal gaz 2TSD tipi için, izolasyon malzemesi cinsi ve kalınlığı için IDKBCM (2TSD type for natural gas, according to the type and thickness of insulation material IDKBCM)

kullanıldığında yalıtımsız olarak IDBASC_M 86.464 kg/m² ısıtma dönemi, OYK'na göre EPS ile yalıtılması durumunda IDBASC_M miktarı 26.652 kg/m² ısıtma dönemi olduğu Tablo 5'te görülmektedir.

Tablo 6'da 1 kg kömürün IDBASK_M'ları yalıtımlı ve yalıtımsız durum için sunulmuştur. Tablo 6'da görüleceği üzere yalıtımsız 1TDYD'a sahip bir binada yakıt olarak kömür yakılması durumunda IDBASK_M 0.240 kg/m² ısıtma dönemi olduğu görülmektedir. Bu binanın XPS ile OYK'na göre yalıtılması durumunda IDBASK_M 0.058 kg/m² ısıtma dönemi olduğu, oransal olarak da yine %76 azalacağı Tablo 6'da görülmektedir.

3.3. Yalıtım Durumuna Göre Kömür ve Doğalgaz İçin Isıtma Dönemi Birim Alandan Salınan Karbondioksit Miktarı (IDBASC_M) ve Isıtma Dönemi Birim Alandan Salınan Kükürtdioksit Miktarı (IDBASK_M) Hesaplamaları (Calculation of carbon dioxide amount released per unit area in the heating period (CDUAHP) and sulfur dioxide released per unit area in the heating period (SDUAHP) for coal and natural gas according to insulation status)

Çalışmanın üçüncü aşamasında, ikinci aşamadaki IDBASC_M ve IDBASK_M kullanılarak İzmir için IDKBCM ve IDKBKM ile ilgili literatüre iki yeni yaklaşım daha getirilmiştir. Bu çalışmada literatüre kazandırılan Eş. 22 ve 23 yazılan PYTON bilgisayar programıyla IDKBCM ve

IDKBKM için 183 farklı senaryoya göre hesaplama ve analiz yapılmıştır. Hesaplama ve analiz sonuçları Tablo 7-9 ve Şekil 2-7'de verilmiştir.

Yakıt olarak doğal gaz, yalıtımsız ve on üç farklı kalınlıkta (2-24 cm) XPS, EPS, Taş yünü kullanıldığı varsayılarak IDKBKM ve kömür içinde IDKBKM, IDKBSM hesaplanıp analiz edilmiştir. Hesaplama ve analiz sonuçları doğal gaz için Tablo.7 ve Şekil 2'de, kömür için Tablo 8, 9 ve Şekil 3,4'de verilmiştir.

1TDYD sahip bir dairede doğal gaz için IDKBKM; yalıtımsız olarak 1839 kg/kişiyıl, OYK'na göre XPS ile yalıtılması durumunda ise 441 kg/kişiyıl olduğu, oransal olarak %76 azalacağı Tablo 7'de görülmektedir.

1TDYD için yakıt olarak doğal gaz, üç farklı yalıtım malzemesi (XPS, EPS, Taş Yünü) kullanıldığında IDKBKM'nin üç yalıtım malzemesi optimum yalıtım

kalınlıklarına kadar azalma değişim oranının yüksek olduğu, OYK'larından sonra ise bu azalma oranının çok düştüğü Şekil 2'de görülmektedir.

Tablo 8'de kömür için, yalıtımsız bir dairede IDKBKM; 3483.84 kg/kişiyıl OYK'na kadar yalıtım kalınlığı arttıkça emisyon miktarında azalma oranının büyük olduğu, OYK'dan sonra azalma oranının çok azaldığı görülmektedir. 1TDYD'da yalıtımsız olarak 3483.84 kg/kişiyıl olan IDKBKM OYK göre yalıtıldığında; XPS ile 837.83 kg/kişiyıl, EPS ile 788.97 kg/kişiyıl, Taş yünü ile 749.22 kg/kişiyıl olduğu hesaplanmıştır.

1TDYD için kömür, üç farklı izolasyon malzemesi (XPS, EPS, Taş Yünü) kullanıldığında IDKBKM'nin optimum yalıtım kalınlıklarına kadar azalma değişim oranının yüksek olduğu, OYK'dan sonra ise bu azalma oranının çok düştüğü Şekil 3'te görülmektedir.

Tablo 6. Yalıtımlı ve yalıtımsız iki farklı duvar ve kömür için IDBASKM (IDBASKM for two different types of insulated and uninsulated walls and coals)

Duvar Tipi	IDBASKM (kg/m ² ısıtma dönemi)			
	Yalıtımsız	Optimum Yalıtım Kalınlığına Göre		
		XPS	EPS	Taş Yünü
1TDYD	0.240	0.058	0.055	0.052
2TSD	0.177	0.058	0.055	0.053

Tablo 7. Doğal gaz 1TDYD için farklı izolasyon malzemesi cinsi ve kalınlığı için IDKBKM (IDKBKM for natural gas 1TDYD according to different insulation material type and thickness)

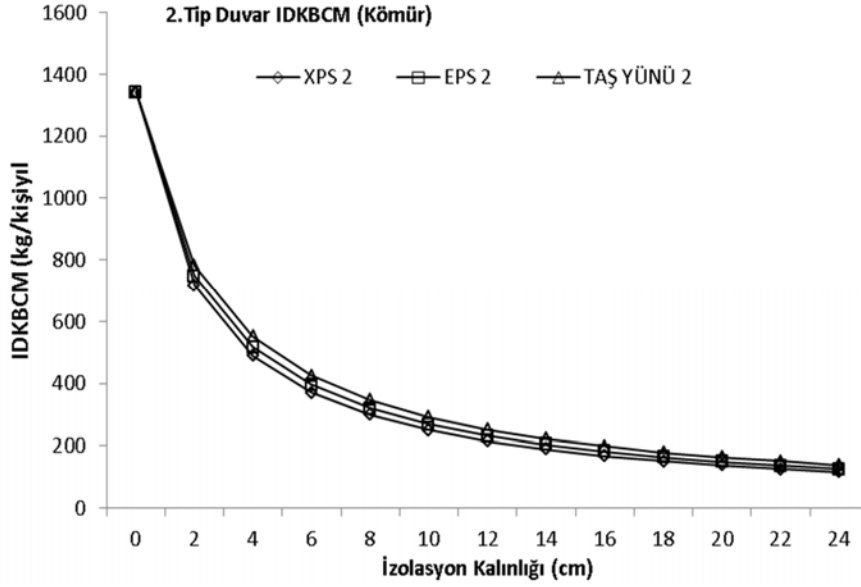
Yalıtım Malzemesi	IDKBKM (kg/kişi yıl)												
	İzolasyon Kalınlığı (cm)												
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
XPS	1839	838.5	543.1	401.6	318.6	264.0	225.4	196.7	174.4	156.7	142.2	130.2	120.1
EPS	1839	878.4	577.0	429.6	342.2	284.3	243.2	212.5	188.6	169.6	154.1	141.1	130.2
Taş Yünü	1839	926.8	619.5	465.2	372.5	310.6	266.3	233.1	207.2	186.5	169.6	155.5	143.5

Tablo 8. Kömür 1TDYD için farklı yalıtım malzemesi ve kalınlığı için IDKBKM (IDKBKM According to the type and thickness of insulation material for coal 1TDYD)

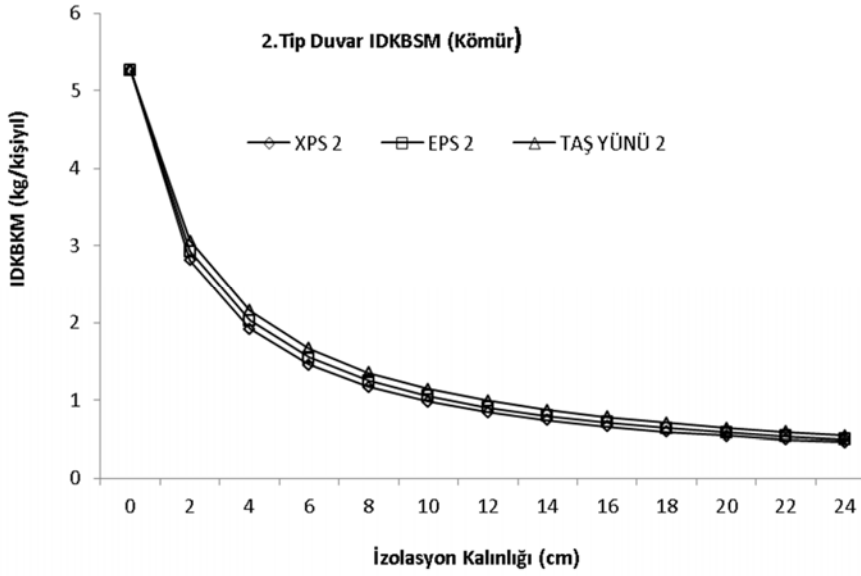
Yalıtım Malzemesi	IDKBKM (kg/kişi yıl)												
	İzolasyon Kalınlığı (cm)												
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
XPS	3483.8	1594.5	1032.7	763.7	605.8	502.1	428.6	374.0	331.6	297.9	270.4	247.6	
EPS	3483.8	1670.3	1097.2	816.9	650.7	540.6	462.4	404.0	358.7	322.5	293.0	268.4	
Taş Yünü	3483.8	1762.3	1178.0	884.7	708.3	590.6	506.4	443.2	394.1	354.7	322.5	295.7	

Tablo 9. Kömür 1TDYD için izolasyon malzemesi cinsi ve kalınlığı için IDKBSM (IDKBSM According to the type and thickness of insulation material for coal 1TDYD)

Yalıtım Malzemesi	SO ₂ Salınımın Miktarı (kg/kişi yıl)												
	İzolasyon Kalınlığı (cm)												
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
XPS	7,196	3,281	2,125	1,572	1,247	1,033	0,882	0,770	0,682	0,613	0,557	0,510	0,470
EPS	7,196	3,437	2,258	1,681	1,339	1,113	0,952	0,831	0,738	0,664	0,603	0,552	0,510
Taş Yünü	7,196	3,627	2,424	1,821	1,458	1,215	1,042	0,912	0,811	0,730	0,664	0,608	0,562



Şekil.6. Kömür için 2TSD tipi, izolasyon malzemesi cinsi ve kalınlığı için IDKBCM (2TSD type for coal, according to the type and thickness of insulation material IDKBCM)



Şekil.7. Kömür 2TSD için izolasyon malzemesi cinsi ve kalınlığı için IDKBKM (2TSD type for coal, according to the type and thickness of insulation material IDKBKM)

Tablo 9'da kömür için IDKBKM; yalıtımsız bir dairede 7.196 kg/kişiyıl, OYK'na göre XPS ile 1.724 kg/kişiyıl, EPS ile 1.62 kg/kişiyıl, Taş yünü ile 1.542 kg/kişiyıl olduğu verilmiştir.

Makale metninin uzamaması için 2TSD için analiz sonuçları Şekil 5, 6 ve 7'de verilmiştir. Yakıt olarak doğalgaz, izolasyon malzemesi olarak XPS, EPS, Taş yünü ve 2TSD tipi için yalıtım kalınlığının IDKBCM'na etkisi Şekil 5'de verilmiştir. Şekil 5'de OYK'na kadar yalıtım kalınlığı arttıkça IDKBCM'da azalma oranının büyük olduğu, OYK'dan sonra azalma oranının giderek azaldığı görülmektedir. Yakıt olarak kömür, izolasyon malzemesi olarak XPS, EPS, Taş yünü ve 2TSD tipi için yalıtım

kalınlığının IDKBCM etkisi Şekil 6'da, IDKBKM etkisi Şekil 7'de verilmiştir.

Analiz sonuçlarına göre iki duvar tipi ve iki yakıt türü içinde OYK'na kadar kişi başı yıllık IDKBCM azalma oranının yüksek olduğu OYK'dan sonra yalıtım kalınlığı artmasına rağmen CO₂ salınımlarındaki azalmanın oranının sürekli azaldığı görülmektedir. Kömür için SO₂ ve CO₂ salınımlarına benzemektedir.

4. SİMGELER (SYMBOLS)

OYK Optimum yalıtım kalınlığı (m)
U Dış duvar toplam ısı transfer katsayısı [W/m²K]

T_b	Denge sıcaklığı [°C]
T_o	İç ortam sıcaklığı [°C]
C_y	Yalıtım maliyet [TL/m ³]
C_f	Yakıt maliyet [TL/kg, TL/m ³]
EA	Isıtma için gerekli yıllık enerji miktarı [J/m ² yıl]
d	Enflasyon oranı [%]
$GÖS$	Geri ödeme süresi [Yıl]
IDS	Isıtma derece Saat [°C-saat]
N	Ömür [Yıl]
P_1	Şimdiki değer faktörü

Kısaltmalar (Abbreviations)

i	Faiz oranı [%]
M_s	Yıllık bakım maliyeti
R_v	Perakende satış fiyatı [m ³ /TL]
k	Yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı [W/mK]
$LCCA$	Ömür maliyet analizi
LHV	Yakıtın alt ısı değeri [J/kg, J/m ³ , J/kWh]
m_f	Yıllık yakıt tüketimi [kg/m ² yıl]
$GÖS$	Geri ödeme süresi [yıl]
P_1	Şimdiki değer faktörü
T_o	Ortalama dış sıcaklık [°C]
η	Yakma sistemi verimi
x	Yalıtım Kalınlığı [m]

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada ısıtma enerji ihtiyacına bağlı kömür için IDBASCAM ve IDBASKM, doğalgaz için IDBASCAM yeni bir hesaplama yöntemi geliştirilmiştir. Ayrıca ısıtma enerji ihtiyacına bağlı kömür için IDKBASCAM ve IDBASKM, doğalgaz için IDBASCAM yeni bir hesaplama yöntemi daha geliştirilmiştir.

Literatüre IDBASCAM, IDBASKM ve IDKBASCAM ve IDBASKM adı altında İzmir için ilk defa kazandırılan yaklaşımlarla ilgili hesaplama ve analiz sonuçları aşağıda sunulmuştur.

- 1TDYD için yakıt olarak kömür kullanılması halinde OYK, XPS için 0.054 m, EPS için 0.063m, Taş yünü için 0.074m, GÖS sırasıyla 2.4, 2.247 ve 2.133 yıl hesaplanırken, doğal gaz için OYK, sırasıyla 0.048 m, 0.057m, 0.067m, GÖS'de sırasıyla 2.56, 2.425 ve 2.301 yıl olarak hesaplanmıştır.
- 2TSD için yakıt olarak kömür kullanılması halinde OYK, sırasıyla 0.047m, 0.056m, Taş yünü için 0.067m, GÖS sırasıyla 3.252, 3.069 ve 2.938 yıl hesaplanırken, doğal gaz için OYK, sırasıyla 0.042 m, 0.050m, 0.060m, GÖS'de sırasıyla 3.19, 3.313 ve 3.172 yıl olarak hesaplanmıştır.
- 1TDYD'a sahip bir binada yakıt olarak kömür yakılması durumunda; yalıtımsız IDBASCAM 118.462 kg/m²ısıtmadönemi, XPS için IDBASCAM 28.383 kg/m²ısıtmadönemi, EPS için IDBASCAM 26.728 kg/m²ısıtmadönemi, Taş yünü için IDBASCAM 25.381 kg/m²ısıtma dönemi olarak, IDBASKM ise yalıtımsız, XPS, EPS ve Taş yünü için sırasıyla 0.240, 0.058, 0.055 ve 0.053 kg/m²ısıtmadönemi olarak hesaplanmıştır.

- 2TSD'a sahip bir binada yakıt olarak kömür yakılması durumunda IDBASCAM yalıtımsız 86.464 kg/m²ısıtmadönemi, XPS için IDBASCAM 28.064 kg/m²ısıtmadönemi, EPS için IDBASCAM 26.652 kg/m²ısıtmadönemi, Taş yünü için IDBASCAM 25.521 kg/m²ısıtmadönemi olarak, IDBASKM ise yalıtımsız, XPS, EPS ve Taş yünü için sırasıyla 0.177, 0.058, 0.055 ve 0.053 kg/m²ısıtmadönemi olarak hesaplanmıştır.
- 1TDYD'a sahip bir binada yakıt olarak doğalgaz yakılması durumunda ise; IDBASCAM yalıtımsız duvara göre, XPS için % 57, EPS için % 58 ve Taş yünü için % 56 oranında azalacağı, 2TSD içinse IDBASCAM yalıtımsız % 53, XPS ve EPS için % 57, Taş yünü içinde % 56 oranında azalacağı ortaya konulmuştur.
- 1TDYD ve yakıt olarak doğalgaz için, yalıtımsız bir binada 1839 kg / kişi ısıtma dönemi olacaktır. Bu binanın XPS ile OYK'na göre yalıtılması durumunda 441 kg / kişi ısıtma dönemi, oransal olarakta IDKBSCM' nın %76 azalacağı hesaplanmıştır. Yakıt olarak kömür kullanılması durumunda ise, yalıtımsız bir dairede 3484 kg kişi/ ısıtma dönemi, XPS ile OYK'na göre yalıtılması durumunda 838 kg/ kişi ısıtma dönemi olarak,
- 2TSD içinse doğal gaz için yalıtımsız olarak 1342.225 kg kişi/ ısıtma dönemi, OYK'na göre yalıtılması durumunda ise 465.411 kg kişi / ısıtma dönemi olduğu, yakıt olarak kömür kullanılması durumunda ise, yalıtımsız bir dairede 2552 kg / kişi ısıtma dönemi, XPS ile OYK'na göre yalıtılması durumunda 837.838 kg/ kişi ısıtma dönemi olduğu hesaplanmıştır.
- 1TDYD ve 2TSD uygulamasında IDKBSCM yakıt olarak kömür kullanılması durumunda; 1TDYD için yalıtımsız bir binada 7.196 kg kişi/ısıtma dönemi, XPS ile OYK'na (4.2cm) göre yalıtıldığında 1.999 kg / kişi ısıtma dönemi, oransal olarak %73 azalacağı hesaplanmıştır.
- 2TSD için yalıtımsız bir binada 5.252 kg kişi/ısıtma dönemi, EPS ile OYK'na (5cm) göre yalıtıldığında 1.698 kg / kişi- ısıtma dönemi, oransal olarak %69 azalacağı hesaplanmıştır.

Literatüre kazandırılan bu yaklaşımlarla dünyanın herhangi bir ilindeki IDKBSCM ve IDKBSCM Eş. 22 ve 23'deki parametrelerle kolaylıkla hesaplanabilecektir. Hatta il bazında ayrıntılı bina dış duvarları envanteri temin edildiğinde daha hassas IDKBSCM ve IDKSM hesaplanabilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Özel M. Dört farklı il için optimum yalıtım kalınlıklarının belirlenmesi ve çevresel analiz, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 10 (1), 1-17, 2013.
2. Yılmaz Y., Koçlar G. An approach for cost and energy efficient retrofitting of a lower secondary school building, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 34 (1), 393-407, 2019.
3. Kurt H. The usage of air gap in the composite wall for energy saving and air pollution, Environmental Progress & Sustainable Energy, 30 (3), 450-458, 2011.

4. Gürel A. E., Çay Y., Daşdemir A., Küçükkülahlı E. Karabük için dış duvar optimum yalıtım kalınlığının enerji tasarrufu ve hava kirliliğine etkileri, *Tarih Kültür ve Sanat Araştırmaları Dergisi*, 1 (4), 2012.
5. Öztuna., S, Dereli E. Edirne İlinde Optimum Duvar Yalıtım Kalınlığının Enerji Tasarrufuna Etkisi. *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10 (2), 139-147, 2016.
6. Gürel A.E., Daşdemir A. Economical and environmental effects of thermal insulation thickness in four different climatic regions of Turkey, *IJRER*, 1 (1), 1-10, 2011.
7. Bolattürk A. Optimum insulation thicknesses for building walls with respect to cooling and heating degree-hours in the warmest zone of Turkey, *Building and Environment*, 43 (6), 1055–1064, 2008.
8. Bolattürk A. Determination of optimum insulation thickness for building walls with respect to various fuels and climate zones in Turkey, *Applied Thermal Engineering*, 26 (11-12), 1301–1309, 2006.
9. Daşdemir A., Kurt H. Hava boşluklu dış duvar konstrüksiyonunun çevre kirliliği üzerine etkisi, 2. Uluslararası Çevre ve Ahlak Sempozyumu (ISEM 2014), Adıyaman-Türkiye, 1333-1343, 24-26 Ekim 2014.
10. Ozturk H., Dombayci A., Caliskan H. Life-cycle cost, cooling degree day, and carbon dioxide emission assessments of insulation of refrigerated warehouses industry in Turkey, *Journal of Environmental Engineering*, 145 (10). 2019
11. Ertürk M., Keçebaş A., Daşdemir A., Kurt H. Isıtma ve soğutma uygulamalarında optimum yalıtım kalınlığı ve enerji tasarrufu analizi, 10th International Clean Energy Symposium, Istanbul-Turkey, 24-26 October 2016.
12. Mahlia T. M. I., Iqbal A. Cost benefits analysis and emission reductions of optimum thickness and air gaps for selected insulation materials for building walls in Maldives, *Energy*, 35 (5), 2242-2250, 2010.
13. Kaynaklı Ö., Yamankaradeniz R. Isıtma süreci ve optimum yalıtım kalınlığı hesabı, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 104 (3), 19-25, 2008.
14. Atabey T., Karbon ayak izinin hesaplanması: Diyarbakır örneği, yüksek lisans tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013, Elazığ.
15. TS 825, Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, Aralık 2013. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2008/08/20080826-7.htm>. Erişim tarihi, 14.10.2018.
16. Buyukalaca O., Bulut., Yılmaz, T. Analysis of variable-base heating and cooling degree-days for Turkey. *Applied Energy* 69: 269–83. 2001.
17. Kadioglu M., Şen Z. Degree day formulations and application in Turkey. *Journal of Applied Meteorology*. 38 (6) 37–46, 1999.
18. Daouas N., Hassen H., Aïssa, H. Analytical periodic solution for the study of thermal performance and optimum insulation thickness of building walls in Tunisia. *Applied Thermal Engineering*, 30 (4). 319-326, 2010.
19. Dombaycı Ö.A. The environmental impact of optimum insulation thickness for external walls of buildings. *Building and Environment*, 42 (11), 3855-3859, 2007.
20. Dombaycı Ö.A., Gölcü M., Pancar Y. Optimization of insulation thickness for external walls using different energy-sources. *Applied Energy*, 83, 921–928, 2006.
21. <http://www.tesisat.com.tr/belge-indir/1/511/10-temmuz-2018-yakit-fiyatları-konut.xlsx/>. Erişim tarihi, 14.07.2018.
22. <https://www.izgaz.com.tr/tr/izgaz/dogalgaz-fiyatları/doğalgaz fiyatları-temmuz-2018>. Erişim tarihi, 14.07.2018.
23. Çay, Y. and Gürel, A.E., Determination of optimum insulation thickness, energy savings, and environmental impact for different climatic regions of Turkey. *Environ. Prog. Sustainable Energy*, 32, 365-372, 2013.
24. Ertürk M., A new approach to calculate the energy saving per unit area and emission per person in exterior wall of building using different insulation materials and air gap, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31 (2), 395-406, 2016.
25. Ataç A., Aksoy U. The relation between optimum insulation thickness and heating cost on external walls for energy saving, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 21 (4), 753-758, 2006.
26. Al-Sanea S.A., Zedan M.F., Al-Ajlan S.A., Abdul Hadi A.S. Heat transfer characteristics and optimum insulation thickness for cavity walls, *Journal Thermal Envelope and Building Science*. 26 (3), 285-307, 2003.
27. <http://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/tcmb+tr/tcmb+tr/main+menu/para+politikasi/merkez+bankasi+faiz+oranlari>, 2018.
28. Hasan A. Optimizing insulation thickness for buildings using life cycle cost, *Applied Energy*. 63, 88-94, 1999.
29. Bolatturk A., Dagıdır C. Determination of optimum insulation thickness for buildings in hot climate regions by considering solar radiation. *Journal of Thermal Science and Technology*. 33 (1), 87-99, 2013.
30. Sisman N., Kahya E., Aras N., Aras H. Determination of optimum insulation thicknesses of the external walls and roof (ceiling) for Turkey's different degree-day regionse. *Energy Policy*, 35, 5151–5155, 2007.
31. Yıldız A., Gürlek G., Erkek M., Özbalta N. Economical and environmental analyses of thermal insulation thickness in buildings, *Journal of Thermal Science of Technology*, 28 (2), 25–34, 2008.
32. Ertürk, M., Isıtma ve soğutma derece saat hesaplamalarında farklı bir yöntemin araştırılması ve geliştirilmesi, Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 2012.
33. Uygunoğlu T., Keçebaş A. LCC analysis for energy-saving in residential buildings with different types of construction masonry blocks, *Energy and Buildings*, 43 (9), 2077-2085, 2011.
34. Hasan A., Optimizing insulation thickness for buildings using life cycle cost, *Applied Energy*, 63 (2), 115- 124, 1999.

35. Basogul Y., Kecebas A. Economic and environmental impacts of insulation in district heating pipelines. *Energy*, 36 (10), 6156-6164, 2011.
36. Abdallah M.A., Ismail L.A. Saving energy lost from steam boiler vessels, *Renewable Energy*, 23 (3-4), 537-550, 2001.
37. http://www.tuik.gov.tr/basinOdasi/haberler/2014_22_20140408d.pdf. Erişim tarihi, 14.10.2018.
38. <http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=temelist> Erişim tarihi. 31.12.2018.