



NWSA-ENGINEERING SCIENCES

Received: September 2012
Accepted: January 2013
NWSA ID : 2013.8.1.1A0340
ISSN : 1308-7231
© 2013 www.newwsa.com

**Okan Kon, Gülşen Yaman
Nadir İlten, Bedri Yüksel**

Balikesir University, Balikesir-Turkey
okan@balikesir.edu.tr
gyaman@balikesir.edu.tr
nilten@balikesir.edu.tr
byuksel@balikesir.edu.tr

**BİNALARDA DIŞ DUVAR YALITIMININ HAVA KİRLİLİĞİ AÇISINDAN ÖNEMİ:
BALIKESİR İL MERKEZİ ÖRNEĞİ**

ÖZET

Ülkemiz toplam tüketilen enerjinin yaklaşık %30'unu binaların ısıtılması ve soğutulması amacıyla kullanmaktadır. Yalıtımsız binalar nedeniyle fazla kullanılan enerji; kükürtdioksit, karbonmonoksit, karbondioksit, toz ve kül gibi maddeleri meydana getirir, bu ise hava kirliliğini artırmaktadır. Bu kirletici maddelerin miktarları, binalarda yalıtım uygulamaları sonucu azaltılabilir. Ülkemizde konutlarda enerji tasarrufuna yönelik, TS 825 "Binalarda Isı Yalıtım Kuralları" standardı en son 2008 yılında yenilenmiştir. Standarda ülkemiz 4 bölgeye ayrılmıştır. Bu çalışma, TS 825 standardına göre 2. bölgede bulunan Balıkesir ili için yapılmıştır. Balıkesir il merkezinde ısıtma amaçlı doğal gaz tüketimi son 5 yılda hızlı bir şekilde artmıştır. Çalışmada, Balıkesir ilini temsil eden örnek bir bina seçilmiştir. Örnek binada doğal gaz ve kömürün ısıtma amaçlı yakıt olarak kullanıldığı kabul edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Konutlarda Yalıtım, Yalıtım Kalınlığı,
Hava Kirliliği, Enerji Tasarrufu, Yakıt

**THE IMPORTANCE OF OUTER WALL INSULATION IN REGARDS TO AIR POLLUTION:
EXAMPLE OF BALIKESIR CITY CENTER**

ABSTRACT

In our country, approximately 30% of total consumed energy is used for heating and cooling of the buildings. Excessive energy used due to uninsulated buildings; produces materials like sulfur dioxide, carbon monoxide, carbon dioxide, dust and ash, which rises air pollution. Level of these pollutants can be decreased through the insulation applications for buildings. The TS 825, "Heat Insulation Rules for Buildings" standard is aimed at energy saving in residences in our country was last renewed in 2008. According to this standard our country is divided into 4 regions. This study is made for the city of Balıkesir which resides in the 2nd region with respect to the TS 825 standard. Natural gas consumption for heating purposes has increased rapidly in the last 5 years in the city center of Balıkesir. A sample building which represents the city of Balıkesir is chosen. Therefore, it is regarded as that natural gas and coal are used as fuel for heating purposes in the sample building.

Keywords: Insulation in Houses, Insulation Thickness,
Air Pollution, Energy Saving, Fuel

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Türkiye’de tüketilen toplam enerjinin üçte biri binaların ısıtılması ve soğutulmasında kullanılmaktadır [1]. Binaların uygun şekilde yalıtılmasıyla bu enerji tüketimi azaltılabilir [2]. Yalıtım malzemesi kullanılmaması nedeniyle yakıt tüketimi artmakta ve buna bağlı olarak; kükürtdioksit, karbonmonoksit, kül, toz vb maddelerin oluşturduğu çevre kirliliği de artmaktadır[1]. Ekonomi ve endüstrideki hızlı büyüme ile nüfus artışı ve kentleşme 1980’den beri çoğu şehirlerimizde hava kirliliğini arttırmıştır. Yüksek miktarlardaki enerji kullanımı çevre problemlerini ve global iklim değişimine sebep olmuştur. Global ısınma, sera gazı etkisi olarak bilinmektedir [3].

Son 200 yılda insanların faaliyetleri sonucu oluşan CO₂ emisyonları %30 oranında artmıştır. CO₂ artışı her yıl yaklaşık %0.4 oranında artmaktadır. CO₂ emisyonlarının yaklaşık %80’i, NO_x emisyonlarının neredeyse tamamı ve metan emisyonlarının yaklaşık %30 enerji tüketimi sonucu oluşmaktadır. Daha fazla enerji tasarrufu ve enerjinin verimli kullanımı sonucu enerji ile ilişkili emisyonlar çok etkili bir biçimde azaltılabilir [4].

Çoğu çevresel analiz ve yasal kontroller;kükürtdioksit (SO₂), azot oksitler (NO_x), partiküller ve karbonmonoksit (CO) gibi geleneksel kirleticiler üzerine yoğunlaşmıştır. Buna karşın, günümüzde, global kirletici olarak karbondioksit (CO₂) de sayılabilir [5].

Konuyla ilgili olarak literatürde yapılan çalışmalarını inceleyerek:

- A.Uçar ve F.Balo’nun yaptıkları çalışmada, Türkiye’nin dört ayrı iklim bölgesindeki dört ayrı şehirde (Mersin, Elazığ, Şanlıurfa, ve Bitlis) ve beş ayrı yakıt türü için (Kömür, Doğal Gaz, Fuel-oil, LPG ve Elektrik) dış duvarların ısıtma ve soğutma yükleri için optimum yalıtım kalınlıklarını ve buna bağlı olarak enerji tasarrufu ve geri dönüş sürelerini hesaplamışlardır. Yalıtım malzemesi olarak ekstrüde polistiren, ekspande polistiren, nil siding ve taş yünü kullanmışlardır. Çalışmada, derece gün sayılarına bağlı P₁-P₂ metodunu kullanarak hesaplama yapmışlardır. Optimum yalıtım kalınlığının uygulanması ile enerji fiyat tasarrufunun 4.2\$/m² ile 9.5\$/m² arasında değiştiğini bulmuşlardır [6].
- Ö.Kaynaklı ve R.Yamankaradeniz’in, derece-gün metodunu kullanarak yaptıkları çalışmada, dış duvarlar için yalıtım kalınlıklarını tespit etmişlerdir. Çalışmalarında, yakıt olarak doğal gaz ve yalıtım malzemesi olarak polistiren kullanmışlardır. Çalışmada ömür maliyet analizi incelenmiş olup Türkiye’de yalıtım kalınlıklarını 2.8 ile 9.6 cm arasında değiştiğini tespit etmişlerdir [1].
- A.Bolattürk’ün yaptığı çalışmada, ömür maliyet analizi ve derece gün metodu kullanarak beş ayrı yakıt türü için (Kömür, Doğal Gaz, Fuel-oil, LPG ve Elektrik) dış duvarlarda polistiren yalıtım malzemesi kullanarak optimum yalıtım kalınlıklarını bulmuştur. Yapılacak enerji tasarrufu miktarı ile buna bağlı geri ödeme sürelerini 4 ayrı iklim bölgesinde bulunan 16 şehir için belirlemiştir. Çalışmada, şehirler için optimum yalıtım kalınlıklarının 2 ile 17 cm arasında, enerji tasarrufunun %22 ile %79 arasında ve geri ödeme süresini ise 1.3 ile 4.5 yıl arasında değiştiğini hesaplamıştır [2].
- Ö.A.Dombaycı, M.Gölcü ve Y.Pancar’ın yaptıkları çalışmada, beş farklı yakıt (Kömür, Doğal Gaz, LPG, Fuel-oil ve Elektrik) ve iki farklı yalıtım malzemesi (ekspande polistiren ve taş yünü)kullanarak Denizli ili için optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu ve geri dönüş süresini hesaplamışlardır.

Optimum yalıtım kalınlığı hesaplanırken, ömür maliyet analizi ve derece gün metodu kullanılmıştır. Kömür için geri dönüş süresini, 1.43 yıl ve birim alan başına tasarrufu ise 14.09 \$/m² bulmuşlardır [7].

- A.Yıldız, G.Gürlek, M.Erkek ve N.Özbalta'nın yaptıkları çalışmada, yalıtım malzemesi olarak cam yünü ve taş yünü kullanılarak Ankara ve İzmir illeri için optimum yalıtım kalınlıklarını, ömür maliyet analizi ve derece gün metodu kullanarak hesaplamışlar ve standartta öngörülen yalıtım kalınlıkları ile karşılaştırmışlardır. Çalışmada, yalıtım kalınlıklarına bağlı olarak çevresel etki analizi yapılmıştır. Beş ayrı yakıt (Kömür, Doğal Gaz, Fuel-oil, LPG ve Elektrik) için değerlendirmeler verilmiştir [5].
- Ö.A. Dombaycı'nın yaptığı benzer çalışmada, Denizli için dış duvarlarda optimum yalıtım kalınlığının çevresel etkisini incelemiştir. Yakıt olarak kömür ve yalıtım malzemesi olarak ekspande polistiren kullanmıştır. Optimum yalıtım kalınlığında enerji tüketiminin %46.6 azalacağı, CO₂ ve SO₂ emisyonlarının ise %41.53 oranında azalacağını tespit etmiştir [3].
- K.Çomaklı ve B.Yüksel'in yaptıkları çalışmada, optimum yalıtım kalınlığı ile CO₂ emisyonunun %27 oranında azaltılabileceğini belirlemişlerdir. Türkiye'nin en soğuk illerden biri olan Erzurum için derece-gün metodu kullanılarak yapılan çalışmada, yalıtım malzemesi olarak Stropor ve yakıt olarak fuel-oil kullanmışlardır [4].

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Çalışmada, TS 825'e göre 2. iklim bölgesinde bulunan Balıkesir il merkezindeki, kömür ve doğal gaz yakıtlarını kullanan, 100 m²'lik örnek bir bina ele alınarak, dış duvarların yalıtım malzemesi türüne ve kalınlığına bağlı olarak çevreye olan etkileri araştırılmıştır. Daha sonra elde edilen değerler, yakıt olarak kömür ve doğalgaz kullanan Balıkesir il merkezindeki konutlar için yaygınlaştırılmıştır. Hesaplamalarda derece gün metodu kullanılmış olup, EPA (Environmental Protection Agency) verilerine bağlı olarak, kömür ve doğal gazın yakılması ile çevreye verilen zararlı emisyon miktarları tespit edilmiştir. Ömür maliyet analizi kullanılarak yakıt maliyeti ile yalıtım maliyetinin en uygun olduğu nokta olan optimum yalıtım kalınlığında çevreye verilen emisyonlar incelenmiştir.

Çalışma, kentlerde konutların dış duvarlarının yalıtılması ile daha az enerji kullanılacağını ve böylece çevreye atılan kirletici emisyonların azalacağını gösterilmesi açısından önem taşımaktadır.

3. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

3.1. Dış Duvarlar için Isı Yükü ve Yıllık Yakıt Tüketimi (Heat Load for the Outer Walls and Annual Fuel Consumption)

Dış duvarın birim alan başına ısı kaybı aşağıdaki formül gibi hesaplanabilir [1, 2, 6 ve 7].

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

burada U yapı elemanı ısı transfer katsayısı, T_b temel sıcaklık, T_o günlük ortalama dış sıcaklıktır. Birim alanda yıllık ısı kaybı ısıtma derece gün (HDD) kullanılarak belirlenebilir,

$$q = 86,400 \cdot HDD \cdot U \quad (2)$$

buradaki temel sıcaklığa, iç ortam sıcaklığına (T_i) ve günlük dış ortam sıcaklığına bağlı olarak ısıtma derece günler (HDD);

$$HDD = \sum_1^G (T_i - T_o) \quad (T_o \leq T_b) \quad (3)$$

$$HDD = 0 \quad (T_o > T_b) \quad (4)$$

bulunur. Yalıtımlı duvar için ısı transfer katsayısı (U) ise;

$$U = \frac{1}{R_i + R_w + R_{ins} + R_o} \quad (5)$$

dir, burada R_w yalıtımsız duvar ısı direnci, R_i ve R_o iç ve dış hava-film ısı dirençleridir. Yalıtım tabakası ısı direnci;

$$R_{ins} = \frac{x}{k} \quad \text{dir.} \quad (6)$$

Burada x , kalınlık; k ise ısı iletkenliktir. Yalıtım tabakasını içeren toplam duvar ısı transfer katsayısı tekrar yazılırsa,

$$U = \frac{1}{R_{wt} + R_{ins}} \quad \text{bulunur.} \quad (7)$$

Burada R_{wt} yalıtımsız duvarın toplam ısı direncidir ve R_i , R_w ve R_o toplamıdır. Birim alan başına yıllık yakıt tüketimi [1, 2, 6 ve 7]

$$M_f = \frac{86,400.HDD}{(R_{wt} + \frac{x}{k}).H_u.\eta} \quad \text{bulunur.} \quad (8)$$

Burada, H_u yakıt alt ısı değeri, η ısıtma sistemi verimidir. Toplam maliyeti minimum yapan optimum yalıtım kalınlığı aşağıdaki formül ile hesaplanabilir.

$$x_{opt} = 293.94 \left(\frac{HDD.C_f.PWF.k}{H_u.C_i.\eta} \right)^{1/2} - k.R_{wt} \quad (9)$$

formülde; C_f yakıt fiyatı, C_i yalıtım malzemesi fiyatıdır.

Optimum yalıtım kalınlığı hesaplanırken ömür maliyet analizi (Life Cycle Cost Analysis) yapılmaktadır. Toplam ısıtma maliyeti 10 yıllık ömür (N) için bugünkü değer faktörü (PWF-Present Worth Factor) ile değerlendirilir. Bugünkü değer faktörü enflasyon (g) ve faiz (i) oranına dayanır ve aşağıdaki gibi hesaplanır [7];

Eğer $i > g$ ise gerçek faiz oranı,

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

Eğer $i < g$ ise

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

$$\text{O zaman } PWF = \frac{(1+r)^N - 1}{r.(1+r)^N} \quad \text{olur.} \quad (12)$$

Eğer $i = g$ ise

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

3.2. Hesaplamalarda Kullanılan Parametreler (The Parameters used in Calculations)

Balıkesir ili için ısıtma derece günü hesaplanırken Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan dış ortam günlük sıcaklık değerleri kullanılmıştır. Isıtma derece gün, temel sıcaklık (T_b) 15°C , iç ortam sıcaklığı (T_i) 20°C alınarak 2128°C-gün bulunmuştur. 100m^2 'lik örnek

binanın dış duvar yalıtımı yapılmadan ve farklı yalıtım malzemeleri ile bu malzemelerin farklı kalınlıkları kullanılarak yakıt tüketimine bağlı olarak çevreye olan etkiler araştırılmıştır. Hesaplamalarda Tablo 1'de verilen 2cm kireç esaslı (1W/mK) iç sıva, 19cm yatay delikli tuğla (0.36W/mK) ve 3 cm çimento esaslı (1.6W/mK) dış sıva kullanılırken, yalıtım malzemeleri olarak, piyasada en çok tercih edilen ve maliyeti uygun olan ekstrüde polistiren ve taş yünü kullanılmıştır. Duvar ısı direnci hesaplanırken iç ve dış yüzeysel taşınım dirençleri sırası ile $R_i=0,13m^2K/W$ ve $R_o=0.04m^2K/W$ alınmıştır. Bugünkü değer faktörü (PWF), denklem (12) kullanılarak (N) 10 yıllık ömür için enflasyon ve faiz oranlarına bağlı olarak 9.51 bulunmuştur. İlimizde yakıt olarak kullanılan doğal gazın özellikleri, Balıkesir gaz şirketinin, 2009 yılı verilerinden (en son 2009 yılı verileri elde edilmiştir) alınmıştır. Balıkesir il merkezinde, Soma linyit kömürü, Dursunbey linyit kömürü ve ithal kömür kullanılmaktadır. Bu çalışmadaki hesaplamalarda en fazla kullanılan ithal kömür değerleri kullanılmıştır.

Tablo 1. Hesaplamalarda Kullanılan Parametreler [6,8,9,10,11 ve 12]
 (Table 1. The parameters used in calculations [6,8,9,10,11 and 12])

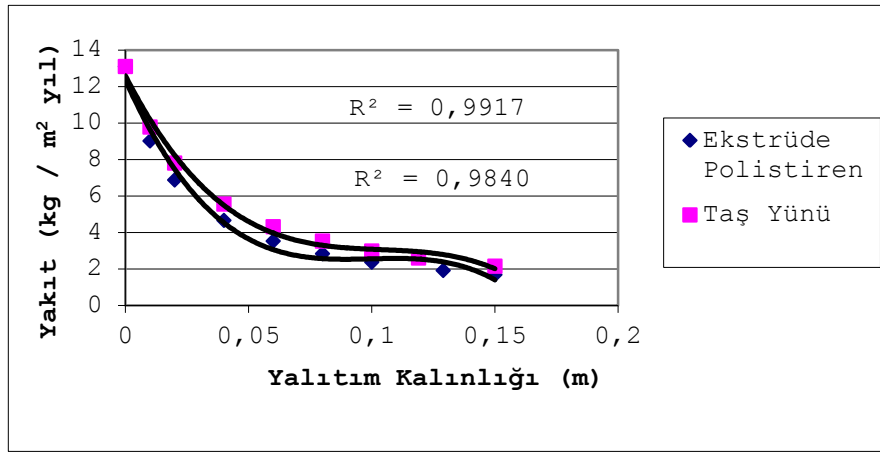
	Parametre	Değer
	Isıtma Derece Gün HDD	2128 ($^{\circ}C$ -gün)
Yakıt		
Kömür	Fiyat, C_f	0.222\$/kg
	Verim, η	0.65
	Alt Isıl Değer, H_u	$29.295 \cdot 10^6$ J/kg
Doğal Gaz	Fiyat, C_f	0.367\$/m ³
	Verim, η	0.93
	Alt Isıl Değer, H_u	$34.795 \cdot 10^6$ J/m ³
Dış Duvar Yalıtım Malzemeleri		
Ekstrüde Polistiren	Isıl İletkenlik, k	0.03W/mK
	Fiyat, C_i	26.69\$/m ³
Taş Yünü	Isıl İletkenlik, k	0.04W/mK
	Fiyat, C_i	36.98\$/m ³
Dış Duvar Elamanları		
İç Sıva (2 cm)	Isıl İletkenlik (Kireç Esaslı), k	1W/mK
Tuğla (19 cm)	Isıl İletkenlik, k	0.36W/mK
Dış Sıva (3 cm)	Isıl İletkenlik (Çimento Esaslı), k	1.6W/mK
	R_{wt}	$0.737m^2K/W$
	R_i	$0.13m^2K/W$
	R_e	$0.04m^2K/W$
Mali Değerler		
Faiz Oranı, (i)		%7.5
Enflasyon Oranı, (g)		%6.5
Ömür, N		10Yıl

4. HESAPLAMALAR VE BULGULAR (CALCULATIONS AND FINDINGS)

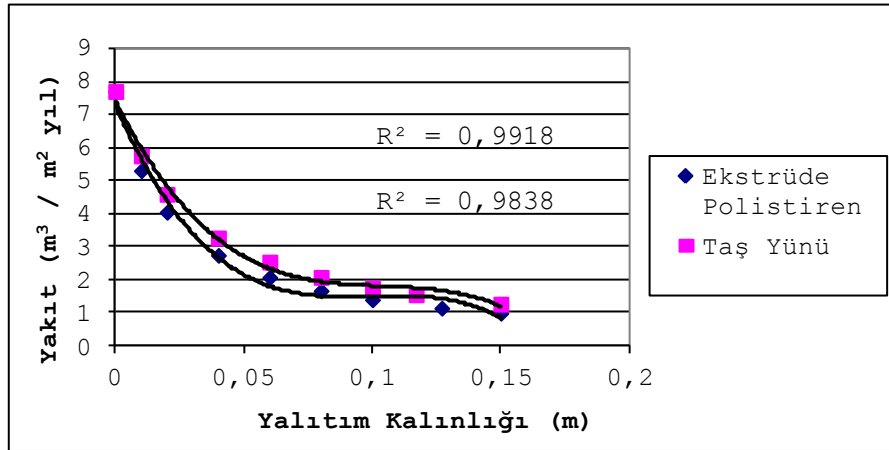
4.1. Hesaplamalar (Calculations)

Balıkesir ili için optimum yalıtım kalınlıkları; (denklem (9) kullanılarak) yakıt olarak kömür; yalıtım malzemesi olarak ekstrüde polistiren kullanıldığında, 0.129m ve taş yünü kullanıldığında ise 0.119m bulunurken, yakıt olarak doğal gaz; yalıtım malzemesi olarak ekstrüde polistiren kullanıldığında, 0.127m ve taş yünü kullanıldığında 0.117m bulunmuştur. Birim alan başına yıllık yakıt tüketimi denklem (8) kullanılarak hesaplanırken yakıt olarak kömür

kullanıldığında; yalıtımsız dış duvar için 13.101kg/m^2 yıl, ekstrüde polistiren yalıtım malzemesi için; 0.01m yalıtım kalınlığında 9.021kg/m^2 yıl, optimum yalıtım kalınlığında 1.917kg/m^2 yıl, 0.15m yalıtım kalınlığında ise 1.683kg/m^2 yıl hesaplanmıştır. Taş yünü yalıtım malzemesi için; 0.01m yalıtım kalınlığında 9.783kg/m^2 yıl, optimum yalıtım kalınlığında 2.601kg/m^2 yıl, 0.15m yalıtım kalınlığında ise $2.152\text{kg/m}^2\text{yıl}$ bulunmuştur. Bu değerler Şekil 1'deki grafikte verilmiştir. Aynı denklem kullanılarak (denklem (8)) yakıt olarak doğal gaz kullanıldığında yalıtımsız duvar için alan başına yıllık yakıt tüketimi $7.709\text{m}^3/\text{m}^2\text{yıl}$, ekstrüde polistiren için 0.01m yalıtım kalınlığında $5.308\text{m}^3/\text{m}^2\text{yıl}$, optimum yalıtım kalınlığında $1.143\text{m}^3/\text{m}^2$ yıl, 0.15m yalıtım kalınlığında ise $0.990\text{m}^3/\text{m}^2\text{yıl}$ hesaplanmıştır. Taş yünü yalıtım malzemesi kullanıldığında ise 0.01m yalıtım kalınlığında $5.757\text{m}^3/\text{m}^2\text{yıl}$, optimum yalıtım kalınlığında $1.551\text{m}^3/\text{m}^2\text{yıl}$, 0.15m yalıtım kalınlığında $1.266\text{m}^3/\text{m}^2\text{yıl}$ bulunmuştur. Bu değerler Şekil 2'deki grafikte verilmiştir.



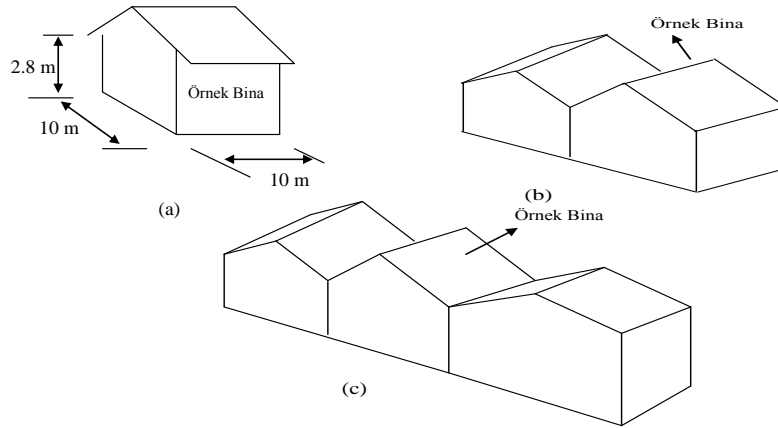
Şekil 1. Kömür için Yalıtım Kalınlığına Bağlı Yakıt Tüketimi
(Figure 1. The fuel consumption of coal related to insulation thickness)



Şekil 2. Doğal Gaz için Yalıtım Kalınlığına Bağlı Yakıt Tüketimi
(Figure 2. The fuel consumption of natural gas related to insulation thickness)

Balıkesir ili, 2009 yılı sonu itibari ile 259157 nüfusa sahiptir ve 114318 konut mevcuttur. Bunlardan 40616 konutta doğal gaz kullanılırken, geri kalan 73702 konutta kömür kullanılmaktadır. Fuel-oil ise çok sınırlı olarak konutlarda kullanılmaktadır (en fazla 500 konut). Fuel-oil daha çok kamuya ve özel şirketlere ait binalarda kullanılmaktadır [9 ve 10]. Bu çalışmada sadece konutlar (meskenler) esas alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

Çalışmada, Şekil 3'de şematik olarak görüldüğü gibi pencere alanları ihmal edilerek; 10m en, 10m boy ve 2.8m yüksekliğinde, 100m² örnek binanın; iki dış cephe açıkken; 56m² dış duvar alanı, üç dış cephe açıkken; 84m² dış duvar alanı, dört dış cephe açıkken; 112m² dış duvar alanı hesaplanmıştır. Bu ölçülere göre Tablo 2'de verilen; kömür kullanan 73702 konut ve doğal gaz kullanan 40616 konut için toplam dış duvar alanları bulunmuştur.



Şekil 3. Örnek Binanın; (a) dört cephesi açık, (b) üç cephesi açık, (c) iki cephesi açık (şematik gösterim)
(Figure 3. Example building; (a) four sides open to outside area, (b) three sides open to outside area, (c) two sides open to outside area (schematic representation))

Tablo 2. Balıkesir İl Merkezindeki Kömür ve Doğal Gaz Tüketen Konutların Toplam Dış Duvar Alanları
(Table 2. Total outer wall areas of residences in Balıkesir province consuming coal and natural gas)

Duvar Alanı	2.8*20m (56m ²)	2.8*30m (84m ²)	2.8*40m (112m ²)
Yakıt			
Kömür	4127312m ²	6190968m ²	8254624m ²
Doğal Gaz	2274496m ²	3411744m ²	4548992m ²

Çalışmada, Balıkesir ilinin kömür ve doğal gaz kullanan binaların toplam dış duvar alanları baz alınarak; ekstrüde polistiren ve taş yünü yalıtım malzemeleri ile birim alan için farklı yalıtım kalınlığındaki yıllık tüketilen toplam kömür miktarları, Tablo 3 ve Tablo 4'de; yıllık tüketilen toplam doğal gaz miktarları ise, Tablo 5 ve Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 3. Ekstrüde Polistiren Yalıtım Malzemesi için Dış Duvar Alanına Bağlı Toplam Kömür Tüketimi (ton/yıl)

(Table 3. Total coal consumption related to outer wall area for the insulation material extruded polystyrene (tone/year))

Yakıt Tüketimi (kg/m ² yıl) Duvar Alanı (m ²)	13.101	9.021	6.879	4.664	3.528	2.837	2.372	1.917	1.683
4127312	54071.9	37232.5	28391.8	19249.8	14561.2	11709.2	9790.0	7912.1	6946.3
6190968	81107.9	55848.7	42587.7	28874.7	21841.7	17563.8	14685.0	11868.1	10419.4
8254624	108143.8	74465.0	56783.6	38499.6	29122.3	23418.4	19580.0	15824.1	13892.5

Tablo 4. Taş Yünü Yalıtım Malzemesi için Dış Duvarlar Alanına Bağlı Toplam Kömür Tüketimi (ton/yıl)

(Table 4. Total coal consumption related outer wall area for the insulation material rock wool (tone/year))

Yakıt Tüketimi (kg/m ² yıl) Duvar Alanı (m ²)	13.101	9.783	7.806	5.559	4.316	3.528	2.983	2.601	2.152
4127312	54071.9	40377.5	32217.8	22943.7	17813.5	14561.2	12311.8	10735.1	8882.0
6190968	81107.9	60566.2	48326.7	34415.6	26720.2	21841.7	18467.7	16102.7	13323.0
8254624	108143.8	80755.0	64435.6	45887.5	35627.0	29122.3	24623.5	21470.3	17764.0

Tablo 5. Ekstrüde Polistiren Yalıtım Malzemesi için Dış Duvarlar Alanına Bağlı Toplam Doğal Gaz Tüketimi (10⁶m³/yıl)

(Table 5. Total natural gas consumption related to outer wall area for the insulation material extruded polystyrene (10⁶m³/year))

Yakıt Tüketimi (m ³ /m ² yıl) Duvar Alanı (m ²)	7.709	5.308	4.048	2.744	2.076	1.669	1.396	1.143	0.990
2274496	17.5	12.1	9.2	6.2	4.7	3.8	3.2	2.6	2.3
3411744	26.3	18.1	13.8	9.4	7.1	5.7	4.8	3.9	3.4
4548992	35.1	24.1	18.4	12.5	9.4	7.6	6.4	5.2	4.5

Tablo 6. Taş Yünü Yalıtım Malzemesi için Dış Duvarlar Alanına Bağlı Toplam Doğal Gaz Tüketimi (10⁶m³/yıl)

(Table 6. Total natural gas consumption related to outer wall area for the insulation material rock wool (10⁶m³/year))

Yakıt Tüketimi (m ³ /m ² yıl) Duvar Alanı (m ²)	7.709	5.757	4.593	3.271	2.540	2.076	1.755	1.551	1.266
2274496	17.5	13.1	10.4	7.4	5.8	4.7	4.0	3.5	2.9
3411744	26.3	19.6	15.7	11.2	8.7	7.1	6.0	5.3	4.3
4548992	35.1	26.2	20.9	14.9	11.6	9.4	8.0	7.1	5.8

Tablo 7'de, EPA (Environmental Protection Agency) konutlarda kontrolsüz baca yapıları verileri kullanılarak kömür ve doğal gaz kullanılması ile çevreye salınan emisyon miktarları Balıkesir il merkezi için (SO_x, NO_x, PM (Partikül Madde), CO, CO₂ miktarları) hesaplanmıştır. Çalışmada Çevre ve Orman Bakanlığının Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliğinde yapılan değişiklik uyarınca kükürt miktarı (S), kömür için %0.9 alınmıştır [13].

Tablo 7. Kirletici Türleri (Emisyon Faktörleri) ve Yakıta Bağlı Miktarları [14].

(Table 7. Pollutant types (emission factors) and their amounts related to fuel [14])

Kömür için kirleticiler (kg/ton)		Doğal Gaz Kirleticiler (kg/10 ⁶ m ³)	
SO _x	19.5S (17.55)	SO _x	İhmal Edildi
NO _x	1.5	NO _x	1504
PM	5.0	PM	İhmal Edildi
CO	0.3	CO	640
CO ₂	2840	CO ₂	1920000

4.2. Bulgular (Findings)

Çalışmada, Balıkesir il merkezinde, 2009 yılı sonu itibariyle 40616'sı doğal gaz kullanan, 73702'si kömür kullanan toplam 114318 konut için; 100m²'lik örnek bina esas alınarak, aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir; Balıkesir ili için optimum yalıtım kalınlığı; yakıt olarak kömür ile doğal gaz ve yalıtım malzemesi olarak ekstrüde polistiren ile taş yünü kullanıldığında, 0.129-0.117m arasında değiştiği bulunmuştur. Yakıt olarak kömür kullanıldığında ekstrüde polistiren ve taş yünü yalıtım malzemesi için yıllık alan başına farklı yalıtım kalınlığına bağlı olarak, 13.101-1.683kg arasında yakıt tüketimi bulunurken; yakıt olarak doğal gaz kullanıldığında ekstrüde polistiren ve taş yünü yalıtım malzemeleri için alan başına, 7.709-0.990m³ arasında yakıt tüketimi elde edilmiştir. 100m²'lik örnek bina temel alınarak, yakıt olarak kömür kullanıldığında, 4127312-8254624m² arasında, doğal gaz kullanıldığında 2274496-4548992m² arasında değişen duvar alanı hesaplanmıştır. Bu duvar alanları bağlı olarak, ekstrüde polistiren yalıtım malzemesi için yılda 6946.3-108143.8 ton arasında, taş yünü yalıtım malzemesi için 8882.0-108143.8 ton arasında değişen kömür tüketilirken; ekstrüde polistiren yalıtım malzemesi için yılda 2.3-35.1 10⁶m³, taş yünü yalıtım malzemesi için 2.9-35.1 10⁶m³ arasında değişen miktarlarda doğal gaz tüketildiği bulunmuştur.

Tablo 7'deki EPA'nın kirletici türleri ve yakıta bağlı miktarları verilerinden yararlanılarak, Tablo 8 ve Tablo 9'da ekstrüde polistiren ve taş yünü yalıtım malzemeleri için farklı yalıtım kalınlıklarındaki kömür tüketimlerinin (Tablo 3 ve Tablo 4'te verilen) toplam dış duvar alanlarına bağlı olarak yıllık ton başına kilogram olarak kirletici miktarları verilmiştir. Tablo 10 ve Tablo 11'de ise ekstrüde polistiren ve taş yünü yalıtım malzemeleri için farklı yalıtım kalınlıklarındaki doğal gaz tüketimlerinin (Tablo 5 ve Tablo 6'da verilen) toplam dış duvar alanlarına bağlı olarak yıllık 10⁶m³ başına kilogram olarak kirletici miktarları verilmiştir.

Tablo 8. Ekstrüde Polistiren Yalıtım Malzemesi Kullanan Dış Duvarlarda Kömür Tüketimine Bağlı Kirletici Miktarları (kg/yıl)
 (Table 8. The amount of pollutant related to coal consumption for the outer walls using extruded polystyrene as the insulation material (kg/year))

Yakıt Tüketimi (kg/m ² yıl) Duvar Alanı (m ²)	13.101	9.021	6.879	4.664	3.528	2.837	2.372	1.917	1.683
SO _x Miktarı									
4127312	948962.1	653430.1	498275.7	337833.7	255548.3	205496.2	171814.2	138856.6	121907.0
6190968	1423443.1	980145.1	747413.6	506750.5	383322.5	308244.3	257721.3	208284.9	182860.5
8254624	1897924.2	1306860.1	996551.5	675667.4	511096.6	410992.4	343628.4	277713.2	243813.9
NO _x Miktarı									
4127312	81107.9	55848.7	42587.7	28874.7	21841.7	17563.8	14685.0	11868.1	10419.4
6190968	121661.8	83773.1	63881.5	43312.0	32762.6	26345.7	22027.5	17802.1	15629.1
8254624	162215.7	111697.4	85175.3	57749.3	43683.5	35127.6	29370.0	23736.2	20838.8
PM Miktarı									
4127312	270359.6	186162.4	141958.9	96248.9	72805.8	58545.9	48949.9	39560.3	34731.3
6190968	405539.4	279243.6	212938.3	144373.4	109208.7	87818.9	73424.9	59340.4	52097.0
8254624	540719.1	372324.8	283917.8	192497.8	145611.6	117091.8	97899.8	79120.6	69462.7
CO Miktarı									
4127312	16221.6	11169.7	8517.5	5774.9	4368.3	3512.8	2937.0	2373.6	2083.9
6190968	24332.4	16754.6	12776.3	8662.4	6552.5	5269.1	4405.5	3560.4	3125.8
8254624	32443.1	22339.5	17035.1	11549.9	8736.7	7025.5	5874.0	4747.2	4167.8
CO ₂ Miktarı									
4127312	153564237.2	105740247.6	80632653.1	54669384.2	41353685.1	33254083.0	27803554.7	22470242.2	19727395.7
6190968	230346355.8	158610371.4	120948979.6	82004076.3	62030527.7	49881124.5	41705332.1	33705363.3	29591093.6
8254624	307128474.4	211480495.2	161265306.1	109338768.4	82707370.3	66508165.9	55607109.5	44940484.4	39454791.4

Tablo 9. Taş Yünü Yalıtım Malzemesi Kullanan Dış Duvarlarda Kömür Tüketimine Bağlı Kirletici Miktarları (kg/yıl)
 (Table 9. The amount of pollutant related to coal consumption for the outer walls using rock wool as insulation material (kg/year))

Yakıt Tüketimi (kg/m ² yıl) Duvar Alanı (m ²)	13.101	9.783	7.806	5.559	4.316	3.528	2.983	2.601	2.152
	SO _x Miktarı								
4127312	948962.1	708625.0	565422.3	402662.4	312626.5	255548.3	216071.6	188401.7	155878.7
6190968	1423443.1	1062937.5	848133.5	603993.6	468939.8	383322.5	324107.4	282602.5	233818.0
8254624	1897924.2	1417250.0	1130844.7	805324.8	625253.1	511096.6	432143.2	376803.4	311757.3
	NO _x Miktarı								
4127312	81107.9	60566.2	48326.7	34415.6	26720.2	21841.7	18467.7	16102.7	13323.0
6190968	121661.8	90849.4	72490.0	51623.4	40080.3	32762.6	27701.5	24154.1	19984.4
8254624	162215.7	121132.5	96653.4	68831.2	53440.4	43683.5	36935.3	32205.4	26645.9
	PM Miktarı								
4127312	270359.6	201887.5	161089.0	114718.6	89067.4	72805.8	61558.9	53675.7	44409.9
6190968	405539.4	302831.2	241633.5	172078.0	133601.1	109208.7	92338.3	80513.5	66614.8
8254624	540719.1	403774.9	322178.0	229437.3	178134.8	145611.6	123117.7	107351.4	88819.8
	CO Miktarı								
4127312	16221.6	12113.2	9665.3	6883.1	5344.0	4368.3	3693.5	3220.5	2664.6
6190968	24332.4	18169.9	14498.0	10324.7	8016.1	6552.5	5540.3	4830.8	3996.9
8254624	32443.1	24226.5	19330.7	13766.2	10688.1	8736.7	7387.1	6441.1	5329.2
	CO ₂ Miktarı								
4127312	153564237.2	114672081.0	91498544.8	65160185.8	50590279.2	41353685.1	34965431.6	30487793.4	25224810.2
6190968	230346355.8	172008121.4	137247817.2	97740278.8	75885418.8	62030527.7	52448147.4	45731690.1	37837215.3
8254624	307128474.4	229344161.9	182997089.6	130320371.7	101180558.4	82707370.3	69930863.2	60975586.7	50449620.4

Tablo 10. Ekstrüde Polistiren Yalıtım Malzemesi Kullanan Dış Duvarlarda Doğal Gaz Tüketimine Bağlı Kirletici Miktarları (kg/yıl)
 (Table 10. The amount of pollutant related to natural gas consumption for the outer walls using extruded polystyrene as insulation material (kg/year))

Yakıt Tüketimi (m ³ /m ² yıl) Duvar Alanı (m ²)	7.709	5.308	4.048	2.744	2.076	1.669	1.396	1.143	0.990
	NO _x Miktarı								
2274496	26371.3	18157.8	13847.6	9386.8	7101.7	5709.4	4775.5	3910.0	3386.6
3411744	39556.9	27236.7	20771.4	14080.2	10652.5	8564.1	7163.2	5865.0	5080.0
4548992	52742.5	36315.7	27695.1	18773.6	14203.3	11418.8	9551.0	7820.0	6773.3
	CO Miktarı								
2274496	11221.8	7726.7	5892.6	3994.4	3022.0	2429.5	2032.1	1663.8	1441.1
3411744	16832.7	11590.1	8838.9	5991.6	4533.0	3644.3	3048.2	2495.8	2161.7
4548992	22443.6	15453.5	11785.2	7988.8	6044.0	4859.1	4064.3	3327.7	2882.2
	CO ₂ Miktarı								
2274496	33665452.2	23180207.6	17677746.8	11983136.7	9065959.1	7288576.9	6096377.1	4991517.9	4323362.0
3411744	50498178.2	34770311.3	26516620.2	17974705.0	13598938.6	10932865.4	9144565.7	7487276.9	6485043.0
4548992	67330904.3	46360415.1	35355493.7	23966273.4	18131918.2	14577153.9	12192754.2	9983035.9	8646724.0

Tablo 11. Taş Yünü Yalıtım Malzemesi Kullanan Dış Duvarlarda Doğal Gaz Tüketimine Bağlı Kirletici Miktarları (kg/yıl)
 (Table 11. The amount of pollutant related to natural gas consumption for the outer walls using rock wool as insulation material (kg/year))

Yakıt Tüketimi (m ³ /m ² yıl) Duvar Alanı (m ²)	7.709	5.757	4.593	3.271	2.540	2.076	1.755	1.551	1.266
	NO _x Miktarı								
2274496	26371.3	19693.8	15711.9	11189.6	8688.9	7101.7	6003.6	5305.7	4330.8
3411744	39556.9	29540.7	23567.9	16784.4	13033.4	10652.5	9005.4	7958.6	6496.2
4548992	52742.5	52742.5	31423.9	22379.1	17377.9	14203.3	12007.2	10611.5	8661.6
	CO Miktarı								
2274496	11221.8	8380.3	6685.9	4761.5	3697.4	3022.0	2554.7	2257.8	1842.9
3411744	16832.7	12570.5	10028.9	7142.3	5546.1	4533.0	3832.1	3386.6	2764.3
4548992	22443.6	16760.7	13371.9	9523.0	7394.8	6044.0	5109.4	4515.5	3685.8
	CO ₂ Miktarı								
2274496	33665452.2	25141005.1	20057779.4	14284562.7	11092262.1	9065959.1	7664141.7	6773267.1	5528662.9
3411744	50498178.2	37711507.6	30086669.2	21426844.1	16638393.1	13598938.6	11496212.6	10159900.7	8292994.4
4548992	67330904.3	50282010.1	40115558.9	28569125.4	22184524.2	18131918.2	15328283.4	13546534.3	11057325.8

5. TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER (DISCUSSION, CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Çalışmada, Balıkesir ilindeki toplam 114318 konut için kullanılan yakıt miktarına bağlı olarak; EPA verileri ile yakıt olarak kömür kullanıldığında ekstrüde polistiren yalıtım malzemesi için farklı yalıtım kalınlıklarına ve duvar alanlarına bağlı olarak yılda; 121907.0-1897924.2kg arasında SO_x , 10419.4-162215.7kg arasında NO_x , 34731.3-540719.1kg arasında PM, 2083.9-32443.1kg CO ve 19727395.7-307128474.4kg arasında değişen miktarda CO_2 çevreye atılacaktır (Tablo 8). Taş yünü yalıtım malzemesi için yılda, 155878.7-1897924.2kg arasında SO_x , 13323.0-162215.7kg arasında NO_x , 44409.9-540719.1kg arasında PM, 2664.6-32443.1kg arasında CO ve 25224810.2-307128474.4kg arasında değişen miktarda CO_2 çevreye atılacaktır (Tablo 9). Yakıt olarak doğal gaz kullanıldığında ise ekstrüde polistiren yalıtım malzemesi için farklı yalıtım kalınlıklarına ve duvar alanlarına bağlı olarak yılda; 3386.6-52742.5kg arasında NO_x , 1441.1-22443.6kg CO ve 4323362.0-67330904.3 kg arasında değişen miktarda CO_2 çevreye atılacaktır (Tablo 10). Taş yünü yalıtım malzemesi için yılda, 4330.8-52742.5kg arasında NO_x , 1842.9-22443.6kg arasında CO ve 5528662.9-67330904.3kg arasında değişen miktarda CO_2 çevreye atılacaktır (Tablo 11).

Elde edilen sonuçlardan görüleceği gibi yalıtım kalınlığının artmasıyla kullanılan yakıt miktarı azalacaktır. Böylece hem enerji tasarrufu sağlanacak hem de çevreye verilen zararlı emisyonlar azalacaktır. Buna karşın uygulanan yalıtımın maliyetinde artış olacaktır. Bu nedenle çalışmada, ömür maliyet analizi kullanılarak yakıt maliyeti ile yalıtım maliyetinin en uygun olduğu nokta olan optimum yalıtım kalınlığında ise elde edilen sonuçlar; yakıt olarak kömür kullanıldığında, ekstrüde polistiren yalıtım malzemesi için yılda alan başına 1.917 kg iken, taş yünü yalıtım malzemesi için yılda alan başına 2.601 kg olarak yakıt tüketimi hesaplanırken; yakıt olarak doğal gaz kullanıldığında, ekstrüde polistiren yalıtım malzemesi için yılda alan başına 1.143m³ iken, taş yünü yalıtım malzemesi için yılda alan başına 1.551m³ olarak yakıt tüketimi hesaplanmıştır. Yakıt olarak kömür kullanıldığında ise, farklı yalıtım malzemeleri için duvar alanına bağlı olarak yılda; 138856.6-376803.4kg SO_x , 11868.1-32205.4kg NO_x , 39560.3-107351.4kg PM, 2373.6-6441.1kg CO ve 22470242.2-60975586.7kg arasında değişen miktarlarda CO_2 çevreye atılacaktır. Yakıt olarak doğal gaz kullanıldığında ise, 3910.0-10611.5kg NO_x , 1663.8-4515.5kg CO ve 4991517.9-13546534.3kg arasında değişen miktarlarda CO_2 çevreye atılacaktır. Hesaplamalardan görüleceği gibi yakıt olarak doğal gaz, yalıtım malzemesi olarak da ekstrüde polistiren kullanılmasıyla en az yakıt tüketimi olacak ve buna bağlı olarak çevreye en az zararlı emisyon atılacaktır.

SEMBOLLER (SYMBOLS)

M_f	Alan Başına Yıllık Yakıt Tüketimi	(kg/m ² yıl, m ³ /m ² yıl)
HDD	Isıtma Derece Gün	(°C-gün)
R_{wt}	Yalıtımsız Duvar Top. Isıl Direnci	(m ² K/W)
R_i	İç Hava-film Isıl Direnci	(m ² K/W)
R_o	Dış Hava-film Isıl Direnci	(m ² K/W)
k	Isıl İletkenlik Katsayısı	(W/m K)
x	Yalıtım Kalınlığı	(m)
x_{opt}	Optimum Yalıtım Kalınlığı	(m)
i	Faiz Oranı	(%)
g	Enflasyon Oranı	(%)
N	Ömür	(yıl)
T_b	Temel Sıcaklık	(°C)

T_0	Günlük Ortalama Dış Sıcaklık	($^{\circ}\text{C}$)
T_i	İç Ortam Sıcaklığı	($^{\circ}\text{C}$)
H_u	Yakıt Alt Isıl Değeri	($\text{J}/\text{m}^3, \text{J}/\text{kg}$)
η	Isıtma Sistemi Verimi	
U	Isı Transfer Katsayısı	($\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$)
q	Birim Alan Başına Isı Kaybı	($\text{J}/\text{m}^2, \text{J}/\text{kg}$)
R_{ins}	İzolasyon Tabakasının Isıl Direnci	($\text{m}^2 \text{K}/\text{W}$)
PWF	Bugünkü Değer Faktörü	
r	Gerçek Faiz Oranı	
C_f	Yakıt Fiyatı	($\$/\text{kg}, \$/\text{m}^3$)
C_i	Yalıtım Malzemesi Fiyatı	($\$/\text{m}^3$)
G	Isıtma Yapılan Gün Sayısı	

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Kaynaklı, Ö. ve Yamankaradeniz, R., (2007). Isıtma Süreci ve Optimum Yalıtım Kalınlığı Hesabı. VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, Bildiri Kitabı, ss: 187-195.
2. Bolattürk, A., (2006). Determination of optimum insulation thickness for building walls with respect to various fuels and climate zones in Turkey. Applied Thermal Engineering, Volume: 26, Issues: 11-12, pp: 1301-1309.
3. Dombaycı, Ö.A., (2007). The environmental impact of optimum insulation thickness for external walls of buildings. Building and Environment, Volume: 42, Issue: 11, pp: 3855-3859.
4. Çomaklı, K. ve Yüksel, B., (2004). Environmental impact of thermal insulation thickness in buildings. Applied Thermal Engineering, Volume: 24, Issue: 5-6, pp: 933-940.
5. Yıldız, A., Gürlek, G., Erkek M., ve Özbalta, N., (2008). Economical and Environmental Analyses of Thermal Insulation Thickness in Buildings. Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, Volume: 28, Issue: 2, pp: 25-34.
6. Uçar, A. and Balo, F., (2010). Determination of the energy savings and the optimum insulation thickness in the four different insulated exterior walls. Renewable Energy, Volume: 35, Issue: 1, pp:88-94.
7. Dombaycı, Ö.A., Gölcü, M., and Pancar, Y., (2006). Optimization of insulation thickness for external walls using different energy-sources. Applied Energy, Volume: 83, Issue: 9, pp: 921-928.
8. Meteoroloji Genel Müdürlüğü Yıllık Dış Ortam Sıcaklık Verileri
9. Balıkesir Doğal Gaz Dağıtım A.Ş. (BALGAZ) Doğal Gaz Verileri
10. Balıkesir Belediyesi Konut Verileri
11. TS 825, "Binalarda Isı Yalıtım Kuralları", Türk Standardı, Mayıs-2008
12. Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası Web Sitesi
<http://www.tcmb.gov.tr/> (Erişim Tarihi: 16.05.2011)
13. Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik, Çevre ve Orman Bakanlığı, Resmî Gazete Sayı: 27475 (27 Ocak 2010) (Isınma Amaçlı İthal Taş ve Linyit Kömürünün Özellikleri ve Sınırları)
14. <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch01/index.html>
(Erişim Tarihi: 18.05.2010) AP 42, Fifth Edition, Volume I Chapter 1: External Combustion Sources, (EPA)