

TÜRKİYE'DEKİ BİNA STOKUNDA OPTİMUM YALITIM UYGULAMASININ ENERJİ VE ÇEVRE ETKİLERİ

Erkan KAÇAN*¹, Erdal KAÇAN², Koray ÜLGEN¹

¹Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Enstitüsü, Enerji Teknolojisi, 35100 Bornova/İzmir, Türkiye

²Pamukkale Üniversitesi, Denizli Meslek Yüksekokulu, Kimya Bölümü, 20100 Kınıklı/Denizli, Türkiye
ekacan@pau.edu.tr, koray.ulgen@ege.edu.tr

(Geliş/Received: 23.11.2011; Kabul/Accepted: 13.02.2012)

ÖZET

Bu çalışma kapsamında, bina kabuğunda yapılan iyileştirmeler ve oluşturulan faydaların mevcut binalar üzerindeki etkisi, var olan binaların özellikleri ve enerji tüketimi kaynaklı sera gazı salımları değerlendirilmiştir. Mevcut binaları temsil eden model bina oluşturularak, yüksekliği 7,8 m, 3 katlı yalıtımsız, 156 m² taban alanlı, tek camlı ahşap pencere sistemi olan bina üzerinde hesaplamalar yapılmıştır. Farklı derece gün bölgelerine göre ısıtma ve soğutma periyotları ayrı ayrı ele alınarak dış duvar ve tavan için optimum yalıtım kalınlıkları 6 cm ile 16 cm arasında elde edilmiştir. 1.DG bölgesinde, model binanın ısıtma-soğutma periyodu 7 ay-5 ay, 2. DG bölgesinde ısıtma-soğutma periyodu 8 ay-3 ay, 3.DG bölgesinde ısıtma-soğutma periyodu 10 ay-2 ay ve 4.DG bölgesinde ısıtma periyodu 10 ay olarak gerçekleşmiş, soğutma periyodu ise gözlenmemiştir. Isıtma yükünün doğalgaz, fuel-oil ve kömürle, soğutma yükünün ise elektrikle karşılandığı kabul edilmiştir. Bu durumda yakıt tipine, ısıtma ve soğutma periyoduna bağlı olarak değişen emisyon tasarruf değerleri CO₂ için % 28 - % 80, SO₂ için % 58 - % 80 arasında değerler almıştır. Sonuçta, konfor şartlarının sağlanması için ısıtma ve soğutma periyotları birlikte ele alındığında daha etkin sonuçlar üretilmiştir. Soğutmanın elektrikle sağlanmasının emisyon doğurmadığı düşüncesinin yanlış olduğu, bu enerjinin üretilmesinin çevrim santralleri ile atmosfere ciddi oranda emisyon saldığı ortaya konmaktadır.

Anahtar Kelimeler: CO₂-SO₂ emisyonu, enerji tasarrufu, ısıtma, soğutma, model bina, optimum yalıtım.

ENVIRONMENTAL AND ENERGETIC EFFECTS OF INSULATION OVER THE BUILDING STOCK IN TURKEY

ABSTRACT

Scope of this study is, to examine the impacts of improvements made on building envelope and roof on existing buildings, to evaluate the waste gas emissions caused by the construction properties and energy consumption types of existing buildings. Calculations are done by creating model building that represents all existing building of which has 7.8, m height, 156 m² floor area, 3 stored and wooden framed single-glazed window system. Heating and cooling periods are taken up separately in different degree-day sections and optimum insulation thicknesses are obtained between 6 cm and 16 cm. Heating-cooling period of model building is 7 months-5 months for 1st DD section, 8 months-3 months for 2nd DD section, 10 months-2 months for 3th DD section and heating period is 10 months, no cooling period for 4th DD section. It is adopted that heating load is satisfied by natural gas, fuel-oil and coal and cooling load by electricity. Emission saving values which are dependent to fuel type and heating cooling period are determined between 28 % and 80 % for CO₂, 58 % and 80 % for SO₂ emissions. Results show that, dealing heating and cooling periods together in the analysis, produce effective solutions in order to ensure comfort conditions.

Key Words: CO₂-SO₂ emission, energy saving, heating, cooling, model building, optimum insulation.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Ülkelerin enerji talebindeki artış, nüfus artışı ve ekonomik gelişmelere paralel olarak değişim

göstermektedir. Ekonomik gelişme ve nüfus artış oranının yüksek olduğu gelişmekte olan ülkelerde enerji talebindeki artış, gelişmiş ülkelere oranla daha yüksektir [1]. Bu bağlamda Türkiye'nin enerji

talebindeki ortalama artış oranı % 5,5-6 civarındadır. Son yıllarda bu oran % 8’e kadar yükselmiştir. 2008 yılı verilerine göre Türkiye’nin birincil enerji üretim miktarının 106,4 MTEP (milyon ton eşdeğer petrol) olduğu açıklanmış ve bu değer enerji talebinin ancak % 27’sini karşılayabilmektedir. Geri kalan kısım ise enerji ithalatı ile karşılanmaktadır [2]. Toplam enerji tüketiminin 1/3’ü binalarda, bu tüketimin de % 85’i binaların ısıtılması ve soğutulması esnasında gerçekleşmektedir [3]. Enerji yönünden dışa bağlı ülkeler arasında olan Türkiye’nin enerjiyi optimum bir şekilde tüketmesi önem arz etmektedir [2].

1990-2006 yılları arası sanayi ve konutlarda tüketilen enerji miktarının seyri incelendiğinde, tüketimin her iki alanda da 2 katına çıktığı, 2006 sonrası bu tüketimin çok kısa bir süre içinde tekrar 2 katına çıkmasının kaçınılmaz olacağını belirtmiştir. 2020 yılı sektörler göre enerji tüketimi projeksiyonunda; sanayide enerji tüketiminin 2,5 katına, konutlarda enerji tüketiminin 2 katına, ulaşımda enerji tüketiminin 2,3 katına çıkması beklenmektedir [4]. *“Enerji tüketimi sanayileşme arttıkça artma eğilimi gösterdiğinden; kayıpların azaltılması, enerjinin verimli kullanılması, enerji üretimini artırmaktan daha etkili olmaktadır”* sonucuna ulaşmıştır [2].

Enerji tüketiminin azaltılması amacıyla binaların dış duvarlarında yalıtım yapılmasının Erzurum, Erzincan ve Kars illerinde etkisi incelenmiş, bu iller için optimum yalıtım kalınlıkları hesaplanmıştır. Binaların dış duvarlarında, tuğlanın içi yüzeyine strafor ($k=0,030$ W/mK) malzemesi kullanılmış, iç ve dış sıva yapılarak bina kabuğu oluşturulmuştur. Bu yapının optimum yalıtım kalınlığı değerleri belirtilen illerde sırasıyla 10,4 cm, 8,5 cm ve 10,7 cm olarak hesaplanmıştır [5]. Bu çalışmanın devamı olarak, optimum yalıtım kalınlığı değerlerinin CO₂ emisyonu üzerindeki etkilerini incelenmiştir [6]. Denizli ilinde farklı ısıtma kaynakları (kömür, doğal gaz, LPG, fuel oil ve elektrik) kullanan binalarda, farklı yalıtım malzemeleriyle (polistiren köpük ($k=0,032$ W/mK ve taş yünü 0,040 W/mK) optimum yalıtım kalınlıkları hesaplanmıştır. Kömürle ısıtılan binalarda polistiren, köpük ve taş yünü ile yapılan yalıtımın optimum değerleri sırasıyla 9,5 cm, 4,3 cm olarak hesaplanmıştır. Doğal gaz, LPG, fuel oil ve elektrikle ısıtılan binalar için bu değerler sırasıyla; 7,6 cm, 3,2 cm – 17,4 cm, 8,9 cm – 13,8 cm, 6,8 cm – 25,9 cm, 13,8 cm olarak bulunmuştur. Bu değerler içinde kömürle ısıtılan binalarda polistiren köpük uygulamasının en etkin çözümü vereceği sonucuna ulaşılmıştır [7]. Devam niteliğindeki çalışmada, optimum yalıtım uygulamasının enerji tüketiminde ve CO₂ ve SO₂ emisyonlarındaki etkisi incelenmiştir [8]. Elazığ ilinde, binalara cam yünü malzemesiyle yapılacak yalıtımın 12 farklı geometrik uygulama ile gösterdiği değişim incelenmiştir [9]. Elazığ ili için, kömür kullanımının, genişletilmiş polistiren malzemesiyle yapılan yalıtımın en etkin sonucu

ürettiği ortaya konmuştur [10]. Binaların dış duvar ve çatılarında yapılan iyileştirmeler ile dış duvar ve çatılar için optimum yalıtım kalınlığı değerleri sırasıyla, İzmir: 3,3 cm – 2 cm, Bursa: 4,7 cm – 3,3 cm, Eskişehir: 6,1 cm – 4,7 cm, Erzurum: 8 cm – 6,5 cm olarak elde edilmiştir [11]. Malezya’da optimum yalıtım kalınlığı ile yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayısı arasındaki korelasyon ortaya konmuştur. Buna göre; optimum yalıtım kalınlığı $\alpha = 0,0818$, $b = -2,973$ ve $c = 64,6$ sabit katsayılarına sahip $X_{opt} = a + b.k + c.k^2$ denklemiyle elde edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır [12]. Türkiye’nin ılıman iklim bölgesinde (Adana, Antalya, Aydın, Hatay, İskenderun, İzmir, Mersin) ısıtma ve soğutma amaçlı ısı yalıtımın optimum değerleri hesaplanmıştır [13-14]. Selanik/Yunanistan iline ait seçilen model binanın dış duvarları için dört farklı yalıtım uygulama modeli üzerinde durulmuştur. Selanik’teki yapıların genellikle ısı köprüsü oluşturmaya müsait olması nedeniyle binaların ısıtma-soğutma yüküne ve emisyon gazı salımına % 30 oranında negatif etki yaptığı sonucuna ulaşılmıştır [15]. Bursa iline ait farklı ısıtma kaynaklarına göre optimum yalıtım kalınlığının hesaplanması üzerinde durulmuştur. Binaların dış duvarlarında polistiren köpük ($k=0,034$ W/mK), tabanında taş yünü ($k=0,042$ W/mK), çatıda ise fiberglass ($k=0,038$ W/mK) uygulaması yapılarak, cam yüzeylerde iyileştirmeler yapılmıştır. Farklı ısıtma kaynaklarına ait (kömür, doğal gaz, fuel oil, LPG ve elektrik) optimum yalıtım kalınlığı değerleri 5,3 cm ile 12,4 cm arasında elde edilmiştir [16]. Yunanistan’a özgü müstakil bir binada aydınlatmadaki iyileştirme, çatıdaki yalıtım ve ısı kontrol ünitesinin yerleştirilmesinin, enerji tüketiminin azaltılmasında en etkin sonucu verdiği ortaya konmuştur [17]. Farklı derece-gün bölgelerinde seçilen illerde (Ağrı, Elazığ, Kocaeli, Aydın), farklı yakıt tiplerinin (kömür, doğal gaz, fuel oil, LPG, elektrik) optimum yalıtım kalınlığına etkisini incelenmiştir [18]. Devam niteliğindeki çalışmada, seçilen dört farklı (Antalya, İstanbul, Elazığ, Erzurum) ile ait optimum yalıtım kalınlığı, dış duvarda buhar yoğunlaşması dikkate alınarak, eksergoekonomik analiz metodu ile hesaplanmıştır. Buna göre seçilen illerde üç farklı iç ortam sıcaklığı değeri (18 °C, 20 °C, 22 °C) esas alınarak, optimum yalıtım kalınlığı sırasıyla 3,8 cm, 4,6 cm, 5,7 cm ve 7,39 cm hesaplanmıştır [19]. Düzgün yüzeyli ve eğimli yüzeyli alanlardan gerçekleşen ısı kayıplarının hesaplanmasında ve düzgün yüzeylerin, kanal, boru gibi malzemelerin optimum yalıtım kalınlıklarının farklı malzemelerle hesaplanması için basit denklemler geliştirilmiştir [1].

Sıcak bölgelerde, kış aylarında gerekli olan ısıtma yükünün azaltılması için elde edilen optimum yalıtım kalınlığı ve bu uygulamanın sağlayacağı fayda, yaz aylarında gerekli olan soğutma yükünün azaltılması için elde edilen optimum yalıtım kalınlığı ve bu

uygulamanın soğutma yüküne sağlayacağı fayda, birbirinden farklıdır. Benzer durum soğuk bölgeler için de ters orantılı olarak geçerlidir.

Bu çalışmamızda, Türkiye'deki var olan bina stokundaki enerji tüketiminin azaltılması ve oluşturulan optimum yalıtım kalınlığı değerlerinin bulunması için ısıtma ve soğutma periyotları aynı anda ele alınmıştır. Bununla beraber, bina kabuğunun üzerinde yapılan iyileştirmeler ve oluşturulan faydaların mevcut binalar üzerindeki etkisinin incelenmesi, var olan binaların özellikleri ve enerji tüketimlerinden kaynaklı atık gaz salımlarının değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

2.YÖNTEM (METHOD)

2.1. Türkiye'nin Model Bina Karakteristiğinin Oluşturulması (Determining Model Building Specifications of Turkey)

Türkiye İstatistik Kurumu'nun 2000 yılı bina sayımı verilerinden yararlanarak bina modeli oluşturulmaya çalışılmış ve bu model kullanılarak değerlendirmeler yapılmıştır [20]. Modelin oluşturulmasında kullanılan temel veriler şunlardır; 2000 yılı itibarıyla Türkiye'de mevcut binaların; kat adetleri, kat adedine göre ortalama konut taban alanları, kat adedine göre konut sayıları. Bu verilerden yararlanarak bina stokunun toplam taban alanı, toplam hacmi ve toplam bina sayısı hesaplanmıştır. Toplam bina hacmi (V_{toplam}), toplam bina taban alanına (A_{toplam}) bölünerek, bina stokunun ortalama yüksekliği (h_{model}) bulunmuştur. Toplam taban alanı, toplam bina sayısına (n) bölünerek model binanın ortalama taban alanı bulunmuştur.

$$h_{model} = \frac{V_{toplam}}{A_{toplam}} \text{ (m)} \quad (1)$$

$$A_{model} = \frac{A_{toplam}}{n} \text{ (m}^2\text{)} \quad (2)$$

Böylece taban alanı ve yüksekliği belirlenen modelin dış duvar ve pencere alanı istatistiki verilere dayanarak hesaplanmıştır. Belirlenen modelin duvarlarının, çatısının, tabanının ve pencerelerinin ısı geçirme katsayıları mevcut (yalıtımsız) ve yalıtımlı durumuna göre hesaplanmıştır. Binaların mevcut durumları yalıtımsız olduğundan, model binanın mevcut durumdaki ısı kayıpları hesaplanırken, dış ortama bakan tüm yüzeylerin ısı köprüsü oluşturduğu kabul edilmiştir.

Model binanın ısı kayıpları, taban-tavan-duvarlar ve pencerelerde, ısı köprüsü oluşturmayacak şekilde, yapılan iyileştirmeler sonucunda değerlendirmeye alınmıştır. Model binaya uygulanan ısı yalıtımının, Türkiye'deki toplam enerji maliyetini nasıl etkileyeceği ve modelin TS 825 standardına uygun olması durumunda tüm Türkiye'deki enerji tasarrufu potansiyeli elde edilmeye çalışılmıştır.

2.2. Model Binanın Isıtma ve Soğutma Yük Hesabı (Calculation Methods for Heating and Cooling Loads of Model Building)

Model binanın ısıtma ve soğutma yüklerinin hesaplamasında, bütünlüğü sağlamak amacıyla, TS-825 standardında belirtilen yöntem dikkate alınarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir [21]. Bunun için TS-825 standardında belirtilen derece-gün bölgelerine göre oluşturulmuş dış ortam sıcaklık, iç ve güneş enerjisi kazanç tabloları kullanılmıştır [22]. Isıtma yükü analizinde iç ortam sıcaklığı 19°C ve soğutma yükü analizinde ise 24°C kabulü ile hesaplamalar yapılmıştır. Model binanın ısıtma ve soğutma yükünün hesaplanmasında ve mevsimsel ısı yükünü belirlemek amacıyla eşitlik (3)'den yararlanılarak ısıtma ve soğutma yükleri ayrı ayrı toplam olarak belirlenmiştir. Bunun için Eşitlik (4) ile aylık ısıtma yükünün, Eşitlik (5) ile de aylık soğutma yükünü hesaplanması gerçekleştirilmiştir [23].

$$Q_{yt} = \sum Q_{ay} \quad (3)$$

$$Q_{ay} = [H \cdot (T_i - T_d) - \eta_{ay} \cdot (\Phi_{i,ay} + \Phi_{g,ay})] \cdot t \quad (4)$$

$$Q_{ay} = [H \cdot (T_d - T_i) + \eta_{ay} \cdot (\Phi_{i,ay} + \Phi_{g,ay})] \cdot t \quad (5)$$

2.3. Model Binada Yalıtım Uygulaması ve İyileştirmeler (Insulation and Improvements on Model Building)

Her bir derece-gün bölgesi için farklı yalıtım metotları ve malzemeleri kullanılmalıdır. Özellikle binaların kullanım amacı, kullanım süresi, kullanım periyodu gibi özelliklerin bina üzerindeki iyileştirmeler ve yalıtım yöntemlerinin belirlenmesi konusunda önemli rolü vardır. Ancak bu çalışmada uygulanabilirliği bakımından kolay ve yaygın bulunan malzeme seçimi yapılmıştır. Buna göre binanın dış yüzeylerine düzgün yüzeyli polistiren köpük ($k=0,028$ W/mK), tabana yüzer yalıtım uygulamasında dikkate alınan düzgün yüzeyli polistiren köpük ($k=0,030$ W/mK), çatısına ise cam yünü ($k=0,040$ W/mK) uygulaması yapılmıştır. Taban yalıtım uygulaması, mevcut döşeme üzerine 6cm kalınlıkta olacak şekilde dikkate alınmıştır. Tek camlı ahşap kasalı cam sistemlerinde, çift camlı plastik doğramalı iyileştirmeler yapılarak ısı transfer katsayısı 5,8 W/mK'den 2,28 W/mK değerine düşürülmüştür.

2.4. Model Binada CO₂-SO₂ Salım Değerlerinin Hesaplanması (Determining the CO₂ - SO₂ Emission Values of Model Building)

Binaların ısıtılması için seçilen yakıt, binanın kullanım özelliklerine göre seçilmelidir. Farklı yakıtların farklı alt ısıl değerleri olması yakıt tüketimini etkileyecektir. Isıtma periyodu için Türkiye'de kullanılan en yaygın üç yakıt üzerinde hesaplamalar yapılmıştır. Doğal gaz, fuel oil ve bir

çeşit Sibirya kömürü olan Karyak kömürü incelenen yakıt türleridir. Karyak kömürünün alt ısıl değeri yaklaşık 32604 MJ/ton civarındadır. Yakıtların elementel analizleri Thermo Finnigan Flash EA 1112 Series cihazıyla yapılmıştır. Organik bileşikler katı olarak ya da 2 mg'lık sıvı örnekleri alınarak 950-1000 °C'ye kadar ısıtılmış ve elementel analiz sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. Yanma reaksiyonları (6) da görüldüğü gibidir;



Yukarıdaki kimyasal yanma reaksiyonlarında stokiometrik olarak % 3 fazla oksijen kullanıldığı ve reaksiyon sonucunda CO çıkışının gözlenmediği kabul edilmiştir [24].

Binaların soğutma periyodu için elektrik kullanıldığı, yapılan literatür çalışmasına göre, elektrik üretiminde kullanılan enerji dönüşüm proseslerinde salınan CO₂ miktarlarının Dünya ortalamaları, Tablo 2'de görüldüğü gibidir.

Tablo 2 incelendiğinde elektrik üretimi için kömür kaynaklı prosesler çalıştırılırsa, 1 Wh'lik enerji başına ortalama 0,95 g CO₂ salımı yapıldığı sonucuna ulaşılmaktadır. Aynı enerjinin doğalgaz çevrim santralleri ile karşılandığı düşünülürse, ortalama 0,43 g CO₂ salımı yapıldığı sonucuna ulaşılır. Tablo 1'e

göre benzer hesaplama SO₂ salımı için yapılırsa; 0,002 g ve 0,001 g değerleri elde edilmektedir.

Tablo 1. Yakıtların Elementel Analiz Sonuçları
(Elemental Analyze Results of Fuels)

Analiz Parametreleri	Karyak Kömürü (%)	Doğal Gaz (%)	Fuel Oil (%)
C	70,27	75	84,92
H	5,26	25	13,1
S	0,28	0	0,73
N	1,08	0	0,59
O	18,2	0	0,66
Toplam	95,09	100	100

Tablo 2. CO₂ Emisyon Değerleri (g/kWh) [25] (CO₂ Emission Values)

Yakıt Türü	CO ₂ Emisyon Değerleri (g/kWh)
Kömür	800-1050
Doğal gaz	430 (ortalama)
Nükleer	6
Hidroelektrik	4
Odun	1500 (Diğer biyokütle prosesleri hariç)

Tablo 3. Türkiye'deki Model Bina Verileri (Model Building Specifications of Turkey)

Taban alanı (m ²)	Kat Adedi							
	1 Kath	2 Kath	3 Kath	4 Kath	5 Kath	6 Kath	7-9 Kath	10+ Kath
0-49	441483	159157	39878	6262	2842	645	373	0
50-74	800138	318098	72226	21492	11683	4316	1642	27
75-99	1033573	667975	231606	100882	53310	21150	7908	105
100-149	1071101	896711	332525	163544	93746	40148	19629	793
150-199	124462	126977	65182	47854	44899	28325	16941	926
200-299	78467	73381	52649	55652	65859	44521	27255	4083
300-399	23165	17781	12830	17489	21886	15191	12681	3844
400-499	12135	8799	6452	9795	13249	8872	8522	3411
500-749	13230	8327	5966	6071	7965	4893	5822	2968
750-999	5131	2928	2270	2059	2064	993	1220	539
1000-1999	8921	4445	3082	2233	2277	840	938	448
2000-4999	5814	2618	1468	1183	1148	311	371	170
5000+	2397	1263	566	338	560	134	155	93
Toplam:	3620017	2288460	826700	434854	321488	170339	103457	17407
Toplam kullanım alanı (m²):	2523188847		Ortalama kullanım alanı (m²):			156	Ortalama kat sayısı:	3

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

3.1. TÜİK Verilerine Göre Oluşturulan Model Bina Özellikleri

(Specifications of Model Building According to Building Census-2000)

TÜİK Bina Sayımı-2000 verilerine göre, Türkiye'deki toplam bina sayısı 7 782 722, bu sayının yaklaşık % 49'u betonarme iskelet sistemine sahip, % 51'i ise yığma yapı niteliğindedir. Betonarme yapıların % 79'u, yığma yapıların ise % 41'i tuğla duvarlıdır [20]. Bina sayımı sonucunda elde edilen veriler modelin oluşturulması için gerekli ana veriler olup Tablo 3'te gösterilmiştir. Burada kat adedi ve taban alanı gruplarına göre Türkiye'deki bina sayısı verilmiştir. Kat yüksekliği ortalama 2,6 m kabulü ile bu veriler kullanılarak Türkiye'deki bina stokunun toplam hacmi ve toplam taban alanı hesaplanmıştır. Bina stokunun toplam hacmi toplam taban alanına bölünerek modelin yüksekliği 7,8 m bulunmuştur.

Modelin taban alanı ise; bina stokunun toplam taban alanının bina stokunu oluşturan toplam bina sayısına bölünmesi ile 156 m² bulunmuştur. Böylece; Türkiye'deki bina stokunu oluşturan tüm binaları alan

ve hacim açısından temsil edebilecek bir model oluşturulmuştur.

Dolayısıyla; Türkiye'deki bina stokunun 156 m² taban alanı ve 7,8 m yüksekliğe sahip (3 katlı) 7782722 adet model binadan oluştuğunu varsayılmıştır. Binaların cam yüzeylerine ait çizelgeye göre, Türkiye'deki binaların yaklaşık % 90'ı tek camlı ahşap kasalı pencere sistemine sahiptir (Tablo 4) [20].

3.2. Model Binanın Isıtma-Soğutma Yük Değerlerinin Hesaplanması

(Heating-Cooling Loads of Model Building)

Model binanın ısıtma ve soğutma periyotları, bulunduğu derece-gün bölgesi için değişmekte, dış ortam sıcaklığı ve yapı malzemelerinin özelliklerine göre kaybedilen ısı miktarı da farklı olmaktadır. Tablo (5)'te görüldüğü gibi 1.DG bölgesinde, model binanın ısıtma periyodu 7 ay, diğer derece-gün bölgelerinde ısıtma periyodu 8, 10 ve 10 ay olarak gerçekleşmektedir.

Soğutma periyodunda ise durum tam terstir, 1. DG bölgesindeki model binanın soğutma periyodu 5 ay, 2. DG bölgesinde 3ay, 3.DG bölgesinde 2 ay ve 4. DG bölgesi için soğutma periyodu bulunmamaktadır.

Tablo 4. Türkiye'de Var Olan Binaların Pencere Sistemleri (Window Systems of Existing Buildings in Turkey)

Pencere Sayısı	Ahşap Kasa				Plastik Doğrama				Alüminyum			
	1-3	4-6	7+	Toplam	1-3	4-6	7+	Toplam	1-3	4-6	7+	Toplam
%	29	56	14	90	25	57	17	6	33	53	13	3

Tablo 5. Model binanın farklı derece-gün bölgelerindeki ısıtma ve soğutma yükleri (Heating and Cooling Loads of Model Building for each Degree-Day Sections)

Aylar	Isıtma Yüğü (kWh)				Soğutma Yüğü (kWh)			
	1.DG	2.DG	3.DG	4.DG	1.DG	2.DG	3.DG	4.DG
Ocak	14733	23961	29335	37900	0	0	0	0
Şubat	12055	19011	25531	32812	0	0	0	0
Mart	8717	15808	21164	27541	0	0	0	0
Nisan	2286	6390	10562	14073	0	0	0	0
Mayıs	0	274	3994	6304	6612	0	0	0
Haziran	0	0	68	686	13492	7564	0	0
Temmuz	0	0	0	0	17143	11216	2100	0
Ağustos	0	0	0	0	15218	10070	617	0
Eylül	0	0	878	1556	8339	0	0	0
Ekim	93	5069	9037	11174	0	0	0	0
Kasım	6958	14181	18887	22950	0	0	0	0
Aralık	13425	22653	26851	33737	0	0	0	0
Doğalgaz yüğü (ton)	3,94	7,26	9,90	12,77	0	0	0	0
Fuel-oil yüğü (ton)	4,95	9,13	12,44	16,04	0	0	0	0
Karyak yüğü (ton)	6,99	12,88	17,56	17,88	0	0	0	0

3.3. Optimum Yalıtım Değerlerinin Isıtma-Soğutma Yüküne Etkisi (Effects of Optimum Insulation on Heating and Cooling Load)

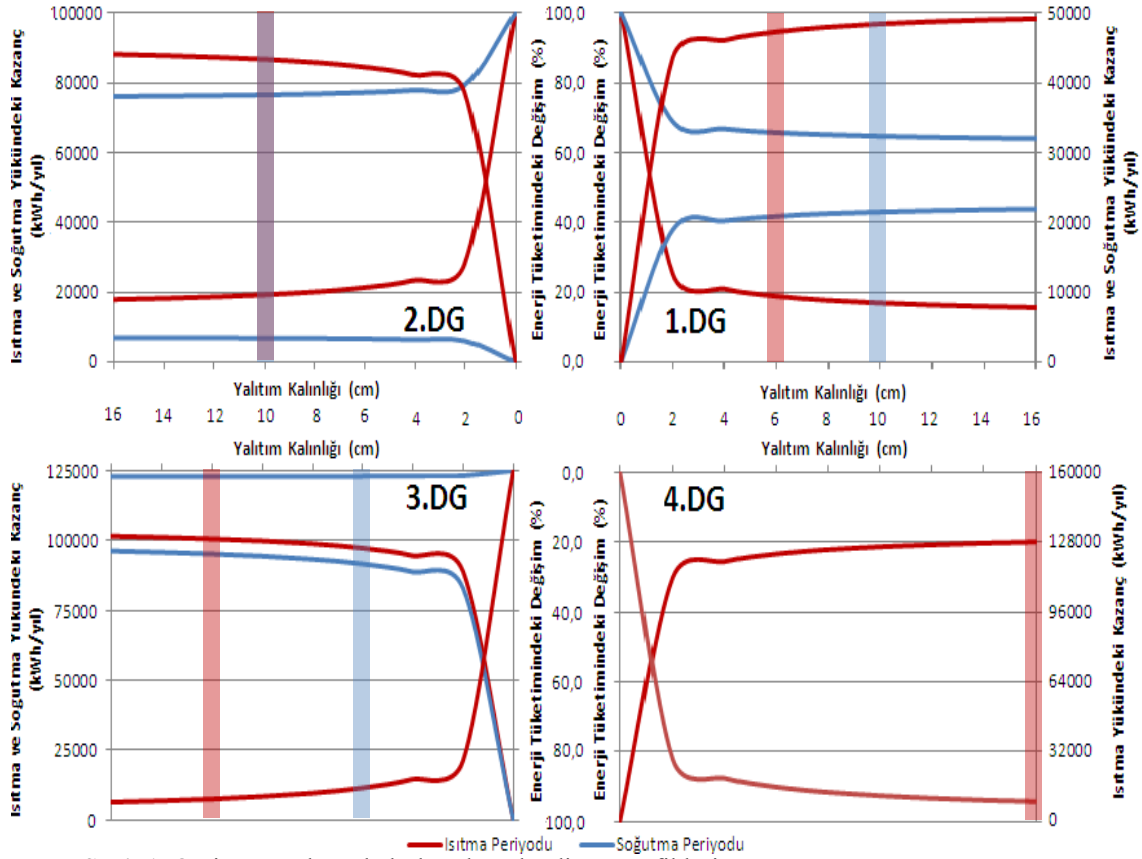
Model binanın dış duvarları, çatı ve pencere sistemlerinde iyileştirmeler yapılarak ısıtma-soğutma yükündeki değişim Tablo (6)'da gösterilmiştir. Yalıtım uygulaması 2 cm'den başlayarak 16 cm'e kadar çıkarılmış, bu basamaklarda yalıtımın uygulanabilirliği ve seçilen malzemenin en küçük yalıtım levhası kalınlığı dikkate alınmıştır. Şekil (1)'de 1.DG bölgesi içinde yer alan illerde var olan model bina için soğutma yükü dikkate alındığında optimum yalıtım kalınlığı 10 cm, ısıtma yükü dikkate

alındığında optimum yalıtım kalınlığı ortalama 6 cm elde edilmiştir.

Şekil (1)'de 2.DG bölgesi içinde yer alan illerde var olan model bina için optimum yalıtım kalınlığı ısıtma-soğutma periyodu için aynı değer olan 10 cm elde edilmiştir. 3.DG bölgesi içinde yer alan model bina için optimum yalıtım kalınlığı değerleri sırasıyla 6 cm ve 12 cm elde edilmiş ve 4.DG bölgesinde soğutma yükünün olmadığı gözlenmiş, ısıtma yükü dikkate alınarak optimum yalıtım kalınlığı 16 cm elde edilmiştir.

Tablo 6. Yalıtım kalınlığının ısıtma ve soğutma yükleri üzerindeki etkisi (The effects of Insulation on Heating and Cooling Loads)

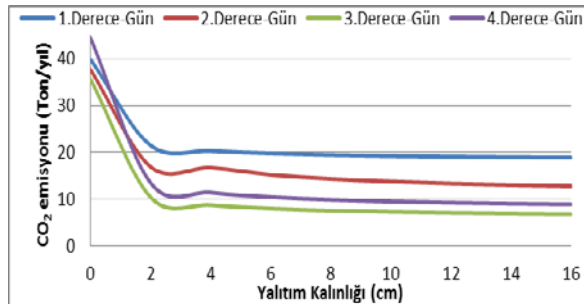
Derece Gün / Yıllık Yük (kWh)	Yalıtım Kalınlığı									
	0 cm	2 cm	4 cm	6 cm	8 cm	10 cm	12 cm	14 cm	16 cm	
1.Derece-Gün	Soğutma Yükü	60805	41883	40576	39944	39570	39322	39145	39013	38911
	Isıtma Yükü	58269	14696	12144	10957	10269	9820	9504	9270	9089
	Toplam Yük	119073	56578	52720	50901	49839	49142	48650	48283	48000
2.Derece-Gün	Soğutma Yükü	28850	22891	22480	22281	22163	22085	22029	21987	21955
	Isıtma Yükü	107346	29966	25115	22828	21493	20618	20000	19540	19184
	Toplam Yük	136196	52857	47594	45108	43656	42703	42029	41527	41139
3.Derece-Gün	Soğutma Yükü	2716	916	789	727	690	666	649	636	626
	Isıtma Yükü	146307	42325	35682	32534	30692	29482	28626	27989	27496
	Toplam Yük	149023	43241	36470	33261	31383	30148	29275	28625	28122
4.Derece-Gün	Soğutma Yükü	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Isıtma Yükü	188734	56942	48352	44260	41859	40278	39158	38323	37676
	Toplam Yük	188734	56942	48352	44260	41859	40278	39158	38323	37676



Şekil 1. Optimum yalıtım kalınlığı değerlendirme grafikleri (Optimum Insulation Thickness Values)

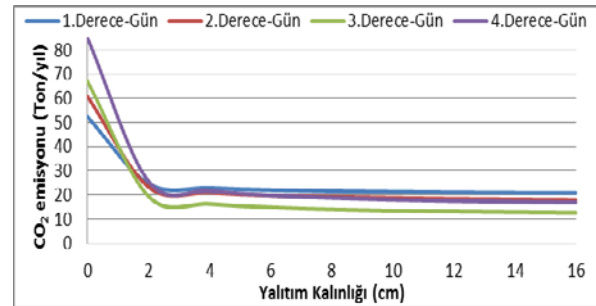
3.4. Optimum Yalıtım Değerlerinin CO₂-SO₂ Salımına Etkisi (Effects of Optimum Insulation on CO₂ – SO₂ Emissions)

Tablo (6), model binanın farklı derece-gün bölgelerinde çok farklı davranışlar gösterdiğini, ısıtma periyodunda yakıt tüketiminin 1. ve 4. DG bölgelerinde yaklaşık % 300 arttığını göstermektedir. Benzer değişim CO₂ ve SO₂ emisyon değerlerinde de ortaya çıkmaktadır.



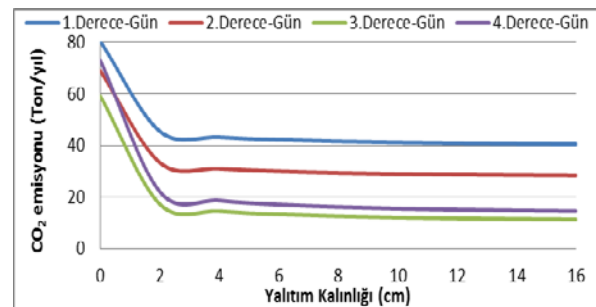
Şekil 2. Doğalgaz kullanımı sonucunda atmosfere verilen CO₂ miktarı (CO₂ Emission Values via Natural-gas Usage)

Doğalgaz kullanımı sonucunda atmosfere verilen CO₂ miktarı, optimum yalıtım uygulaması ile ısıtma periyodunda yaklaşık % 80, soğutma periyodunda ise % 28 ile % 73 arasında değişen oranlarda azalma göstermiştir (Şekil 2.).



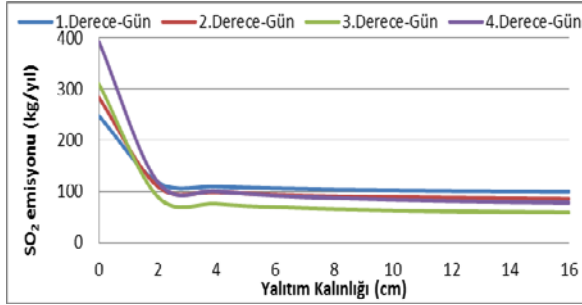
Şekil 3. Fuel-oil kullanımı sonucunda atmosfere verilen CO₂ miktarı (CO₂ Emission Values via Fuel-oil Usage)

Fuel-oil kullanımı sonucunda atmosfere verilen CO₂ miktarı ise her bir derece-gün bölgesinde ısıtma-soğutma periyodu toplam dağılımında % 59 ile % 80 arasında azalma göstermiştir. (Şekil 3.)

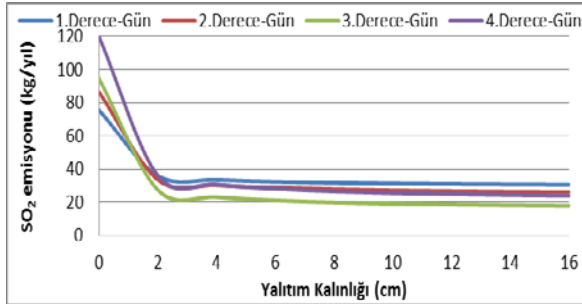


Şekil 4. Kömür kullanımı sonucunda atmosfere verilen CO₂ miktarı (CO₂ Emission Values via Coal Usage)

Kömür kullanımı ile bu azalma 1. ve 2. DG bölgelerinde % 48 ve % 59 civarındayken, 3. ve 4. DG bölgelerinde bu değer % 80 civarında gözlenmektedir (Şekil 4.). Aynı şekilde kömür ve fuel-oil kullanımı sonucunda atmosfere verilen SO₂ miktarı da optimum yalıtım uygulaması ile hem ısıtma hem de soğutma periyodunda toplam % 58 ile % 80 arasında azalma göstermiştir (Şekil 5-6.).



Şekil 5. Fuel-oil kullanımı sonucunda atmosfere verilen SO₂ miktarı (SO₂ Emission Values via Fuel-oil Usage)



Şekil 6. Kömür kullanımı sonucunda atmosfere verilen SO₂ miktarı (SO₂ Emission Values via Coal Usage)

4.SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ (CONCLUSION)

Erzurum, Erzincan ve Kars illerinde 8,5 ile 10,7 cm arasında yapılacak yalıtımın CO₂ emisyonlarında % 27 civarında azalmayı sağlayacağı ve diğer yalıtım önlemleriyle bu değer % 50 civarında gözlenebileceği belirtilmiştir [6]. Bu çalışmada 4. DG bölgesindeki bütün illerde 16 cm yalıtım ile dış duvarlar ve tavanda yapılan iyileştirmelere ilave olarak pencere sistemlerinin yenilenmesi sonucunda bu değer % 80 civarına ulaşabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Denizli ilindeki optimum yalıtım uygulamasının CO₂ ve SO₂ salımına etkisi % 41,53 olarak bulunmuş [8], bu çalışmada ise 2. DG bölgesinde yapılan yalıtım soğutma periyodunda da etkin hale getirilerek, emisyon değerleri % 63,5 ile % 68,6 arasında gözlenmiştir. Her bölgede, optimum yalıtım uygulamasıyla elde edilen enerji tasarruf değerleri, farklı iç ortam sıcaklıklarında % 77 ile % 80 arasında elde edilmiş, benzer sonucun Erzurum ilindeki CO₂ ve SO₂ emisyon tasarruf değerlerinde de gözlemlendiği belirtilmiştir [19]. Bu çalışmada da 4.DG bölgesinde soğutma yükü bulunmaması ve ısıtma yükündeki azalmanın emisyon değerlerine direkt yansımından dolayı çok yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Birincil enerji tüketiminin 106,4 MTEP olduğu ülkemizde, konutların ısıtılması ve soğutulması amaçlı tüketilen enerji miktarı yaklaşık 30,175 MTEP kadardır. Günümüzde bu tüketimin parasal karşılığı (1 TEP= 180\$ kabulü ile, [23]) yaklaşık 5,43 milyar \$'dır. Ülke genelinde var olan tüm konutlara, ısı yalıtımı uygulanması ile konutların şartlandırması yapılırsa, harcanan paradan yaklaşık %50 tasarruf elde edilebilmektedir. Bu tasarrufun ekonomik karşılığı 2,72 Milyar \$'dır.

Sonuç olarak, enerji kullanımının çevre kirliliği üzerindeki etkisinin belirlenmesi için var olan bina stokundan hareket etmenin daha gerçekçi sonuçlar doğurması hedeflenmiştir. Aynı zamanda binalarda ısıtma yüküne bağlı enerji tasarrufu fonksiyonlarının, soğutma yükü değişkeninin katkısıyla daha etkin sonuçlar vermesi amaçlanmıştır. Sonuçlar göstermektedir ki, konfor şartlarının sağlanması için ısıtma ve soğutma periyotları birlikte ele alındığında optimum yalıtım kalınlığı değerlerinde ve sera gazı emisyonlarında farklılıklar gözlenmektedir. Soğutmanın elektrikle sağlanmasının emisyon doğurmadığı düşüncesinin yanlış olduğu, bu enerjinin üretilmesinin çevrim santralleri vasıtasıyla atmosfere ciddi oranda emisyon saldığı ortaya konmaktadır.

Semboller (Nomenclature)

U:	Isı transfer katsayısı (W/m ² K)
$\alpha_{iç}$:	İç ortam ısı direnç katsayısı (W/m ² K)
k:	Isıl iletkenlik (m ² K/W)
$\alpha_{dış}$:	Dış ortam ısı direnç katsayısı (W/m ² K)
H _v :	Havalandırma ısı kayıpları (W/K)
V':	Hacimsel hava değişim debisi (m ³ /h)
n _h :	Hava değişim sayısı (h ⁻¹)
V _h :	Havalandırılan hacim (m ³)
A _∞ :	Model binanın dış cephe eleman alanları (m ²)
U _∞ :	Dış cephe elemanlarının toplam ısı transfer katsayısı (W/m ² K)
r _{i. ay} :	Saydam yüzeylerin aylık gölgelenme faktörü
g _{i. ay} :	Aylık güneş enerjisi geçirme faktörü
A _i :	"i" yönündeki toplam pencere alanları (m ²)
I _{i. ay} :	"i" yönündeki aylık güneş radyasyon yoğunluğu (W/m ²)
T _{i. ay} :	Aylık iç ortam sıcaklığı (ısıtma için; 19 °C, soğutma için; 24 °C)
T _{d. ay} :	Aylık dış ortam sıcaklığı (°C)
t:	Zaman (saniye)
Q _{ay} :	Enerji yükü (MJ)
DG:	Derece-gün
KKO _{ay} :	Kazanç – kayıp oranı
ρ :	Havanın yoğunluğu (kg/m ³)
c:	Havanın ısı kapasitesi (J/kg K)
$\Phi_{i. ay}$:	Aylık iç kazançlar (W)
$\Phi_{s. ay}$:	Aylık güneş enerjisi kazançları (W)
η_{ay} :	Kazanç – kullanım faktörü

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Bahadori, A., Vuthaluru, H., "A Simple Method for the Estimation of Thermal Insulation Thickness", **Applied Energy**, 87, 613–619, 2010.
2. Yazar, Y., "Türkiye'nin Enerjideki Durumu Ve Geleceği", **Seta Analiz**, 31, 2010.
3. Arıman, S., "Binalarda Enerji Verimliliği -Isı Yalıtımı-Enerji Verimliliği-", **27. Enerji Verimliliği Haftası Konferansı**, Ankara, 2008.
4. Gümüşderelioğlu, S., "Türk Sanayii'nde Enerji Verimliliği Çalışmaları", **Sanayide ve KOBİ'lerde Enerji Verimliliğinin Artırılması Projesi Hazırlık Çalıştayı**, Ankara, 2009.
5. Çomaklı, K., Yüksel B., "Optimum Insulation Thickness of External Walls for Energy Saving", **Applied Thermal Engineering**, 23, 473–479, 2003.
6. Çomaklı, K., Yüksel, B., "Environmental Impact of Thermal Insulation Thickness in Buildings", **Applied Thermal Engineering**, 24, 933–940, 2004.
7. Dombaycı, Ö.A., Gölcü, M., Pancar, Y., "Optimization Of Insulation Thickness For External Walls Using Different Energy-Sources", **Applied Energy**;83:921–8, 2006.
8. Dombaycı, A., "The Environmental Impact of Optimum Insulation Thickness for External Walls of Buildings", **Building and Environment**, 42, 3855–3859, 2007.
9. Özel, M., Pıhtılı, K., "Optimum Location and Distribution of Insulation Layers on Building Walls with Various Orientations", **Building and Environment**, 42, 3051–3059, 2007.
10. Aytaç, A., Aksoy, T., "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;753-758, 2006.
11. 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 Regions", **Energy Policy**, 35, 5151–5155, 2007.
12. Mahlia, T., Taufiq, B., Ismail, Maşjuki, H., "Correlation between Thermal Conductivity and the Thickness of Selected Insulation Materials for Building Wall", **Energy and Buildings**, 39, 182–187, 2007.
13. Bolattürk, A., "Optimum Insulation Thicknesses for Building Walls with Respect to Cooling and Heating Degree-Hours in the Warmest Zone of Turkey", **Energy Build**, 43, 1055–64, 2008.
14. Bolattürk, A. "Determination of Optimum Insulation-Thickness for Building Walls With Respect to Various Fuels and Climate Zones in Turkey". **Applied Thermal Engineering**, 26, 1302–9, 2006.
15. Theodosiou, T., Papadopoulos, A., "The Impact of Thermal Bridges on the Energy Demand of Buildings with Double Brick Wall Constructions", **Energy and Buildings**, 40, 2083–2089, 2008.
16. Kaynaklı, O., "A Study on Residential Heating Energy Requirement and Optimum Insulation Thickness", **Renewable Energy**, 33, 1164–72, 2008.
17. Nikolaidis, Y., Pilavach, P., Chletsis, A., "Economic Evaluation of Energy Saving Measures in a Common Type of Greek Building", **Applied Energy**, 86, 2550–59, 2009.
18. Ucar, A., Balo, F., "Effect of Fuel Type on the Optimum Thickness of Selected Insulation Materials for the Four Different Climatic Regions of Turkey", **Applied Energy**, 86, 730–736, 2009.
19. Ucar, A., "Thermoeconomic Analysis Method for Optimization of Insulation Thickness for the Four Different Climatic Regions of Turkey", **Energy**, 1–11, 2010.
20. Türkiye İstatistik Kurumu, **Bina Sayım Kitabı**, Ankara, 2000.
21. Anonim, "TS 825-Binalarda ısı yalıtımı kuralları", Mecburi Standart Tebliği, Ankara, 1999.
22. Karakoç, H., "Uygulamalı TS 825 ve Kalorifer Tesisatı Hesabı", İzocam Yayınları, 2001.
23. Ülgen, K., Doğru, M., "Konutlarda Soğutma Amaçlı Enerji Tüketiminin Isı Yalıtımı ile Azaltılması:İzmir Örneği", **Soğutma Dünyası**, Sayı: 22, 2003.
24. Yalçın, H., Gürü, M., **Stokimetri**, Palme Yayıncılık, Ankara, 2000.
25. Bourdier, J.P., "[La Jaune et La Rouge](http://www.manicore.com/anglais/missions_a/carbon_inventory.html)", [http :// www.manicore.com/ anglais/missions_a/carbon_inventory.html](http://www.manicore.com/anglais/missions_a/carbon_inventory.html), 2000, (Erişim tarihi: 02.Haziran.2011)

