

BİNA DIŞ DUVARLARINDA FARKLI YALITIM MALZEMESİ VE HAVA BOŞLUĞU KULLANIMININ, BİRİM ALANDAKİ ENERJİ TASARRUFU VE KİŞİ BAŞI EMİSYON HESAPLAMALARINDA YENİ BİR YAKLAŞIM

Mustafa ERTÜRK

Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Balıkesir
merturk@balikesir.edu.tr

(Geliş/Received: 08.06.2015; Kabul/Accepted: 12.08.2015)

ÖZET

Ankara'da bulunan binalar için: yalıtım malzemesiyle birlikte hava boşluğu kullanılarak optimum yalıtım kalınlığı (OYK), toplam maliyet, enerji tasarrufu, geri ödeme süresi (GÖS) hesaplanmıştır. Baca gazı salınım hesaplamaları için ilde bulunan binaların, toplam dış duvar yüzey alanı ve nüfus sayısı dikkate alınarak yıllık kişi başı yakıt tüketimi emisyonu (YTEM) yaklaşımı getirilmiştir. Yapılan analizlerde; yakıt olarak doğal gaz ve kömür kullanılması, bina dış duvarlarında (sandviç duvar) yalıtım malzemesi olarak ekstrüde polistren köpük (XPS), taşıyıcı ve ekspande polistren (EPS) ile birlikte dört farklı kalınlıkta hava boşluğu kullanılmıştır. Yakıt olarak doğalgaz kullanıldığında ve yalıtım malzemesi olan XPS'e 4 mm hava boşluğu ilave edildiğinde OYK 9,2 cm' den 3,4 cm' e düşmekte, GÖS 1.509 yıldan 1.320 yıla düşmekte, toplam maliyet de %28 azalmakta, yıllık kazanç ise %96 artmaktadır. Ayrıca kömür için optimum yalıtım kalınlığı 10,8 cm'den 5,0 cm'ye düştüğü, toplam maliyetin %24 azaldığı, geri ödeme süresinin de 1.426 yıldan 1.292 yıla düştüğü, yıllık kazancın ise m² başına %94 arttığı hesaplanmıştır. 2014 yılı nüfus ve meskene ait elektrik abone sayıları baz alınarak yapılan hesaplamalara göre; doğalgaz kullanıldığında, yalıtımsız binaya göre, 4 cm XPS ve 4 cm hava boşluğu eklenmesi halinde CO₂ salınımının %82 azalacağı, belirlenmiştir. Kömür kullanılması durumunda ise CO₂ ve SO₂ oranlarının % 82 azalacağı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hava boşluğu kalınlığı, optimum yalıtım kalınlığı, ömür maliyet analizi, enerji tasarrufu, hava kirliliği, Ankara

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

ABSTRACT

Optimal insulation thickness (OIT), total cost, energy savings and payback period (PP) has been calculated by using air gap together with insulation materials in buildings located in Ankara. The analysis of the exhaust emission rate has been carried out by calculating the total outer wall surface area of buildings and populations in the province. In these analysis, natural gas and coal as fuel, extruded polystyrene foam (XPS), mineral wool and expanded polystyrene (EPS) as insulation material were used with four different thicknesses of air gap combinations at exterior walls of building (sandwich walls). When natural gas is used as fuel and 4 cm air gap is introduced to XPS as insulating material, optimal insulation thickness (OIT) reduces to 3.4 cm from 9.2 cm, payback period (PP) decrease from 1.509 to 1.320 years. This results in by 28% reduction in the total cost, while annual savings were significantly increased to 96% in m². When coal is used as fuel with the same insulation material parameters applied above, (OIT) reduces to 5.00 cm from 10.8 cm, payback period (PP) decrease from 1.426 to 1.292 years, which results in by 24% reduction in the total cost with an increase to 94% in m² for annual savings. According to our calculations based on total population and residential subscribers to electricity in 2014, CO₂ emission rate for natural gas usage are found to be reduced by 82% when 4 cm insulating material with 4 cm air gap is used compared to building without insulation. When coal is used for heating, CO₂ and SO₂ emissions rates are calculated to be reduced by 82%.

Keywords: Air gap thickness, optimal insulation material thickness, life-cycle cost analysis, energy saving, air pollution, Ankara

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Teknolojik gelişmelerin yaşamın bütün alanlarında baş döndürücü hızla ilerlemesi enerjiye duyulan talebi de aynı hızla artırmıştır. Bu durum uluslararası ve ulusal düzeyde bir takım tedbirlerin alınmasını zorunlu hale getirmiştir. Enerjinin verimli olarak kullanılması için geliştirilen politikalar, üretici ve tüketicileri minimum enerji maksimum verim konusunda teşvik etmektedir. Isı yalıtımı; iletim (konduksiyon), taşınım (konveksiyon) ve ışıma (radyasyon) yoluyla gerçekleşen ısı akış hızını azaltan malzeme ya da malzemeler kombinasyonudur. Isı yalıtım malzemeleri, içerdikleri sayısız mikroskopik kapalı hava hücrelerinin (bünyelerindeki havanın hareket etmesine izin vermeyerek) taşınım ile olan ısı transferini engellemesi sonucu, ısı akışına direnç gösterirler. Isıl direnci gösteren, yalıtım malzemesi değil, yalıtım malzemesinin bünyesinde bulunan hava hücreleridir Küçük hücre boyutuna ve kapalı hücre yapısına sahip ısı yalıtım malzemeleri aynı zamanda, radyasyon etkisini de azaltır [1]. Konutlarda tüketilen enerjinin %80'inin ısıtma ve soğutma amaçlı kullanıldığı Türkiye'de, ısı yalıtım teknolojileri sayesinde enerjiden yüksek oranda tasarruf sağlanabilir. Uygun bir biçimde yalıtım yapılmış binaların yalıtım maliyeti, bina ömrü boyunca kendini birçok kez geri ödeyebilecek durumdadır. Yapılan yalıtım ile birlikte birlikte enerji tüketimi azalacağı gibi buna bağlı olarak da oluşan baca gazı emisyonları (BGE) da azalmaktadır. Binalarda ısı yalıtımının ekonomik ve çevresel boyutunu irdeleyen farklı çalışmalar literatürde bulunmaktadır. Bolattürk, güneş radyasyonunu dikkate alarak, Keçebaş ve Kayfeci'de soğuk oda tasarımı için optimum yalıtım kalınlığı (OYK) üzerinde durmuşlardır [2, 3]. Gölcü vd. Denizli için, Öztuna Edirne için, Deniz vd. Muğla için (OYK) ve enerji tasarrufları üzerinde durmuşlardır [4-6]. Yıldız v.d çalışmasında Ankara için (OYK) ve sera gazı salınımını hesaplamış olup, yakıt olarak kömür, yalıtım malzemesi olarak ta cam yünü kullanılması durumunda optimum yalıtım kalınlığı 0,06m olduğunu, CO₂ salınımında ise %35 azalma tespit etmişlerdir [7]. Yu, Çin'de Daouas ise Tunus'ta farklı yöntemler kullanarak (OYK) üzerinde durmuşlardır [8, 9]. Al-Khawaja, Çay, Balo vd., Aksoy ve Aytaç, farklı çalışmalarda yalıtım malzemelerinin (OYK) üzerinde durmuşlar ve en iyi yalıtım malzemesi tespit etmeye çalışmışlardır [10-13]. Mahlia vd. Maldivler için sera gazı salınımı ve (OYK) hesabı yapmıştır [14]. Gürel ve Daşdemir, Türkiye'nin dört farklı ısı bölgesinden iller için dış duvar yalıtımının optimum kalınlıkta yapılması durumunda, salınan zararlı gazların % 65-75 oranında azaldığını tespit etmiştir [15]. Kurt, Karabük ilinde, yalıtımlı duvar da hava boşluğunun sırasıyla 2, 4, 6 cm bırakılması durumunda, yalıtımlı hava boşluksuz

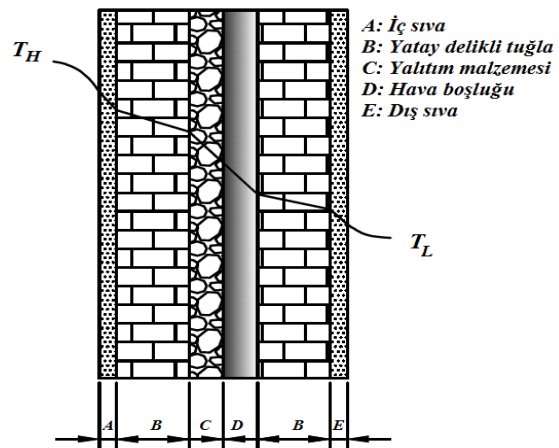
duvara oranla, CO₂ ve SO₂ salınımında ortalama %54,46'ya varan azalma olabileceğini göstermiştir [16]. Mihliyanlar vd., 2 ve 5 katlı iki farklı binada, TS 825 (2008) "Binalarda Isı Yalıtım Kurallarına göre binalarda yalıtım düzeyinin iyileştirilmesi ile BGE azalmanın değişimi ve buna bağlı olarak hava kirliliğindeki iyileşmeyi değerlendirmişlerdir [17]. Mahlia ve İqbal, Maldivler' de yakıt türüne göre CO₂ ve SO₂ miktarlarındaki azalmayı değerlendirmişlerdir. Duvar bileşenleri içerisinde hava boşluğu kullanılması durumunda (OYK)'nın düştüğü, CO₂ emisyonunda % 25, toplam baca gazı emisyonunda ise %77'ye varan azalmalar olduğu görülmüştür [18]. Gürel vd., yakıt olarak kömür kullanıldığında OYK ve enerji tasarrufunun sırasıyla 13,4 cm ve 117,14 TL/m² olduğunu göstermiştir. Yakıt olarak doğal gaz kullanımında ise bu değerler sırasıyla 11,6cm ve 88,39 TL/m² olarak bulunmuştur. Ayrıca OYK'nın, CO₂ ve SO₂ emisyonlarının yakıt tipine bağlı olarak %85'e kadar azaldığı hesaplanmıştır [19].

2. MATERYAL VE METOT (MATERIALS AND METHODS)

Bu çalışmada, Ankara'da yakıt olarak doğal gaz ve kömür, yalıtım malzemesi olarak XPS, EPS ve taş yünü kullanılması durumunda duvar bileşenlerinde bırakılacak olan hava boşluğunun, (OYK), toplam maliyet, enerji tasarrufu, geri ödeme süresi ve çevre kirliliğine etkisi incelenmiştir. Ayrıca bu çalışma içerisinde, Ankara'nın nüfusuna oranla yıllık kişi başına düşen BGE'leri hesaplanmıştır.

2.1 Bina Dış Duvar Konstrüksiyonu (The Wall Construction of Bulding)

Betonarme konutlarda kiriş genişliği minimum 25 cm'den başlamak üzere 30 cm'ye kadar baz alınıp, yüke göre kiriş yükseklikleri hesaplanmaktadır [20].



Şekil 1. Çalışmada kullanılan duvar konstrüksiyonu (The wall construction used in the study)

Tablo 1. Kullanılan yakıtta ait özellikler (The properties of the fuel used)

| Yakıt | Fiyat | LHV | η | Kimyasal Formül |
|-----------|------------------------|---|--------|---|
| Doğal Gaz | 0,64 \$/m ³ | 34,526x10 ⁶ J/m ³ | 0,93 | C _{1.05} H ₄ O _{0.034} N _{0.022} |
| Kömür | 0,5 \$/kg | 29,295x10 ⁶ j/kg | 0,65 | C _{5.85} H _{5.26} O _{1.13} S _{0.008} N _{0.077} |

Bu çalışma da betonarme yapıların tasarımı ve yapım kuralına uygun olarak giriş genişliği 30 cm olarak alınmıştır. Hesaplamalarda kullanılan dış duvar konstrüksiyonu Şekil 1’de gösterilmiştir. Duvar bileşenleri, 2 cm iç sıva (A), 8,5 cm yatay delikli tuğla (B), yalıtım malzemesi (C), hava boşluğu (D), 8,5 cm yatay delikli tuğla (B) ve 3 cm dış sıvadan (E) oluşmaktadır.

2.2 Bina Isıtma Enerji İhtiyacının Hesaplanması (The Calculation of the Heating Energy Needs of Buildings)

Kapalı hacimlerdeki ısı kayıpları; dış duvar, çatı, döşeme, pencere gibi yapı bileşenleri nedeniyle oluşmaktadır. Sandviç duvar tipi bu çalışma için seçilmiştir. Hesaplamalarda, ısı kayıplarının sadece dış duvar yüzeyinde olduğu kabul edilmiştir. Dış duvar birim alanındaki ısı kaybı, Eşitlik (1) ile hesaplanır.

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

U dış duvarın toplam ısı transfer direncini [W/m²K], T_b denge sıcaklığını [°C] ve T_o referans alınacak iç ortam sıcaklığını [°C] ifade etmektedir. Çalışmada kullanılan dış duvar için toplam ısı transfer direnci Eşitlik (2) ile hesaplanabilir.

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

Burada R_i ve R_d sırasıyla iç ve dış yüzeydeki ısı taşınım katsayılarını, R_w yalıtımsız duvarın toplam ısı direncini, R_{ins} yalıtım malzemesi ısı direncini, R_a ise hava boşluğu ısı direncini ifade etmekte olup Eşitlik (3) ve Eşitlik (4) ile hesaplanır.

$$R_{ins}=\frac{x}{k_{ins}} \quad (3)$$

$$R_a=\frac{x}{k_a} \quad (4)$$

x yalıtım malzemesi kalınlığını (m), k_{ins} yalıtım malzemesinin, k_{hava} ’nın ısı iletim katsayılarını [W/mK] ifade etmektedir.

Yalıtımsız duvarın ısı direnci, hava boşluğu ile birlikte R_{wt} ile ifade edilirse, toplam ısı transfer katsayısı Eşitlik (5) ile hesaplanır.

$$U=\frac{1}{R_{wt}+R_{ins}} \quad (5)$$

Isıtma için harcanan yıllık enerji miktarı Eşitlik (6) ile hesaplanır.

$$E_A=\frac{C_f U IDS}{LHV \eta} \quad (6)$$

C_f , yakıt maliyetini, IDS ; ısıtma derece saat değerini, LHV ; yakıtın alt ısı değerini (J/m³), η ; ısıtma sisteminin verimini ifade etmektedir. Kullanılan yakıtlara ait özellikler Tablo 1’de verilmiştir.

2.3 Optimum Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi (Determination of Optimum Insulation Thickness)

Bina dış duvarlarındaki yalıtım, ısıtma ve soğutma sistemleri için gerekli enerjinin etkin bir şekilde kullanılmasını sağlar. Uygun yalıtım kalınlığı; dış ortam sıcaklığı, dış duvar yapı bileşenleri ve yalıtım malzemesinin özellikleri gibi parametrelerle yakından ilgilidir.

OYK hesaplamaların da, bir takım değişken parametreler vardır. Bu değişkenler; binanın bulunduğu il, bina dış duvarının bileşenleri, kullanılan yalıtım ve yapı malzemeleri, yakıt fiyatları, yakma sisteminin verimi ve yakıtın alt ısı değeridir. Yalıtım kalınlığının artması; kış aylarında ısı kaybını, yaz aylarında ise ısı kazancını azaltacaktır. Ancak yalıtım kalınlığının artmasının bir maliyeti vardır ve yalıtım kalınlığı arttıkça ısı iletimindeki azalma belli bir değerden sonra azalmaktadır. Dolayısıyla yalıtım kalınlığı için optimum bir değer söz konusudur. OYK hesaplamalarında, toplam ısıtma maliyetinin minimum olduğu noktada (OYK) ve yakıt maliyeti tespit edilmektedir. OYK hesaplamalarında ömür maliyet analiz yöntemi kullanılmaktadır [21-24]. Bu çalışmada, ömür maliyet analizine göre 7-12 numaralı eşitlikler [25, 26] kullanılarak OYK hesaplanmıştır. Toplam ısıtma maliyetinin hesabında ise binanın ömür süresi (N) ile şimdiki değer faktörü (P_i) birlikte değerlendirilmiştir. P_i ; faiz oranı (i) ve enflasyon oranına (d) bağlı olarak değişir ve Eşitlik (7)’ye göre hesaplanmıştır. Hesaplamalarda i =% 5 ve d = % 5 alınmıştır [27].

$$P_i=\frac{N}{1+i}; i=d \text{ ise} \quad (7)$$

Yalıtımın ilk yatırım maliyeti (P_2), işletme giderleri ve bakım giderleri dikkate alınarak, Eşitlik (8) de verilmiştir.

$$P_2=I+P_1M_s-\frac{R_v}{(1+d)^N} \quad (8)$$

Eşitlik(8) de, M_s ; yıllık bakım ve işçilik giderlerinin ilk alınan maliyet değerine oranını, R_v ; perakende satış değerinin ilk satış değerine oranını göstermektedir. Buna göre bakım ve işçilik

maliyetleri sıfır kabul edilirse P_2 değeri 1 alınabilir. Yalıtım maliyeti (C_{ins}) ise, yalıtım malzemesinin birim hacim fiyatı (C_i) ile yalıtım malzemesi tabaka kalınlığının (x) çarpımına eşit olup, Eşitlik (9)'a göre hesaplanmıştır.

$$C_{ins} = C_i x \quad (9)$$

Bina dış duvarı birim alanından elde edilecek enerji tasarrufu (S), Eşitlik (10) ile verilmiştir.

$$S = P_1 E_A - P_2 C_{ins} \quad (10)$$

Yalıtılmış bir binanın toplam ısıtma maliyeti (C_{top}); sistemle ilgili tüm harcamaların toplamından oluşan ömür maliyet analizi kullanılarak Eşitlik (11)'de verilmiştir.

$$C_{top} = P_1 E_A + P_2 C_{ins} \quad (11)$$

Optimum yalıtım kalınlığı (x_{opt}), yıllık maliyetin en düşük olduğu nokta olarak ifade edilebilir. Bu noktada yapılacak olan yalıtım, minimum maliyet ve maksimum enerji tasarrufu sağlayacaktır. Bu çalışmada OYK, Eşitlik (12) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$X_{opt} = \left(\frac{IDS C_i P_1 k_{ins}}{P_2 LHHV C_i \eta} \right)^{1/2} - k_{ins} R_{wt} \quad (12)$$

Yapılan yatırımın somut olarak geri dönme süresinde (P_t) önemli bir parametredir. Bunun için de yapılan yatırıma karşılık, geri ödeme süresi Eşitlik (13) ile hesaplanmaktadır. Hesaplamalarda kullanılan parametreler, Tablo 2'de verilmiştir.

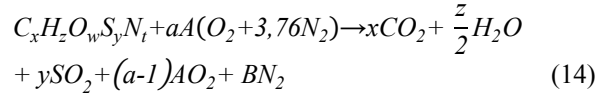
$$P_t = \frac{LHV C_i P_2 \eta (R_{wt} x + R_{wt}^2 k_{ins}) (1+i)}{C_i IDS} \quad (13)$$

Tablo 2. Hesaplamalarda kullanılan parametreler (The parameters used in the calculations)

| Parametre | Değer |
|-----------------------------|-------------------------|
| Derece-saat | 64200 Derece-saat |
| Yalıtım | |
| XPS | |
| Isı iletim katsayısı, k | 0,036 W/mK |
| Maliyet, C_i | 120 \$/m ³ |
| EPS | |
| Isı iletim katsayısı, k | 0,04 W/mK |
| Maliyet, C_i | 85 \$/m ³ |
| Taş yünü | |
| Isı iletim katsayısı, k | 0,04 |
| Maliyet, C_i | 100\$/m ³ |
| Hava | |
| Isı iletim katsayısı, k | 0,025 W/mK |
| Maliyet, C_i | 0 |
| Dış duvar | |
| İç sıva | 0,02 m |
| Isı iletim katsayısı, k | 0,872 W/mK |
| Tuğla | 0,085 m |
| Isı iletim katsayısı, k | 0,45 W/mK |
| Dış sıva | 0,03 m |
| Isı iletim katsayısı, k | 1,4 W/mK |
| U | 0,58 m ² K/W |
| Ömür, N | 10 yıl |
| P_1 | 9.52 |
| P_2 | 1 |

2.4 Baca Gazı Emisyon Hesabı (The Calculation of Exhaust Emission)

Bina dış duvarlarında uygulanan yalıtım, yakıt tüketimini ve BGE'da azaltacaktır. Kullanılan yakıtların genel yanma formülü aşağıdaki Eşitlik (14)'de verilmiştir [24]. Eşitlik (14)'de NO_x ve CO emisyonları ihmal edildiğinden eşitliğe alınmamıştır.



Yakıt içerisindeki, kimyasalların yanabilmesi için gerekli olan oksijen ve azot miktarı aşağıda verilen Eşitlik (15) ve Eşitlik (16) ile elde edilmiştir.

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

$$B = 3,76 a \left(x + \frac{z}{4} + y + \frac{w}{2} \right) + \frac{t}{2} \quad (16)$$

Yıllık yakıt tüketimi (m_{fA}) [kg/m²-yıl] Eşitlik (17) ile hesaplanmaktadır.

$$m_{fA} = \frac{3600 IDS K}{LHV \eta} \quad (17)$$

M , yakıtın mol ağırlığı eşitlik (18) ile hesaplanarak elde edilir. 1 kg yakıtın yanması sonucu ortaya çıkacak emisyon oranları Eşitlik (19) ve Eşitlik (20) ile hesaplanmıştır.

$$M = 12x + 32y + z + 14t + 16w \quad (18)$$

$$M_{CO_2} = \frac{x CO_2}{M} \text{ (kg CO}_2\text{/kg)} \quad (19)$$

$$M_{SO_2} = \frac{y SO_2}{M} \text{ (kg SO}_2\text{/kg)} \quad (20)$$

Toplam yakıt miktarının belirlendiği m_{fA} eşitliği üzerinden, yanma sonucu açığa çıkacak toplam gaz emisyonları aşağıda verilen Eşitlik (21) ve (22) ile bulunur.

$$M_{CO_2} = \frac{44x}{M} m_f \quad (21)$$

$$M_{SO_2} = \frac{64y}{M} m_f \quad (22)$$

4. ANALİZ SONUÇLARI VE TARTIŞMA (RESULTS OF ANALYSIS AND DISCUSSION)

Bu çalışmada, 2014 yılı nüfus sayımına göre Ankara ili nüfusu 4.956.542 kişi olarak alınmıştır [28]. Yakıt türü olarak doğal gaz ve kömür, yalıtım malzemesi olarak da XPS, EPS, taş yünü ve havanın kullanıldığı varsayılmıştır. Duvar bileşenlerinde, optimum hava boşluğu kalınlığı, birim alandaki toplam maliyet, tasarruf edilen enerji miktarları hesaplanmıştır. Ayrıca

çalışmada kullanılan bu iki yakıt türüne ve dört farklı yalıtım malzemesine göre atmosfere salınan (BGE) hesaplanmıştır.

4.1 Yakıt Türünün Optimum Yalıtım Kalınlığı ve Hava Boşluğuna Etkisi (The Effect of Type of Fuel on Optimum Insulation Thickness and Air Gap)

Yakıt türü olarak doğal gaz kullanıldığında, üç farklı yalıtım malzemesi için dış duvar bileşenlerinde bırakılacak optimum hava boşluğu, geri ödeme süreleri, yıllık kazançlar ve toplam maliyetler Tablo 3 (a,b,c)'de verilmiştir.

Tablo 3. Doğal gaz için üç farklı yalıtım malzemesine göre hava boşluğunun etkileri (The effects of air gap for three different insulation materials for natural gas)

| XPS | Hava Boşluğu (cm) | | | | |
|----------------------------------|-------------------|-------|-------|--------|--------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| X _{op} (cm) | 9,2 | 7,7 | 6,3 | 4,8 | 3,4 |
| Top.Mal (TL/m ² -yıl) | 24,48 | 22,75 | 21,03 | 19,30 | 17,57 |
| GÖS (yıl) | 1,509 | 1,457 | 1,408 | 1,363 | 1,320 |
| Kazanç (TL/m ² -yıl) | 1,515 | 3,600 | 7,658 | 16,636 | 41,329 |

(a)

| EPS | Hava Boşluğu (cm) | | | | |
|----------------------------------|-------------------|-------|-------|--------|-------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| X _{op} (cm) | 11,8 | 10,2 | 8,6 | 7,0 | 5,4 |
| Top.Mal (TL/m ² -yıl) | 21,97 | 20,61 | 19,25 | 17,89 | 16,53 |
| GÖS (yıl) | 1,509 | 1,457 | 1,408 | 1,363 | 1,320 |
| Kazanç (TL/m ² -yıl) | 1,435 | 3,254 | 6,452 | 12,583 | 25,98 |

(b)

| TAŞ YÜNÜ | Hava Boşluğu (cm) | | | | |
|----------------------------------|-------------------|-------|-------|--------|--------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| X _{op} (cm) | 10,7 | 9,1 | 7,5 | 5,9 | 4,3 |
| Top.Mal (TL/m ² -yıl) | 23,65 | 22,05 | 20,45 | 18,85 | 17,25 |
| GÖS (yıl) | 1,484 | 1,437 | 1,393 | 1,351 | 1,312 |
| Kazanç (TL/m ² -yıl) | 1,490 | 3,467 | 7,197 | 15,038 | 34,842 |

(c)

Bu tabloda görüldüğü üzere, yalıtım malzemesi olarak sadece XPS kullanıldığında, OYK 9,2 cm iken, bu duvar bileşenine 4 cm hava boşluğu eklendiğinde OYK 3,4 cm'e, toplam maliyeti ise yıllık m² başına 24.48 TL'den 17.57 TL'ye geri ödeme süresi 1.509 yıldan 1.320 yıla düşürmekte, yıllık kazancıda %96 oranında artırmaktadır.

Yakıt türü olarak kömür, üç farklı yalıtım malzemesi ve farklı hava boşluğu kullanıldığında hesaplama sonuçları Tablo 4 (a, b, c)'de verilmiştir.

Tablo 4. Kömür için üç farklı yalıtım malzemesine göre hava boşluğunun etkileri (The effects of air gap for three different insulation materials for coal)

| XPS | Hava Boşluğu (cm) | | | | |
|----------------------------------|-------------------|-------|-------|--------|--------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| X _{op} (cm) | 10,8 | 9,4 | 7,9 | 6,5 | 5,0 |
| Top.Mal (TL/m ² -yıl) | 28,43 | 26,70 | 24,97 | 23,24 | 21,52 |
| GÖS (yıl) | 1,426 | 1,390 | 1,356 | 1,323 | 1,292 |
| Kazanç (TL/m ² -yıl) | 1,425 | 3,203 | 6,297 | 12,131 | 24,561 |

(a)

| TAŞ YÜNÜ | Hava Boşluğu (cm) | | | | |
|----------------------------------|-------------------|-------|--------|--------|--------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| X _{op} (m) | 12,6 | 11,0 | 9,4 | 7,8 | 6,2 |
| Top.Mal (TL/m ² -yıl) | 27,45 | 25,85 | 24,25 | 22,65 | 21,05 |
| GÖS (yıl) | 1,405 | 1,373 | 1,342 | 1,312 | 1,284 |
| Kazanç (TL/m ² -yıl) | 3,313 | 7,342 | 14,168 | 26,580 | 51,654 |

(b)

| EPS | Hava Boşluğu (cm) | | | | |
|----------------------------------|-------------------|-------|-------|-------|--------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| X _{op} (m) | 13,8 | 12,2 | 10,6 | 9,0 | 7,4 |
| Top.Mal (TL/m ² -yıl) | 25,47 | 24,11 | 22,75 | 21,39 | 20,03 |
| GÖS (yıl) | 1,365 | 1,339 | 1,314 | 1,290 | 1,267 |
| Kazanç (TL/m ² -yıl) | 1,365 | 2,947 | 5,490 | 9,814 | 17,759 |

(c)

Bu tabloda görüldüğü üzere yalıtım malzemesi olarak sadece XPS kullanıldığında, OYK 10,8 cm iken, bu duvar bileşenine 4 cm hava boşluğu eklendiğinde OYK 5,0 cm'e, toplam maliyeti ise yıllık m² başına 28.43 TL'den 21.52 TL'ye düşürmekte, yıllık kazancıda % 96 oranında artırmaktadır.

4.2 Yalıtım Kalınlığı ve Hava Boşluğunun Baca Gazı Emisyonlarına Etkisi (The Effect of Insulation Thickness and Air Gap on Exhaust Emission)

Enerji kaynaklarını, çevre üzerindeki etkilerinden bağımsız olarak ele almak mümkün değildir. Özellikle kömür ve linyit gibi fosil yakıtların yanması sonucu oluşan CO₂, SO₂, NO_x emisyonları, atmosferik kirliliğin artmasında birinci derecede etkindir. Endüstriyel faaliyetler sonucunda, her yıl atmosfere yaklaşık 20 milyar ton CO₂, 100 milyon ton kükürt bileşikleri, 2 milyon ton kurşun ve diğer zehirli kimyasal bileşikler salınmaktadır. CO₂ ve SO₂ emisyonları doğrudan doğruya tüketilen enerjinin miktarı ile orantılıyken, NO₂, CO ve diğer uçucuların oluşturduğu emisyon seviyeleri ise kullanılan teknolojiye bağlıdır [29]. Bu yüzden bina dış duvarlarında uygulanacak yalıtım sayesinde açığa çıkan baca gazı salınımları da azalacaktır. Bu çalışmada makale metninin uzamaması için, baca gazı emisyon hesaplamalarında yalıtım malzemesi olarak XPS dikkate alınmıştır.

4.2.1 Yakıt Olarak Kömür Kullanılması Durumunda Kükürtdioksit Salınımı (The Amount of SO₂ Emission in Case of Using Coal as Fuel)

Bu çalışmada yakıt olarak kömür kullanılması halinde yalıtımsız ve farklı hava boşluğu kalınlıklarının kullanıldığı yalıtım malzemeleri için hesaplanan SO₂ salınımları Tablo 5'te verilmiştir. Bu tabloda Ankara ili için yalıtımsız bir binanın sadece dış duvarlarından yılda m² başına 0,461kg SO₂ gazı salındığı bulunmuştur. Bu binanın, pencereler ve balkon kapıları hariç dış duvar toplam yüzey alanı 100 m² olduğu kabulüne göre yıllık 46,1 kg SO₂ atmosfere salınmakta, aynı binada 4 cm yalıtım kalınlığı ve 4 cm hava boşluğu uygulandığında salınan SO₂ miktarı 8,1kg/yıldır.

Bu karşılaştırmaya göre atmosfere salınan SO₂ oranı %82,4 azalmaktadır. Şekil 2'de dört farklı XPS yalıtım malzemesi kalınlığına göre SO₂ salınım dağılımı verilmiştir. Bu şekilde en az salınım 4 cm, daha sonra sırasıyla 3-2-1 cm yalıtımlı yapı bileşenlerinde, en fazla salınım ise yalıtımsız yapı

bileşeninde olduğu görülmektedir. Hareketli ortalama dağılım denklem takımı kullanıldığında R² 'nin %95,95'e kadar yakınsadığı Eşitlik (23) ile bulunmuştur.

$$y = 0.1627e^{-8.616x} \quad (23)$$

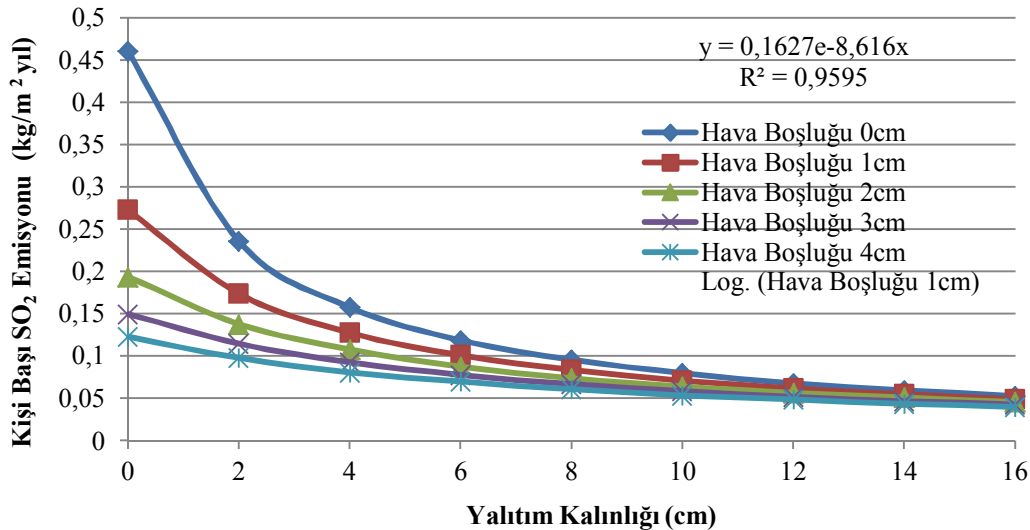
y, kişi başı SO₂ emisyon miktarını, x ise optimum yalıtım kalınlığını göstermektedir.

4.2.2 Yakıt Olarak Kömür Ve Doğal Gaz Kullanılması Durumunda Karbondioksit Salınımı (The Amount of CO₂ Emission in Case of Using Natural Gas as Fuel.)

Ankara ili için yakıt olarak doğal gaz ve kömür kullanıldığında yalıtım kalınlığı ve hava boşluğuna göre CO₂ salınımları Tablo 6' ve Tablo 7'de gösterilmiştir. Yalıtımsız bir binaya göre 4 cm yalıtım kalınlığı ve 4cm hava boşluğu uygulamasında, dış duvardan yılda m² başına atmosfere salınan CO₂ oranı %82,32 azalmaktadır. Kömür ve doğal gaz için yalıtım malzemesi-hava boşluğu kalınlığına göre CO₂ salınımları Şekil 3 ve Şekil 4'te verilmiştir.

Tablo 5. Yakıt olarak kömür kullanılması durumunda SO₂ salınım miktarı (kg/m²yıl) (The amount of SO₂ emission (kg / m² year) in case of using coal as fuel.)

| Hava Boşluğu (cm) | SO ₂ Emisyon Miktarı (kg/m ² yıl) | | | | | | | | |
|-------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Yalıtım Kalınlığı (cm) | | | | | | | | |
| | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 |
| 0 | 0,461 | 0,236 | 0,158 | 0,119 | 0,096 | 0,080 | 0,068 | 0,060 | 0,053 |
| 1 | 0,273 | 0,174 | 0,128 | 0,101 | 0,084 | 0,071 | 0,062 | 0,055 | 0,049 |
| 2 | 0,194 | 0,138 | 0,108 | 0,088 | 0,074 | 0,064 | 0,057 | 0,051 | 0,046 |
| 3 | 0,150 | 0,115 | 0,093 | 0,078 | 0,067 | 0,059 | 0,052 | 0,047 | 0,043 |
| 4 | 0,123 | 0,098 | 0,081 | 0,070 | 0,061 | 0,054 | 0,049 | 0,044 | 0,040 |



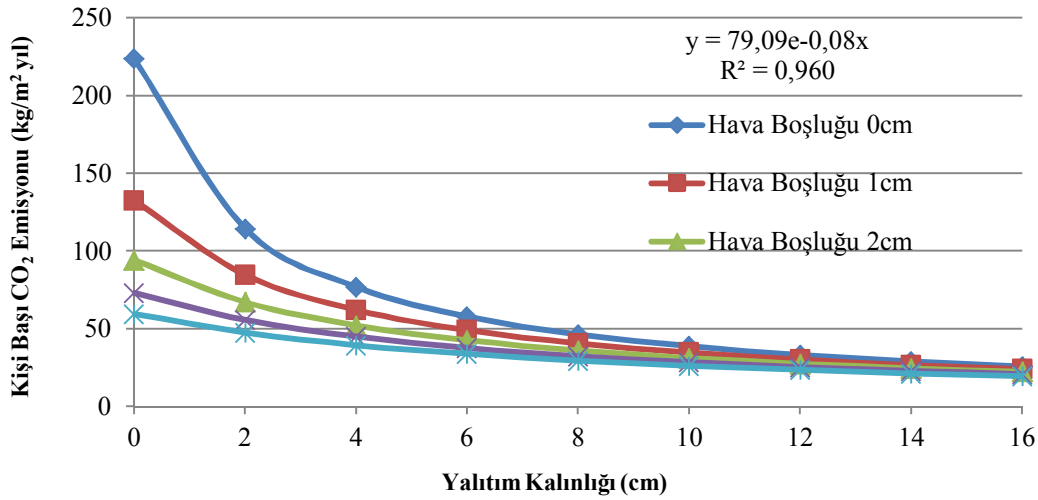
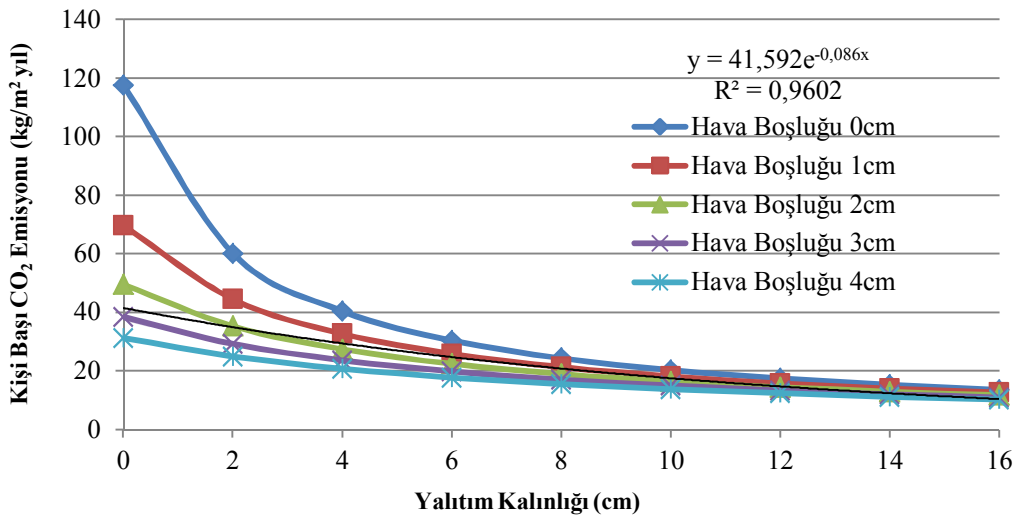
Şekil 2. Kömür için, yalıtım malzemesi-hava boşluğu kalınlığına göre kişi başı yıllık SO₂ emisyon miktarı (kg/m²yıl) (The amount of SO₂ emission (kg / m² year) according to insulation material and air gap thicknesses for coal used as fuel

Tablo 6. Doğal gaz kullanılması durumunda CO₂ salınım miktarı (kg/m²yıl) (The amount of CO₂ emission (kg / m² year) in case of using natural gas as fuel)

| Hava Boşluğu (cm) | CO ₂ Emisyon Miktarı (kg/m ² yıl) | | | | | | | | |
|-------------------|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | Yalıtım Kalınlığı (cm) | | | | | | | | |
| | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 |
| 0 | 117,679 | 60,214 | 40,458 | 30,463 | 24,428 | 20,389 | 17,496 | 15,322 | 13,629 |
| 1 | 69,751 | 44,551 | 32,727 | 25,863 | 21,379 | 18,220 | 15,874 | 14,064 | 12,624 |
| 2 | 49,565 | 35,354 | 27,476 | 22,470 | 19,006 | 16,468 | 14,528 | 12,997 | 11,757 |
| 3 | 38,440 | 29,305 | 23,678 | 19,864 | 17,108 | 15,023 | 13,392 | 12,080 | 11,002 |
| 4 | 31,394 | 25,023 | 20,802 | 17,799 | 15,554 | 13,812 | 12,421 | 11,284 | 10,338 |

Tablo 7. Kömür kullanılması durumunda CO₂ salınım miktarı (kg/m²yıl) (The amount of CO₂ emission (kg / m² year) in case of using coal as fuel)

| Hava Boşluğu (cm) | CO ₂ Emisyon Miktarı (kg/m ² yıl) | | | | | | | | |
|-------------------|---|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | Yalıtım Kalınlığı (cm) | | | | | | | | |
| | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 |
| 0 | 223,828 | 114,516 | 76,940 | 57,931 | 46,454 | 38,773 | 33,271 | 29,137 | 25,917 |
| 1 | 132,636 | 84,716 | 62,232 | 49,180 | 40,653 | 34,646 | 30,186 | 26,743 | 24,005 |
| 2 | 94,251 | 67,228 | 52,248 | 42,727 | 36,142 | 31,315 | 27,626 | 24,714 | 22,357 |
| 3 | 73,096 | 55,725 | 45,025 | 37,772 | 32,531 | 28,568 | 25,465 | 22,971 | 20,921 |
| 4 | 59,697 | 47,583 | 39,556 | 33,846 | 29,577 | 26,264 | 23,619 | 21,457 | 19,658 |

**Şekil 3.** Kömür için yalıtım malzemesi-hava boşluğu kalınlığına göre kişi başına düşen yıllık CO₂ emisyon miktarı(kg/m²yıl) (The amount of CO₂ emission (kg / m² year) according to insulation material and air gap thicknesses for coal used as fuel)**Şekil 4.** Doğal gaz için yalıtım malzemesi-hava boşluğu kalınlığına kişi başına düşen yıllık CO₂ emisyon miktarı (kg/m²yıl) (The amount of CO₂ emission (kg / m² year) according to insulation material and air gap thicknesses for natural gas used as fuel)

Şekil 3 ve Şekil 4’de her iki yakıt türü ve hava boşluğu kalınlığına göre CO₂ salınım ilişkisi görülmektedir. Bu şekillerde en fazla salınım yalıtımsız yapı bileşenlerinde, daha sonra sırasıyla 1-2-3 ve 4 cm yalıtımlı yapı bileşenlerinde olduğu görülmektedir

4.3 Ankara’daki Konut Sayısı ve Nüfusa Bağlı Baca Gazı Salınımlarının Hesaplanması (The Calculation of Exhaust Emission Dependent on Number of Building and Population in Ankara)

2014 yılı Ankara ili verilerine göre tüm sektörlerde (mesken, sanayi, ticari, resmi daire ve diğer) elektrik abone sayısı 2.460.950’dir. Mesken abone sayısı ise toplam abone sayısının %85,3’ü yani 2.099.947 konuttur [30]. Ankara nüfusu 4.956.542 kişidir [28]. Ankara’daki 2.099.947 konutun her birinin 100 m² olduğu varsayımına göre dış duvar alanı Eşitlik (24)’e göre, yakıt olarak kömür ve doğal gaz kullanıldığı varsayımı ile yakıt tüketimi emisyon miktarı (YTEM) Eşitlik (25)’e göre hesaplanmıştır.

$$m = n \cdot 100 \quad [m^2] \quad (24)$$

$$YTEM = \frac{m \cdot e}{p} \quad [kg/kışıyıl] \quad (25)$$

Denklemden “m” tüm konutların m² olarak dış duvar alanını, “p” nüfus sayısını, “n” konut sayısını, “e” ise emisyon değerini ifade etmektedir. Ankara’daki konutların tamamında yakıt olarak kömür kullanılması durumunda, farklı yalıtım ve hava boşluğu uygulamalarına göre kişi başı SO₂ ve CO₂ emisyon miktarı Tablo 8 ve Tablo 9’da görülmektedir. Tablo 8’de binaların tamamı yalıtımsız

ve tamamında doğal gaz kullanılması durumunda kişi başı CO₂ miktarı 4985,7 kg olduğu, aynı tabloda yalıtım kalınlığı ve hava boşluğu 4 cm olması durumunda kişi başına yıllık CO₂ salınımı 881,31 kg olduğu verilmiştir. Burada da yalıtımlı binadaki CO₂ salınım miktarı %82,32 azalmaktadır. Doğal gaz kullanıldığında ise Şekil 5’te yalıtım kalınlığı ve hava boşluğunun artmasıyla CO₂ emisyonlarının da azaldığı görülmektedir. Tablo 9’da binaların tamamı yalıtımsız ve kömür kullanılması durumunda kişi başı SO₂ miktarı 19,514 kg olduğu, aynı tabloda yalıtım kalınlığı ve hava boşluğu 4 cm olması durumunda kişi başına yıllık SO₂ emisyonunun 3,4487 kg olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre yalıtımlı binada SO₂ salınım miktarı %82,32 azalmaktadır. Tablo 10’de binaların tamamı yalıtımsız ve kömür kullanılması durumunda kişi başı SO₂ miktarı 19,514 kg olduğu, aynı tabloda yalıtım kalınlığı ve hava boşluğu 4 cm olması durumunda kişi başına yıllık SO₂ emisyonunun 3,4487 kg olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre yalıtımlı binada SO₂ salınım miktarı %82,32 azalmaktadır.

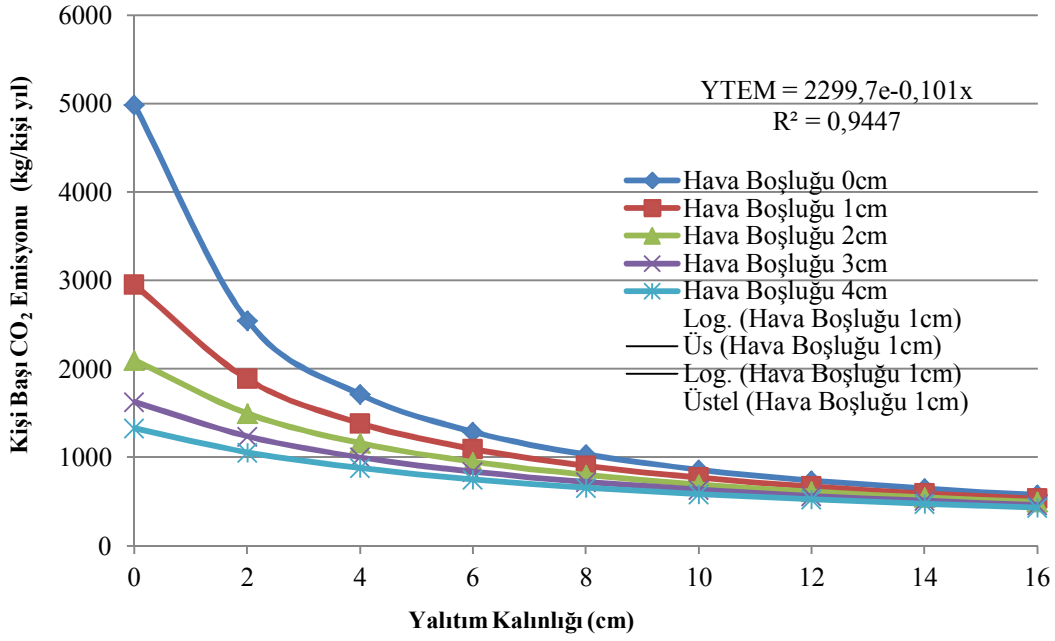
Tablo 10’da binaların tamamı yalıtımsız ve kömür kullanılması durumunda kişi başı CO₂ miktarı 9482,95 kg olduğu, yalıtım kalınlığı ve hava boşluğu 4 cm olması durumunda kişi başına yıllık CO₂ salınımının 1675,87 kg olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre yalıtımlı binadaki CO₂ salınım miktarı %82,32 azalmaktadır. Tablo 9 ve 10’da SO₂ ve CO₂ emisyon miktarları farklı olmasına rağmen yalıtım kalınlığına bağlı emisyon değerlerinde ki azalmanın oransal olarak aynı olduğu görülmektedir. Bu yaklaşımla Şekil 6 ve 7’de SO₂ ve CO₂ salınım eğimlerinin birbirine yaklaşık olduğu görülmektedir.

Tablo 8. Doğal gaz için kişi başı CO₂ emisyon miktarı (kg/kişi yıl) (The amount of CO₂ emission (kg / person year) in case of using natural gas as fuel)

| Hava Boşluğu (cm) | CO ₂ Emisyon Miktarı (kg/kişi yıl) | | | | | | | | |
|-------------------|--|----------|---------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | Yalıtım Kalınlığı (cm) | | | | | | | | |
| | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 |
| 0 | 4985,7 | 2551,11 | 1714,09 | 1290,63 | 1034,95 | 863,829 | 741,262 | 649,155 | 577,409 |
| 1 | 2955,16 | 1887,49 | 1386,54 | 1095,73 | 905,763 | 771,930 | 672,555 | 595,848 | 534,847 |
| 2 | 2099,92 | 1497,85 | 1164,1 | 951,977 | 805,245 | 697,704 | 615,504 | 550,631 | 498,129 |
| 3 | 1628,6 | 1241,562 | 1003,16 | 841,5648 | 724,8082 | 636,5016 | 567,3757 | 511,7934 | 466,1296 |
| 4 | 1330,06 | 1060,16 | 881,31 | 754,102 | 658,981 | 585,17 | 526,227 | 478,073 | 437,992 |

Tablo 9. Kömür için kişi başı SO₂ emisyon miktarı (kg/kişi yıl). (The amount of SO₂ emission (kg / person.year) for coal used as fuel)

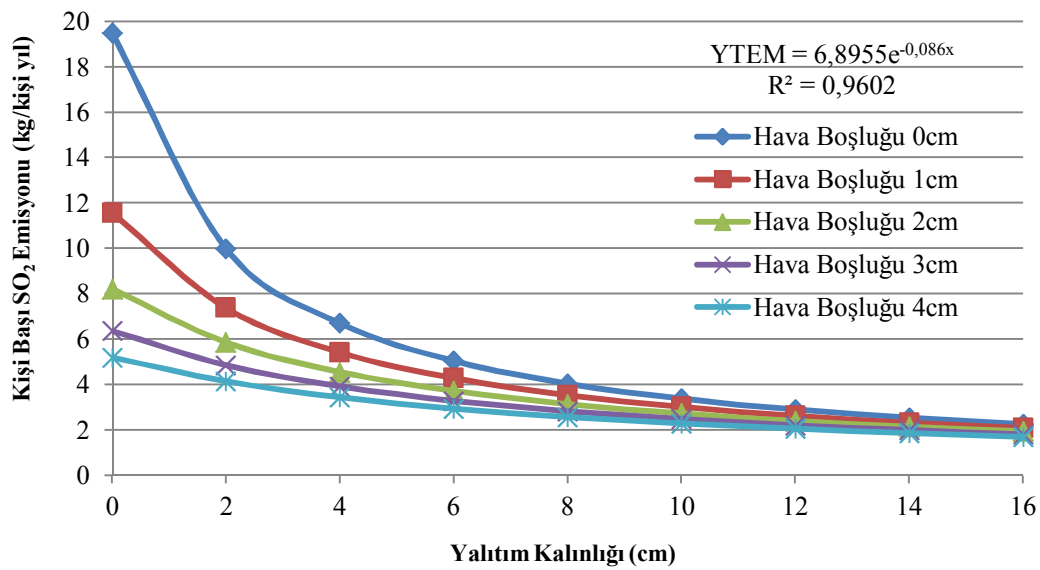
| Hava Boşluğu (cm) | SO ₂ Emisyon Miktarı (kg/kişi yıl) | | | | | | | | |
|-------------------|--|--------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | Yalıtım Kalınlığı (cm) | | | | | | | | |
| | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 |
| 0 | 19,514 | 9,9842 | 6,7081 | 5,0508 | 4,0501 | 3,3804 | 2,9007 | 2,5403 | 2,2595 |
| 1 | 11,564 | 7,3861 | 5,4258 | 4,2878 | 3,5444 | 3,0207 | 2,6318 | 2,3316 | 2,0929 |
| 2 | 8,2173 | 5,8613 | 4,5553 | 3,7252 | 3,1510 | 2,7302 | 2,4085 | 2,1547 | 1,9492 |
| 3 | 6,3730 | 4,8584 | 3,9255 | 3,2931 | 2,8363 | 2,4907 | 2,2202 | 2,0027 | 1,8240 |
| 4 | 5,2047 | 4,1485 | 3,4487 | 2,9509 | 2,5787 | 2,2898 | 2,0592 | 1,8707 | 1,7139 |



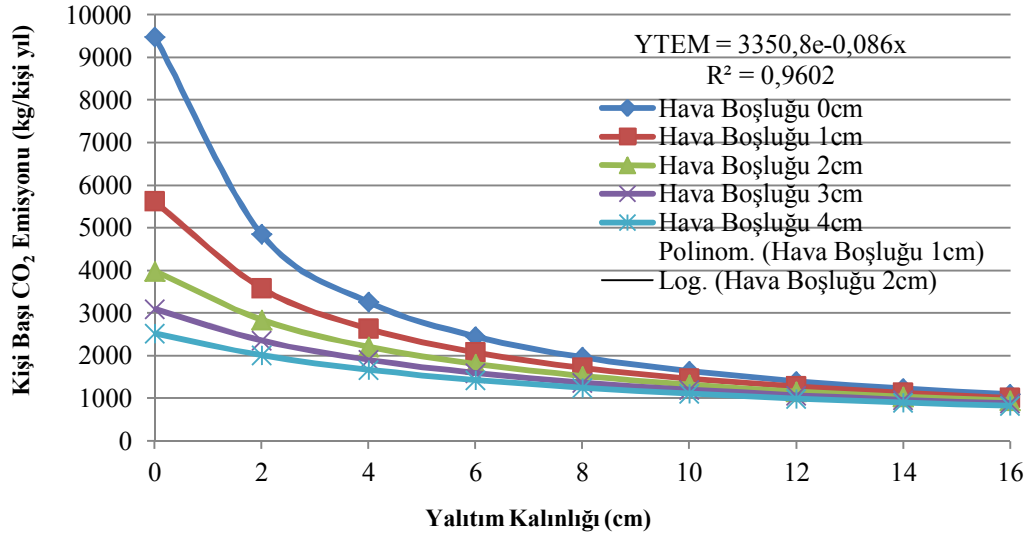
Şekil 5. Doğal gaz için yalıtım malzemesi ve hava boşluğu kalınlığına göre kişi başı CO₂ emisyon dağılımı (kg/m²yıl) (The distribution of CO₂ emission per person according to insulation material and air gap for natural gas used as fuel)

Tablo 10. Kömür için kişi başı CO₂ emisyon miktarı (kg/kişiyıl) (The amount of CO₂ emission (kg / person.year) for coal used as fuel)

| Hava Boşluğu (cm) | CO ₂ Emisyon Miktarı (kg/kişi yıl) | | | | | | | | |
|-------------------|--|---------|----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | Yalıtım Kalınlığı (cm) | | | | | | | | |
| | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 |
| 0 | 9482,95 | 4851,70 | 3259,72 | 2454,38 | 1968,13 | 1642,69 | 1409,60 | 1234,44 | 1098,00 |
| 1 | 5619,43 | 3589,18 | 2636,60 | 2083,60 | 1722,36 | 1467,87 | 1278,90 | 1133,04 | 1017,04 |
| 2 | 3993,13 | 2848,26 | 2213,60 | 1810,24 | 1531,22 | 1326,72 | 1170,41 | 1047,05 | 947,223 |
| 3 | 3096,88 | 2360,90 | 1907,57 | 1600,28 | 1378,26 | 1210,34 | 1078,89 | 973,206 | 886,373 |
| 4 | 2529,20 | 2015,95 | 1675,87 | 1433,97 | 1253,09 | 1112,73 | 1000,65 | 909,084 | 832,869 |



Şekil 6. Kömür için yalıtım malzemesi ve hava boşluğu kalınlığına göre kişi başı SO₂ emisyon dağılımı (kg/kişiyıl) (The distribution of SO₂ emission per person according to insulation material and air gap for coal used as fuel (kg / person.year))



Şekil 7. Kömür için yalıtım malzemesi ve hava boşluğu kalınlığına göre kişi başı CO₂ emisyonu dağılımı (kg/kişi yıl) (The distribution of CO₂ emission per person according to insulation material and air gap for coal used as fuel (kg / person year))

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada yakıt olarak doğal gaz kullanıldığında, yalıtım malzemesi XPS ile birlikte duvar bileşenine 4 cm hava boşluğu ilave edildiğinde XPS kalınlığını % 63 oranında, GÖS'ni 2.268 ay, toplam maliyeti de %28 oranında azaltmaktadır. Yıllık kazanç ise %96 arttığı tespit edilmiştir. Yakıt olarak kömür kullanıldığında XPS kalınlığı %54, GÖS'ni 1.608 ay, toplam maliyette % 24 azalmaktadır. Yıllık kazanım ise m² başına %94 arttığı hesaplanmıştır. Ankara'daki binaların tamamı yalıtımsız ve kömür kullanılması durumunda kişi başı SO₂ miktarıyla, yalıtım kalınlığı 4 cm ve hava boşluğunun da 4 cm olması durumunda kişi başına yıllık SO₂ ve CO₂ salınımı %82,32 azalmaktadır. Dört cm yalıtım kalınlığı, 4 cm hava boşluğu ve yakıt olarak doğal gaz kullanılması durumunda, CO₂ emisyonu 881,31 kg/kişi yıl, kömür kullanılması durumunda CO₂ emisyonu 1675,87 kg/kişi yıldır. Ankara ili 2014'deki nüfus, meskene ait elektrik abone sayıları temel alınarak yapılan hesaplamalara göre Ankara toplam dış duvar alanı 209.994.700 m² olarak belirlenmiştir. Bu dış duvar alanına göre yakıt olarak doğalgaz kullanılması durumunda yalıtımsız binada 24.711.831 ton/yıl CO₂ salınmaktadır. Yalıtım kalınlığı 4 cm ve 4 cm hava boşluğu uygulamasıyla 4.368.250 ton/yıl CO₂ salınacağı hesaplanmıştır. Bu durumda CO₂ salınımının %83 azalacağı hesaplanmıştır. Kömür kullanılması durumunda yalıtım yapılmadan yılda 96.721.961 ton/yıl SO₂, 47.002.640 ton/yıl CO₂ salınmaktadır. Yalıtım kalınlığı 4 cm ve 4 cm hava boşluğu uygulamasıyla 17.094 ton/yıl SO₂ ve 83.065.220 ton/yıl CO₂ salınacağı hesaplanmıştır. Bu durumda CO₂ oranının %83 azaltılabileceği görülmüştür. 209.994.700 m² dış duvar alanına göre; yakıt olarak doğal gaz, yalıtım malzemesi olarak

3.4cm XPS, 4cm hava boşluğuna göre yıllık kazanç 317.091.997 TL'den 8.651.361.651 TL'ye yükselmiştir. Yakıt olarak kömür, yalıtım malzemesi olarak 5 cm XPS, 4cm hava boşluğuna göre yıllık kazanç 299.242.448 TL'den 5.157.679.827 TL'ye yükselmiştir. Dolayısıyla OYK'nın doğru tespit edilmesi çevresel ve ekonomik açıdan çok önem arz etmektedir. Bu nedenle yalıtımsız binalar için yalıtımı özendirme adına kısmen hibe ve uzun vadeli faizsiz kredilerle devlet teşvikine ihtiyaç vardır.

SEMBOLLER VE KISALTMALAR (SYMBOLS AND ABBREVIATIONS)

| | |
|--------|---|
| C_y | Yalıtım maliyet [TL/m ³] |
| C_f | Yakıt maliyet [TL/kg, TL/m ³ , TL/kWh] |
| EA | Isıtma için gerekli yıllık enerji miktarı [J/m ² yıl] |
| g | Enflasyon oranı [%] |
| $GÖS$ | Geri ödeme süresi [Yıl] |
| IDS | Isıtma derece Saat [°C-saat] |
| i | Faiz oranı [%] |
| 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, m ³ /m ² yıl, kWh/m ² yıl] |
| PP | Geri ödeme süresi [yıl] |
| P_1 | Şimdiki değer faktörü |
| q | Yıllık ısı kaybı [MJ/m ² yıl] |
| r | Gerçek faiz oranı |
| R | Isıl direnç [m ² K/W] |
| T_b | Mahal sıcaklığı [°C] |
| T_0 | Ortalama dış sıcaklık [°C] |
| U | Toplam ısı geçiş katsayısı [W/mK] |
| η | Yakma sisteminin verimi |
| x | Yalıtım Kalınlığı [m] |

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Al-Homoud, M. S., "Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials", **Building and Environment**, Cilt 40, 353-366, 2005.
2. Bolattürk, A., "Determination of optimum insulation thickness for building walls with respect to various fuels and climate zones in Turkey", **Applied Thermal Engineering**, Cilt 26 No 11-12, 1301-1309, 2006.
3. Keçebas, A. ve Kayfeci, M., "Effect on optimum insulation thickness, cost and saving of storage desing temperature in cold storage in Turkey", **Energy Education Science and Technology**, Cilt 25, No 2, 117-127, 2010.
4. Gölcü, M., Dombaycı, A. ve Abalı, S., "Denizli için optimum yalıtım kalınlığının enerji tasarrufuna etkisi ve sonuçları", **Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, Cilt 21, No 4, 639-644, 2006.
5. Öztuna, S. ve Dereli E., "Edirne ilinde optimum duvar yalıtım kalınlığının enerji tasarrufuna etkisi", **Trakya Univ J. Sci**, Cilt 10, No 2, 139-147, 2009.
6. Deniz, E., Gürel, A. E., Daşdemir, A. ve Çamur, D., "Fuel consumption and influences of external wall optimum insulation thickness to owning cost of energy", **Karabuk Univ, Technology**, Cilt 12, No 4, 283-290, 2009.
7. Yıldız, A., Gürlek, G., Erkek, M. ve Özbalta, N., "Economical and environmental analyses of thermal insulation thickness in buildings", **Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi**, Cilt 28, No 2, 25-34, 2008.
8. Yu, J., Yang, C., Tian, L., ve Liao, D., "A study on optimum insulation thickness of external walls in hot summer and cold winter zone of China", **Applied Energy**, Cilt 86, No 4, 2520-2529, 2009.
9. Daouas, N., Hassen, H. ve Aıssıa, H., "Analytical periodic solution for the study of thermal performance and optimum insulation thickness of building walls in Tunisia", **Applied Thermal Engineering**, Cilt 30, No 4, 319-326, 2010.
10. Al-Khawaja, M. J., "Determination and selecting the optimum thickness of insulation for buildings in hot countries by accounting for solar radiation", **Applied Thermal Engineering**, Cilt 24, No 17-18, 2601-2610, 2004.
11. Çay, Y., "The impact of determination of optimum insulation thickness on energy saving for different climatic regions of Turkey", **Energy Education Science and Technology**, Cilt 28, No 10, 83-94, 2011.
12. Balo, F. ve Uçar, A., "Yapıların dış duvarlarında optimum yalıtım kalınlığının üç farklı metotla tespiti", **10. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi**, İzmir, 1: 271-285 2011.
13. Aytaç A. ve Aksoy U. T., "Enerji tasarrufu için dış duvarlarda optimum yalıtım kalınlığı ve ısıtma maliyeti ilişkisi", **Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, Cilt 21, No 4, 753-758, 2006.
14. Mahlia, T. M. I. ve Iqbal, A., "Cost benefits analysis and emission reductions of optimum thickness and air gaps for selected insulation materials for building walls in Maldives", **Energy**, Cilt 35, No 5, 2242-2250, 2010.
15. Gürel, A. E. ve Daşdemir A., "Economical and Environmental Effects of Thermal Insulation Thickness in Four Different Climatic Regions of Turkey", **IJRER**, Cilt 1, 1-10, 2011.
16. Kurt, H., "The usage of airgap in the composite wall for energy saving and air pollution", **Environmental Progress & Sustainable Energy**, Cilt 30, 450-458, 2011.
17. Mıhlayanlar, E., Umaroğulları, F. ve Kartal, S., "Binalarda enerji verimliliği açısından ısı yalıtımının hava kirliliğine etkisi - Edirne örneği" **10. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi**, İzmir, 2111-2119, 2011.
18. Mahlia, T. M. I. ve Iqbal, A., "Cost benefits analysis and emission reductions of optimum thickness and air gaps for selected insulation materials for building walls in Maldives", **Energy**, Cilt 35, 2242-2250, 2010.
19. Deniz, E., Gürel, A. E., Daşdemir, A. ve Çamur, D., "Fuel consumption and influences of external wall optimum insulation thickness to owning cost of energy", **Karabuk University, Technology**, Cilt 12, No 4, 283-290, 2009.
20. TS 500 "Betonarme Yapıların Tasarımı ve Yapım Kuralları" **TSE**, 4 Haziran 2004.
21. Özel M., "Dört Farklı İl İçin Optimum Yalıtım Kalınlıklarının Belirlenmesi ve Çevresel Analiz", **Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi**, Cilt 10, 1-17, 2013.
22. Hasan A., "Optimizing Insulation Thickness for Buildings Using Life Cycle Cost" **Applied Energy**, Cilt 63, 115-124, 1999.
23. Ozkahrman, H. T., Bolatturk, A., "The Use of Tuff Stone Cladding in Buildings for Energy Conservation", **Construction and Building Materials**, Cilt 20, 435-440, 2005.
24. Yıldız, A., Gürlek, G., Erkek, M. ve Özbalta, N., "Economical and environmental Analyses of thermal insulation thickness in buildings", **Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi**, Cilt 28, 25-34, 2008.
25. Al-Sanea S. A., Zedan M. F., Al-Ajlan S. A. ve Abdul Hadi A. S., Heat transfer characteristics and optimum insulation thickness for cavity walls, **J. Thermal Envelope and Building Science**, Cilt 26, No 3, 285-307, 2003.
26. Hasan A., Optimizing insulation thickness for buildings using life cycle cost, **Applied Energy**, Cilt 63, 115- 124, 1999.

27. İnternet: Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası, <http://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/tcmb+tr/tcmb+tr/main+menu/para+politikasi/merkez+bankasi+faiz+oranlari>, 2014
28. İnternet: Türkiye İstatistik Kurumu, <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/kn=95&locale=tr>, 2014.
29. Kadıoğlu, S. ,Telliöğlu Z., "Enerji kaynaklarının kullanımı ve çevreye etkileri", **TMMOB Türkiye 1. Enerji Sempozyumu**, Ankara, 55-67, 12-14 Kasım 1996.
30. İnternet: Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi, http://www.tedas.gov.tr/sx_web.docs/tedas/docs/faaliyetrapor/2014_yili_faaliyet_raporu.pdf