TesisatMuhendisligi-172-Kapak-2.pdf 3 2.09.2019 11:54

tmmob
makina mühendisleri odası

TESİSAT MÜHENDİSLİĞİ

ISSN 1300-3399 • E-ISSN 2667-7555 • Temmuz-Ağustos 2019 • Yıl: 27 • Sayı: 172 • www.mmoistanbul.org



Isıtma ve Soğutma Derece Gün Değerlerinin Binalarda Optimum Yalıtım Kalınlığına Etkisi
N. Alpay KÜREKCİ, Serkan ERDEM

Atıksu Yapım ve Tesisat Projelerinde Yüklenicilerin Fiyat Teklif Stratejilerinin Birliktelik Kural Çıkarım Algoritması ile İncelenmesi: Türkiye Örneği
İsmail Cengiz YILMAZ

Yolcu Minibüsünde Isıl Konfor Şartlarının Teorik ve Deneysel Olarak Bulunması
Birkan YILMAZGÖZ, Derya Burcu ÖZKAN

Moore Yasası, Teknolojik Tekillik ve Prekarya
Macit TOKSOY

Akıllı Binalar
Seçil KIZANLIK İSKENDER

Binalarda Isıl Konfor Hesaplama Yöntemleri ve Kullanıcı Değerlendirmesi ile Karşılaştırılması
Nurdil ESKİN, Tuğçe AKER

Yuvarlak Masa Toplantısı
EKONOMİK KRİZİN MEKANİK TESİSAT SEKTÖRÜNE ETKİLERİ ve ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

TÜBİTAK ULAKBİM

tmmob makina mühendisleri odası

TESİSAT MÜHENDİSLİĞİ

Yayın Kurulu

C. Ahmet AKÇAKAYA
Orient Research
Yük. Mak. Müh. Muammer AKGÜN
BACADER
Zeki ARSLAN
Isıso Mühendislik
Yük. Mak. Müh. Uğur AYKEN
Adeks Mühendislik
Turgut BOZKURT
Ekin Mühendislik
Dr. Öğretim Üyesi Ali CELEN
Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi
Ali Metin DURUK
ISKAV
Prof. Dr. Müfit GÜLGEÇ
Çankaya Üniversitesi
Prof. Dr. Ali GÜNGÖR
Ege Üniversitesi
Prof. Dr. Hasan Alpay HEPERKAN
İstanbul Aydın Üniversitesi
Prof. Dr. Birol KILKIŞ
Başkent Üniversitesi
Muammer KOÇER
ATM Mühendislik
Dr. Burak OLGUN
Solution Home Bilişim
Prof. Dr. İsmail Cem PARMAKSIZOĞLU
İstanbul Teknik Üniversitesi
Tevfik PEKER
ISISO Sanayi Sitesi Yönetim Kurulu Üyesi
Prof. Dr. Galip TEMİR
Yıldız Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Macit TOKSOY
İmbat
İsmail TURANLI
Norm Teknik
Doç. Dr. Nihal UĞURLUBİLEK
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Üzeyir ULUDAĞ
Artes Havuzculuk

Hakem Kurulu

Doç. Dr. Eyüp AKARYILDIZ
Mak. Müh. C. Ahmet AKÇAKAYA
Yük. Mak. Müh. Muammer AKGÜN
Prof. Dr. Mahir ARIKOL
Prof. Dr. Ahmet ARISOY
Yük. Mak. Müh. Uğur AYKEN
Prof. Dr. Z. Düriye BİLGE
Dr. Mustafa BİLGE
Mak. Müh. Turgut BOZKURT
Prof. Dr. Ahmet CAN
Dr. Öğretim Üyesi Handan ÇUBUK
Prof. Dr. Taner DERBENTLİ
Yük. Mak. Müh. Metin DURUK
Prof. Dr. Ekrem EKİNCİ
Mak. Müh. Serper GİRAY
Prof. Dr. Ali GÜNGÖR
Prof. Dr. Hasan A. HEPERKAN
Mak. Müh. Ali Haydar KARAÇAM
Prof. Dr. Haluk KARADOĞAN
Prof. Dr. Abdurrahman KILIÇ
Prof. Dr. Olcay KINCAY
Mak. Müh. Levent KIRKAYAK
Mak. Müh. Tunç KORUN
Dr. Nuri Alpay KÜREKCİ
Doç. Dr. Ebru MANÇUHAN
Dr. Burak OLGUN
Prof. Dr. Rüknettin OSKAY
Prof. Dr. Derya Burcu ÖZKAN
Prof. Dr. Recep ÖZTÜRK
Prof. Dr. Cem PARMAKSIZOĞLU
Dr. Mustafa Kemal SEVİNDİR
Prof. Dr. Galip TEMİR
Prof. Dr. Macit TOKSOY
Mak. Müh. İsmail TURANLI
Mak. Müh. Üzeyir ULUDAĞ
Mak. Müh. Cafer ÜNLÜ
Prof. Dr. Recep YAMANKARADENİZ
Prof. Dr. Tuncay YILMAZ
Prof. Dr. Zerrin YILMAZ
Prof. Dr. Zehra YUMURTACI

ISSN 1300-3399
E-ISSN 2667-7555
Süreli - Teknik Yayın

Temmuz-Ağustos 2019
Yıl: 27 Sayı: 172

TMMOB MMO Adına Sahibi
(Tüzel Kişi Temsilcisi)
Yunus YENER

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü
İbrahim M. TATAROĞLU

Editör
Doç. Dr. Eyüp AKARYILDIZ

Yayın Koordinatörü
Sema KEBAN

Dizgi ve Mizanpaj
Sema KEBAN

Reklam
Emine ÇAKIR

Kapak Resmi
Yapay Zeka

Baskı
Ezgi Matbaacılık
Çobançeşme Mah. Sanayi Cad.
Altay Sok. No: 14 Yenibosna/İst.
Tel: 0212 452 23 02
ezgimatbaa@gmail.com

Baskı Tarihi
05.09.2019

Yönetim Merkezi
Kâtip Mustafa Çelebi Mah. İpek
Sok. No: 9 Beyoğlu/İstanbul
Tel: 0212 252 95 00 - 01

Baskı Adedi
1.500

www.mmoistanbul.org
yayin-istanbul@mmo.org.tr

1993'ten beri aralıksız olarak yayınlanmakta olan Tesisat Mühendisliği Dergisi'ndeki yazı ve çizimlerin her hakkı saklıdır. İzin alınmadan yayınlanamaz.

Tesisat-172-yeniden-05082019.indd 1 2.09.2019 13:46

İÇİNDEKİLER

ARAŞTIRMA 7-20
Isıtma ve Soğutma Derece Gün Değerlerinin Binalarda Optimum Yalıtım Kalınlığına Etkisi
N. Alpay KÜREKCİ
Serkan ERDEM
Effect of Heating and Cooling Degree Day Values on Optimum Insulation Thickness in Buildings

ARAŞTIRMA 21-27
Atıksu Yapım ve Tesisat Projelerinde Yüklenicilerin Fiyat Teklif Stratejilerinin Birliktelik Kural Çıkarım Algoritması ile İncelenmesi: Türkiye Örneği
İsmail Cengiz YILMAZ
Investigation of Contractors' Price Bidding Strategies in Waste Water Construction and Installation Projects by Association Rule Extraction Algorithms: The Case of Turkey

ARAŞTIRMA 28-40
Yolcu Minibüsünde Isıl Konfor Şartlarının Teorik ve Deneysel Olarak Bulunması
Birkan YILMAZGÖZ
Derya Burcu ÖZKAN
Theoretical and Experimental Determination of Thermal Comfort Conditions in Passenger Van

ARAŞTIRMA 41-66
Moore Yasası, Teknolojik Tekillik ve Prekarya
Macit TOKSOY
Moore Law, Technological Singularity and Precaria

ARAŞTIRMA 67-74
Akıllı Binalar
Seçil KIZANLIK İSKENDER
Smart Buildings

ARAŞTIRMA 75-80
Binalarda Isıl Konfor Hesaplama Yöntemleri ve Kullanıcı Değerlendirmesi ile Karşılaştırılması
Nurdil ESKİN
Tuğçe AKER
Thermal Comfort Models and Comparison With User Feedbacks

ETKİNLİK 81
Yuvarlak Masa Toplantısı EKONOMİK KRİZİN MEKANİK TESİSAT SEKTÖRÜNE ETKİLERİ ve ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Öz ve Makale Yazım Kuralları

- Makaleler, Open Office veya Microsoft Word belgesi şeklinde Windows ortamına uygun şekilde hazırlanmalıdır.
- Makaleler sayfada solda 3,5 cm, üstte, altta ve sağda 2,5 cm boşluk bırakılarak yazılmalıdır.
- Makale metinleri, kaynaklar ve şekiller dâhil en fazla 15 sayfadan oluşmalıdır.
- Makale başlığı en fazla 15 sözcük veya iki satırı geçmeyecek şekilde oluşturulacaktır. Başlıklar 14 punto Times New Roman yazı tipi kullanılarak yazılmalıdır.
- Makale başlığının ardından; yazar isimleri, yazarların çalıştığı kurumlar, yazara ait ORCID* bilgisi ve varsa e-posta adresleri bilgilerine yer verilmelidir.
- Yazar isimlerini takiben makalenin İngilizce başlığı, Türkçe ve İngilizce öz (abstract) ve anahtar kelimeler (keywords) bilgileri yer almalıdır.
- Makale öz metninin 200 sözcükten fazla olmamasına dikkat edilmelidir.
- Makale metinlerinin tamamı 9 punto Times New Roman yazı tipi kullanılarak yazılmalıdır.
- Makalelerde yer alan resim, çizim, program ekran görüntüsü, şekil, tablo, grafik ve formüllerin yerleşimi metin akışına uygun olarak metin içinde olmalı ve refere edilmelidir.
- Tablo içermeyen bütün görüntüler (fotoğraf, çizim, diyagram, grafik, harita vs.) şekil olarak isimlendirilmelidir.
- Makalelerde ana konu başlıkları 1., 2., 2.1., 2.1.1. vb. şeklinde numaralandırılmalıdır.
- Kullanılan semboller ve indisler kaynaklardan önce 8 punto ve italik olarak verilmelidir.
- Makalede geçen kaynaklar veya alıntılar [1], [2] vb. parantezler arasında gösterilmelidir. Makale sonunda "Kaynaklar" başlığı altında [1], [2] şeklinde verilmelidir.
- Makaleler: [1] yazar(lar) soyadı, adının baş harfi, makalenin açık adı, derginin açık adı, cilt numarası, sayfa aralığı, basım yılı. Kitap: [2] yazar (editör) soyadı, adının baş harfi., kitabın açık adı, basım evi, basım yeri, basım yılı. Tez: [3] yazar soyadı, adının baş harfi, tezin açık adı, tezin yapıldığı üniversite, tezin basıldığı yer/ülke, basım yılı düzeninde yazılmalıdır.
- Makale metinlerinin elektronik kopyaları e-posta ve Online Makale Yönetim Sistemi üzerinden (http//omys.mmo.org.tr/tesisat) gönderilmelidir.

Tesisat-172-yeniden-05082019.indd 3 2.09.2019 13:46

ARAŞTIRMA MAKALESİ

Isıtma ve Soğutma Derece Gün Değerlerinin Binalarda Optimum Yalıtım Kalınlığına Etkisi

N. Alpay KÜREKCİ
Dr.
Yıldız Teknik Üniversitesi
Makine Fakültesi
Makine Mühendisliği Bölümü
Termodinamik ve Isı Tekniği Anabilim Dalı, İstanbul
kurekci@yildiz.edu.tr
orcid: 0000-0002-0450-4818

Serkan ERDEM
Dr.
Yıldız Teknik Üniversitesi
Makine Fakültesi
Makine Mühendisliği Bölümü
Termodinamik ve Isı Tekniği Anabilim Dalı, İstanbul
serdem@yildiz.edu.tr
orcid: 0000-0002-9553-6769

ÖZ

Enerji ihtiyacının büyük bir kısmını karbon kökenli yakıtlardan temin eden ve bu yakıtları da ithal eden ülkemizde, enerjinin verimli kullanılması ülke menfaati için çok önemli bir konudur. İthal ettiğimiz bu yakıtları yakma sistemlerinde yakarak ısı enerjisi üretmekte ve bu enerjiyi de binalarımızı ısıtmak için kullanmaktayız. Maalesef binalarımızı yeterince yalıtmadığımız için duvarlardan ısı transferi olmakta ve bu yolla fazlaca ısı enerjisini kaybetmekteyiz. Yakıtların ithal olması ve yakıt fiyatlarının fazla olması, binalarda yalıtımı mecbur hale getirmiştir. Bu çalışmada ömür maliyet analizi kullanarak 4 il (Antalya, Bursa, Ankara ve Van) için dıştan yalıtılan duvar modelinde doğal gaz yakıtı ve beş farklı yalıtım malzemesi (EPS, cam yünü, taş yünü, XPS ve poliüretan) için optimum yalıtım kalınlığı, geri ödeme süreleri ve yıllık tasarruf miktarları hesaplanmıştır. Çalışmada ısıtma ve soğutma derece gün değeri üç ayrı yönteme göre hesaplanmış, derece gün değerlerinin hesaplanmasının optimum yalıtım kalınlığı üzerine olan etkisi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler
Isıtma-Soğutma Derece Gün Değeri, Optimum Yalıtım Kalınlığı, Enerji Tasarrufu, Geri Ödeme Periyodu.

Effect of Heating and Cooling Degree Day Values on Optimum Insulation Thickness in Buildings

ABSTRACT

In our country, which supplies a large part of its energy need from carbon-based fuels and imports these fuels, the efficient use of energy is a very important issue for the country. We produce heat energy by burning these imported fuels in combustion systems and use this energy to heat our buildings. Unfortunately, as we do not insulate our buildings sufficiently, heat is transferred from the walls and in this way we lose a lot of heat energy. The fact that fuels are imported and fuel prices are high make the insulation in buildings compulsory. Optimum insulation thickness, payback periods and annual saving amounts were calculated for natural gas fuel and five different insulating materials (EPS, glass wool, rock wool, XPS and polyurethane) in externally insulated wall model for 4 cities (Antalya, Bursa, Ankara and Van) using life cost analysis in this study. In this study, heating and cooling degree day values were calculated according to three different methods and the effect of calculation of degree day values on optimum insulation thickness was investigated.

Keywords
Heating-Cooling Degree Day Value, Optimum Insulation Thickness, Energy Saving, Payback Period.

Geliş Tarihi : 28.06.2019
Kabul Tarihi : 28.08.2019

Kürekci, N. A., Erdem, S., Isıtma ve Soğutma Derece Gün Değerlerinin Binalarda Optimum Yalıtım Kalınlığına Etkisi, Tesisat Mühendisliği Dergisi, Sayı: 172, sf. 7-20, Temmuz-Ağustos 2019.

Tesisat-172-yeniden-05082019.indd 7 2.09.2019 13:46

1. GİRİŞ

Dünyadaki bilinen rezerv miktarlarına göre karbon kökenli yakıtların 50 ile 100 yıl arası bir sürede bitmesi beklenmektedir. İnsanoğlu, yenilenebilir enerji kaynaklarına geçmek zorunda kalacaktır. Yenilenebilir enerji kaynaklarındaki ilk yatırım masrafının fazla olması nedeniyle hala fosil yakıtlar tercih edilmektedir. Üstelik de bitmesine sayılı yıllar kalan bu yakıtları, verimi düşük yanma sistemlerinde yaktığımız veya yeterince yalıtılmamış binaların ısıtılmasında kullandığımız için yakıtların enerjisini atmosfere atmaktayız. Bu durum iki ayrı problemi doğurmaktadır. Birincisi yüksek işletme maliyeti, ikincisi de atık gazlar ve buna bağlı global ısınma ve çevre kirliliği.

Türkiye'de ısıtma enerjisi olarak kullanılan miktarın önemli bir kısmı, doğru yapılan yalıtım ile geri kazanılabilinir. Ülkemizdeki binaların büyük kısmında yalıtım bulunmamaktadır. Yalıtım yapılan binalarda da ucuz yalıtım malzemeleri ve bölgelere bakılmaksızın aynı kalınlıklar tercih edilmektedir. Oysa kanuni mecburiyet gereği TS 825 [1] Standardı'na göre hesaplamaların yapılması ve hesaplama sonucunda bulunan yalıtım malzemesinin kalınlığının kullanılması gerekmektedir. TS 825'de ısıtma derece-gün (IDG) değerlerine göre Türkiye 4 bölgeye ayrılmıştır. TS 825 ısı yalıtım hesaplamalarında maliyet analizi yapılmadan enerji kayıp-kazanç hesaplamaları yapılmaktadır. Yalıtım malzemesi ve kullanılması gereken kalınlığın maliyet analizleri yapılarak, optimum yalıtım kalınlığını belirlemek çok önemlidir. Ülkemizde yalıtımın yaygın olmaması nedeniyle benzer iklim şartlarına sahip Avrupa ülkelerine göre enerji kaybı-kazancı çok daha fazladır. Dolayısıyla, daha fazla yakıt sarfiyatı ve çevre kirliliği olmaktadır [2].

Isı yalıtımının önemi, temel olarak enerji ve çevre olmak üzere iki ana kavrama dayanır. Buna sağlıklı ve konforlu yaşam alanlarını da ekleyebiliriz. Enerji sadece bizim için değil, diğer ülkeler için de stratejik, makro bir kavramdır. Ülkemizin enerji kaynakları açısından çok zengin olmadığı açıktır; enerji ihtiyacının %60-65'i ithal edilmektedir. Ayrıca bu ihtiyaç her sene %4 oranında artış göstermektedir [3].

Bu konuyla ilgili yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Kayfeci M. [4] çalışmasında yaşam döngüsü maliyet analizi (LCCA) yöntemi kullanılarak Isparta/Türkiye ve bölgedeki ısıtma sistemlerinin çeşitli boru çapları ve ısıtma sistemlerinin yalıtım malzemeleri için optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu, yıllık maliyetler ve geri ödeme süresi hesaplamıştır. Hesaplamalar sonucunda optimum yalıtım kalınlığının 0,048 ile 0,134 m arasında değiştiği, enerji tasarrufunun 10,84 ile 49,78 $/m^2 arasında değiştiği; ve geri ödeme süresi 0,74 ile 1,29 yıl arasında değiştiği belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre, nominal çapı DN250 olan EPS yalıtım malzemesi en yüksek enerji tasarrufu sağlarken, en düşük tasarruf değerinin DN50 olan cam elyaf yalıtım malzemesinde olduğu görülmüştür.

Kurekci N. A. [5] çalışmasında Türkiye'nin 81 il merkezinde ihtiyaç duyulan optimum yalıtım kalınlıklarını belirlemiştir. Optimum yalıtım kalınlıkları, toplam net tasarruf tutarı, yakıtlara ve yalıtım malzemelerine göre geri ödeme süresi değişimi, derece gün değerleri esas alınarak hesaplanmıştır.

Cuce E. ve ark. [6] İngiltere, Nottingham'ın iklim koşulları için optimum-aerojel ısı yalıtım kalınlığı ve çevresel etkilerini araştırmıştır. Aerojel bazlı termal süper yalıtımın, geleneksel yalıtım malzemelerine kıyasla binalarda daha ince yapılar ve daha büyük yaşam alanları sağladığı sonucuna varılmıştır.

Dombaycı Ö. A. ve ark. [7] Türkiye'de dört farklı iklim bölgesinde seçilen iller için konut dış duvarının optimum yalıtım kalınlığını belirlemişlerdir. Çalışmada izolasyon malzemesi olarak, polistiren ve poliüretan kullanılmıştır. Dış duvarın optimum yalıtım kalınlığı, Yaşam Döngüsü Maliyet Analizi (LCA) olarak da adlandırılan enflasyon ve faiz oranının etkisine bakılarak termo-ekonomik yöntem kullanılarak hesaplanmıştır.

Alsayed M. ve ark. [8] araştırmasında, LCC (Yaşam Döngüsü-Maliyet) yaklaşımına dayanarak bina dış duvarlarında yalıtım kalınlığının optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Farklı yalıtım malzemeleri ve yakıta göre, tüm durumlar için, optimum kalınlık 0,4 ile 9 cm arasında değişmiştir.

Ertürk M. [9], yalıtım kalınlığının değişimini, kanal içindeki çelik boruların veya farklı çaplarda yer altı borularının, ekonomik parametrelere, malzeme ömrüne bağlı olarak araştırmıştır. Isıtma derece-gün ve LCC (Yaşam Döngüsü-Maliyet) yaklaşı-

Tesisat-172-yeniden-05082019.indd 8 2.09.2019 13:46

mına göre optimizasyon yapılmıştır. Türkiye'deki Afyon ili seçilmiştir ve yakıtlar kömür, doğal gaz ve fuel-oil'dir. İzolasyon malzemeleri ise taş yünü, EPS ve XPS'dir. Sonuçlar, tüm fiziksel ve ekonomik koşulların dikkate alınması ile, 5 cm ila 16 cm arasında değişen optimum yalıtım kalınlığının ortaya çıktığını göstermektedir.

Vincelas F.F.C. ve ark. [10] tarafından farklı tip yakıt ve yapı malzemelerinin kombinasyonunun enerji tasarrufu üzerindeki etkilerinin binalara etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Optimum yalıtım kalınlığının 0,2 ile 14 cm arasında değiştiğini, enerji maliyetlerinin 3 ile 155 $/m^2 arasında değiştiğini ve geri ödeme sürelerinin yakıt türüne, yalıtım malzemesine ve duvara bağlı olarak 0,66 ile 6,21 yıl arasında değiştiğini belirlemişlerdir. En yüksek enerji tasarrufu hidroelektrik (%86,7) kullanılarak elde edilirken, doğal gaz (%13,8) kullanılarak en düşük seviyeye ulaşılmıştır ve güneş enerjisi kullanan kombinasyonun daha ekonomik olduğu bulunmuştur.

Sagbansu L. ve Balo. F. [11] çalışmasında, bir sandviç duvar için farklı illerdeki ısıtma yüklerine ilişkin olarak doğal yalıtım malzemesinin en uygun kalınlığını belirlemiştir. İki iklim bölgesinden on dört farklı il için bina dış duvarında optimum yalıtım kalınlığı incelenmiştir. Yalıtım malzemelerinin ekolojik ve finansal analizleri, LINGO optimizasyon yazılımında tasarlanmış bir algoritma ile gerçekleştirmişlerdir. Doğal yalıtım malzemelerinden elde edilen enerji tasarrufunun daha fazla, daha etkili olduğu ve yüksek dereceli gün şehirleri için geri ödeme süresinin daha kısa olduğu gösterilmiştir.

Vincelas F. F. C. ve Ghislain T. [12] çalışmasında P1-P2 yöntemi ile Cameroonian bölgesindeki binalar için optimum yalıtım kalınlığını, enerji tasarrufunu ve geri ödeme süresini bulmak için ekonomik analiz yapmışlardır. Polistiren yalıtım malzemesi seçilmiş ve beş tipik duvar yapısı için hesaplamalar yapılmıştır. Topraklama bloğunun haddelenmiş polistiren ile ilişkisinin, diğer duvar tiplerine kıyasla optimum 9 cm kalınlıkta ve %69 enerji tasarrufu ile daha ekonomik (minimum maliyet için 23 $/m^2) olduğunu bulmuşlardır.

Onan C. [13] tarafından, Türkiye'deki mevcut yapı stoku, yükseklik ve alan gibi parametrelere bağlı olarak incelenmiştir. Tüm bu binaları kapsayan bir model bina oluşturulmuştur. Optimum yalıtım kalınlığının 3,21 ile 7,22 cm arasında değiştiğini, enerji tasarrufunun 9,23 $/m^2 ile 43,95 $/m^2 arasında değiştiğini ve geri ödeme sürelerinin bölgelere bağlı olarak 1 ile 8,8 yıl arasında değiştiğini belirlemiştir. Model binasında optimum yalıtım kalınlığı uygulandığında yapılan çalışma sonucunda, ülke için toplam enerji tasarrufunun 41,7 milyar ABD doları olduğu hesaplanmıştır.

Bolattürk [14], Türkiye'de 16 il için beş farklı yakıt türü kullanarak optimum yalıtım kalınlığını ve geri ödeme sürelerini hesaplamıştır. Diğer çalışmasında [15] Türkiye'nin 1. iklim bölgesindeki binaların dış duvarlarındaki optimum yalıtım kalınlığını hesaplamış ve P1-P2 metodu ile geri ödeme sürelerini belirlemiştir.

Özel M. ve Pıhtılı K. [16], Adana, Elazığ, Erzurum, İstanbul ve İzmir illeri için dış duvarlara uygulanan yalıtımın optimum kalınlığını hesaplamışlardır.

Hasan A. [17], Filistin'de dört yakıt türü ve iki yalıtım malzemesi için optimum yalıtım kalınlıklarını derece-gün ve ömür maliyet analizi kullanarak hesaplamıştır. Sonuç olarak taş yünü yalıtımı için geri ödeme süresinin 1,3-2,3 yıl arasında, polistiren yalıtımı için 1-1,7 yıl arasında değiştiği belirlenmiştir.

Mevcut literatür incelendiğinde, binaların dış duvarları ve borular için optimum yalıtım kalınlığı hesaplamalarının yeterince yapıldığı görülmektedir. Çalışmalarda genelde binalarda sadece ısıtma yapıldığı düşünülmüş, hem ısıtılan hem de soğutulan bina hesaplamalarının daha az yapıldığı tespit edilmiştir. Hesaplamalarda ısıtma ve soğutma derece gün değerleri kullanılmıştır. Isıtma ve soğutma derece gün değerleri hesaplama sonuçlarını değiştirmektedir. Bu çalışmada ısıtma ve soğutma derece gün değerlerinin optimum yalıtım kalınlığı hesaplarına etkisi incelenmiştir. Üç farklı derece gün değeri belirlenmiş ve bu değerlere göre optimum yalıtım kalınlıkları hesaplanarak karşılaştırması yapılmıştır. Yakıt olarak doğal gaz, yalıtım malzemesi olarak EPS, cam yünü, taş yünü, XPS ve poliüretan seçilmiştir. Daha önce literatürde olmayan ve ilk defa bu çalışmada kullanılan yöntemle bulunan ısıtma-soğutma derece gün değerlerine göre optimum yalıtım kalınlığı, geri ödeme süreleri ve yıllık tasarruf miktarları hesaplanmıştır.

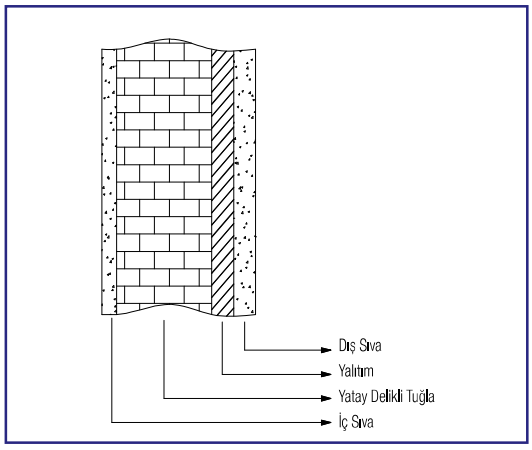
Tesisat-172-yeniden-05082019.indd 9 2.09.2019 13:46

2. YÖNTEM

2.1. Bina Duvarının Yapısı

Konutlarda ısı kayıpları duvarlardan, pencerelerden, tavandan, döşemelerden ve ayrıca hava sızıntısı ile olur. Bu çalışmada sadece dış duvarlardan oluşan ısı kayıpları göz önüne alınmıştır. Hesaplarda ilk yatırım maliyeti, yalıtım malzemesinin birim fiyatı olarak alınmıştır. İmalat sırasında kullanılan file, sıva, dübel vb. malzemeler ve bölgelere göre değişkenlik gösteren işçilik giderleri hesaba katılmamıştır.

Bina dış duvarı Şekil 1'de görüldüğü gibi 2 cm iç sıva, 13,5 cm yatay delikli tuğla, yalıtım malzemesi ve 3 cm dış sıvadan oluşan ve Türkiye'de en çok karşılaşılan model olan dıştan yalıtılmış duvar modeli seçilmiştir. Duvarı oluşturan yapı bileşenlerine ait özellikler, Tablo 1'de görülmektedir. Hesaplamalarda yalıtım malzemesi olarak EPS, cam yünü, taş yünü, XPS ve poliüretan kullanılmıştır. Yalıtım malzemelerine ait özellikler Tablo 2'de verilmiştir. Seçilen 5 yalıtım malzemesi için optimum yalıtım kalınlık değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 1. Hesaplamalarda kullanılan duvar modeli

Çalışmada kullanılan yakıtın alt ısıl değeri, güncel fiyatı ve yakma sistemi verimi Tablo 3'de verilmiştir. Soğutma sistemi için COP değeri ve elektriğin güncel birim fiyatı Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 1. Dış Duvar Bileşenlerinin Özellikleri [1]

Yapı Malzemesi	Kalınlık x (m)	Isı İletim Katsayısı k (W/mK)	Isıl Direnç R (m^2K/W)
İç Sıva (Kireç Harçlı)	0,020	1	0,020
Yatay Delikli Tuğla	0,135	0,45	0,300
Dış sıva (Çimento Harçlı)	0,03	1,60	0,019
İç Yüzey Taşınım Direnci (R_i)			0,130
Dış Yüzey Taşınım Direnci (R_d)			0,040
Toplam			**0,509**

Tablo 2. Yalıtım Malzemelerine Ait Özellikler

Yalıtım Malzemesi	Isı İletim Katsayısı k (W/mK)	Birim Fiyat C_y ($/m^3$)
EPS	0,039	40
Cam Yünü	0,033	45
Taş yünü	0,037	80
XPS	0,030	90
Poliüretan	0,024	235

Tablo 3. Kullanılan Yakıtın Alt Isıl Değeri, Fiyatı Ve Yakma Sistemi Isıl Verimi [18]

Yakıt	Alt Isıl Değeri (Hu)	Fiyat ($C_{yakıt}$)	Verim (h)
Doğal gaz	34485 kJ/m³	0,19005914 $/m³	0,90

Tablo 4. Soğutma Sisteminin COP Değeri Ve Elektriğin Birim Fiyatı

COP	3,0 (Kabul)
Elektrik Fiyatı (Ce), [18]	0.07618859 $/kWh

2.2. Bina Dış Duvarının Isıtma ve Soğutma Yük Hesabı

Dış duvarın birim yüzeyinden meydana gelen ısı kaybı ve kazancı;

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

eşitliği ile hesaplanır. Burada U, toplam ısı geçiş katsayısı, ΔT ise dış ortam sıcaklığı ile sabit iç ortam sıcaklığının farkıdır. Birim yüzeyde meydana gelen yıllık ısı kaybı ($q_{yıl,ı}$) ve kazancı ($q_{yıl,s}$) ise toplam ısı geçiş katsayısı (U), ısıtma derece gün (IDG) ve soğutma derece gün (SDG) değerleri kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

Tesisat-172-yeniden-05082019.indd 10 2.09.2019 13:46

$$q_{yıl,ı} = 86400 \cdot IDG \cdot U \quad (2)$$

$$q_{yıl,s} = 86400 \cdot SDG \cdot U \quad (3)$$

Tipik bir duvar için toplam ısı geçiş katsayısı U;

$$U = \frac{1}{R_i + R_{duvar} + R_y + R_d} \quad (4)$$

şeklindedir. Burada R_i ve R_d sırasıyla iç ve dış ortamın ısı taşınım direncini, R_{duvar} duvar katmanlarının ısı yalıtımı olmadan ısı iletim direncini göstermektedir. R_y ise yalıtım malzemesinin ısıl direnci olup,

$$R_y = \frac{x}{k} \quad (5)$$

şeklinde hesaplanır. Burada x ve k sırasıyla yalıtım malzemesinin kalınlığı ile yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısını göstermektedir. Yalıtımsız duvar tabakasının toplam direnci $R_{d,t}$;

$$R_{d,t} = R_i + R_{duvar} + R_d \quad (6)$$

olduğuna göre buna bağlı olarak toplam ısı geçiş katsayısı U;

$$U = \frac{1}{R_{d,t} + R_y} \quad (7)$$

şeklinde ifade edilir. Isıtma için gerekli olan yıllık enerji ihtiyacı $E_{yıl,ı}$, ve soğutma için gerekli yıllık enerji ihtiyacı $E_{yıl,s}$ değeri,

$$E_{yıl,ı} = \frac{86400 \cdot IDG}{(R_{d,t} + R_y) \cdot \eta} \quad (8)$$

$$E_{yıl,s} = \frac{86400 \cdot SDG}{(R_{d,t} + R_y) \cdot COP} \quad (9)$$

şeklinde hesaplanır.

2.3. Yıllık Enerji Maliyeti ve Optimum Yalıtım Kalınlığının Hesabı

Binaların dış duvarlarına yalıtım uygulanarak, bina yüzeyinden meydana gelecek ısı kaybı ve kazancı önemli ölçüde azaltılmış olur. Ancak optimum yalıtım kalınlığının belirlenebilmesi için bir maliyet analizinin yapılması gerekir. Birim yüzey için ısıtma ve soğutma yıllık enerji maliyeti sırasıyla $C_{yıl,ı}$, $C_{yıl,s}$;

$$C_{yıl,ı} = \frac{86400 \cdot U \cdot IDG \cdot C_{yakıt}}{Hu \cdot \eta} \quad (10)$$

$$C_{yıl,s} = \frac{86400 \cdot U \cdot SDG \cdot C_e}{COP} \quad (11)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada $C_{yakıt}$ yakıtın birim fiyatını, Hu yakıtın alt ısıl değerini, h yakma sistemi ısıl verimini, C_e elektrik birim fiyatını, COP ise soğutma sisteminin etkinlik değerini göstermektedir.

Optimum yalıtım kalınlığı hesaplanırken, ömür maliyet analizi metodu kullanılmıştır. Yıllık enerji maliyeti, şimdiki değer faktörü ve belirlenen ömür süresine göre hesaplanmıştır [17]. Şimdiki değer faktörü enflasyon ve faiz oranlarına bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanır:

Eğer i > g ise:

$$r = \frac{i - g}{1 + g} \quad (12)$$

Eğer g > i ise:

$$r = \frac{g - i}{1 + i} \quad (13)$$

$$ŞDF = \frac{(1+R)^N - 1}{r \cdot (1+r)^N} \quad (14)$$

Eğer i = g ise:

$$ŞDF = \frac{N}{1 + i} \quad (15)$$

Burada ŞDF şimdiki değer faktörü, r gerçek faiz oranı, i faiz oranı, g enflasyon oranını ve N ömür süresini göstermektedir.

Şimdiki değer faktörünün hesaplanmasında kullanılan ömür, faiz ve enflasyon değerleri Tablo 5'te özetlenmiştir.

Tablo 5. Faiz, Enflasyon Oranları, Ömür ve Şimdiki Değer Faktörü

Faiz (i), [19]	%19,50
Enflasyon (g), [19]	%17,90
Ömür (N)	10 yıl
Şimdiki Değer Faktörü (ŞDF)	9,29

Yalıtım maliyeti ise;

$$C_{yalıtım} = C_y \cdot x \quad (16)$$

Tesisat-172-yeniden-05082019.indd 11 2.09.2019 13:46

şeklinde hesaplanır. Burada C_y yalıtım birim fiyatıdır.

Sonuç olarak yalıtılmış bir binanın ömür maliyet analizi metoduna göre toplam ısıtma ve soğutma maliyeti;

$$C_{yal.top.,ı} = C_{yıl,ı} \cdot ŞDF + C_y \cdot x \quad (17)$$

$$C_{yal.top.,s} = C_{yıl,s} \cdot ŞDF + C_y \cdot x \quad (18)$$

Hem ısıtma hem soğutma yapılan binalar için toplam maliyet:

$$C_{yal.top.,ı,s} = C_{yıl,s} \cdot ŞDF + C_{yıl,s} \cdot ŞDF + C_y \cdot x \quad (19)$$

şeklinde hesaplanır. Toplam ısıtma maliyetini minimuma indiren optimum yalıtım kalınlığı;

$$X_{opt.,ı} = 293,94 \cdot \left(\frac{IDG \cdot C_{yakıt} \cdot ŞDF \cdot k}{Hu \cdot C_y \cdot \eta} \right)^{1/2} - k \cdot R_{d,t} \quad (20)$$

eşitliğiyle hesaplanır [17]. Toplam soğutma maliyetini minimuma indiren optimum yalıtım kalınlığı;

$$X_{opt.,s} = 293,94 \cdot \left(\frac{SDG \cdot C_e \cdot ŞDF \cdot k}{C_y \cdot COP} \right)^{1/2} - k \cdot R_{d,t} \quad (21)$$

Toplam ısıtma ve soğutma maliyetini minimuma indiren optimum yalıtım kalınlığı;

$$X_{opt.,ı,s} = 293,94 \cdot \left(\frac{IDG \cdot C_{yakıt} \cdot ŞDF \cdot k}{Hu \cdot C_y \cdot \eta} + \frac{SDG \cdot C_e \cdot ŞDF \cdot k}{C_y \cdot COP} \right)^{1/2} - k \cdot R_{d,t} \quad (22)$$

eşitlikleri ile bulunur.

2.4. Geri Ödeme Süresi

Sadece ısıtma yapılan binalar için yıllık toplam net tasarruf miktarı formül 23, hem ısıtılan hem soğutulan binalarda yıllık toplam net tasarruf miktarı formül 24 ile hesaplamıştır. Formüldeki $C_ı$ ve $C_{ı,s}$ değerleri 10 yıllık ömür boyunca yalıtılmamış binanın ısıtma ve ısıtma-soğutma enerji maliyetleridir.

$$A_{yıl,ı} = C_ı - C_{yal.top.,ı} \quad (23)$$

$$A_{yıl,ı,s} = C_{ı,s} - C_{yal.top.,ı,s} \quad (24)$$

Geri ödeme süresi;

$$GÖS_ı = \frac{C_{yalıtım}}{A_{yıl,ı}} \quad (25)$$

$$GÖS_{ı,s} = \frac{C_{yalıtım}}{A_{yıl,ı,s}} \quad (26)$$

eşitlikleri ile hesaplanır.

3. HESAPLAR ve DEĞERLENDİRME

Binaların dış duvarlarına uygulanan yalıtım kalınlığı arttıkça binanın ısı kaybı ve kazancı azalmakta, dolayısıyla enerji tüketimi azalmaktadır. Yalıtım kalınlığının artması ilk yatırım maliyetini arttırır. Yalıtım maliyetinin artması, toplam maliyeti etkiler. Bu çalışmada dış duvarlara uygulanacak optimum yalıtım kalınlığı, ısıtma derece gün ve soğutma derece gün değerleri göz önüne alınarak hesaplanmıştır.

Isıtma derece gün değerleri ve soğutma derece gün değerleri Tablo 6'da verilmiştir. Isıtma derece gün değerleri 14, 16 ve 18 °C, soğutma derece gün değerleri de 22, 24 ve 26 °C referans sıcaklığına göre hesaplanmıştır. Tabloda literatürde bulunan ısıtma-soğutma derece gün değerleri ile meteorolojik datalara göre hesaplanan ısıtma ve soğutma derece gün değerleri bulunmaktadır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün 1927-2017 yılları arası için verdiği ortalama aylık sıcaklık dataları ile 2005-2017 yılları arasında alınan saatlik ortalama sıcaklık değerleri kullanılarak ısıtma (formül 27) ve soğutma (formül 28) derece gün değerleri hesaplanmıştır. Formüldeki T_r ve T_o değerleri sırasıyla referans ve dış ortam sıcaklığını göstermektedir. Dört il için yapılan hesaplamada, son yıllarda alınan saatlik sıcaklık değerlerine göre hesaplanan ısıtma derece gün değerlerinin, uzun yılların ortalaması ve literatürden alınan değerden daha az olduğu, soğutma derece gün değerlerinin de fazla olduğu görülmektedir. Bu sonuç tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'nin de ısındığı, her yıl sıcaklık değerlerimizin artığı anlamını taşımaktadır.

$$IDG = \sum(T_r - T_o) \quad (27)$$

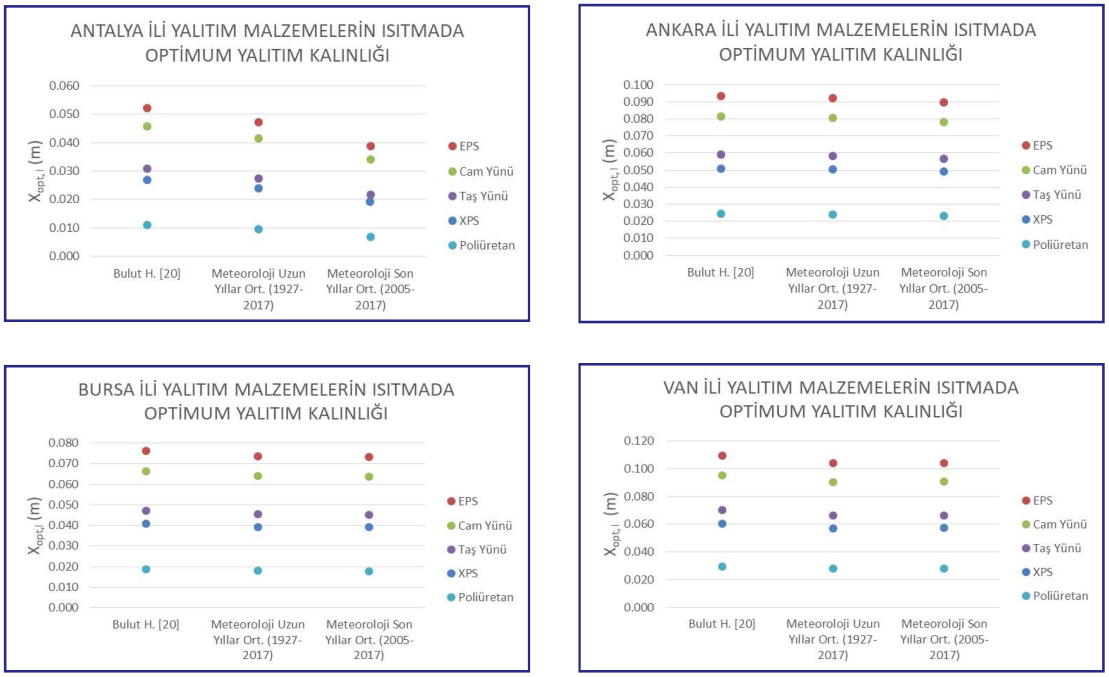
$$SDG = \sum(T_o - T_r) \quad (28)$$

Tesisat-172-yeniden-05082019.indd 12 2.09.2019 13:46

Türkiye'nin 4 ili için son yıllar ortalaması Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan veriler ile oluşturulmuştur. Düzenli veriye sahip, son 12 yılın ortalaması alınarak yapılan hesaplamalar sonucunda, 113.880 veriden bir ilin ortalama aylık sıcaklık değerleri tablosu oluşturulmuştur. Ölçülen sıcaklıklar, kuru termometre sıcaklığı olup, yılın her gün saatine ait veri kullanılarak, aylık ortalamalar hesaplanmıştır. Antalya, Bursa, Ankara, Van illeri için, toplam 455.520 verinin analizi sonunda elde edilmiş aylık IDG-SDG değerleri Tablo 6'da gösterilmiştir. Meteorolojik veriler işlenirken, eksik veri fazla değilse en yakın istasyondan ya da eksik günün verisi bir önceki ve bir sonraki günlerin verilerinin aritmetik ortalamasının alınmasıyla tamamlanmıştır. Sıcaklık farkının 10 °C ve fazlasında olması durumunda ise eksik veri işlenmesi hatalı kabul edilerek, o gün hesabı işleme alınmamıştır.

Tablo 6. Farklı Kaynaklara Göre Hesaplanan Isıtma ve Soğutma Derece Gün Değerleri

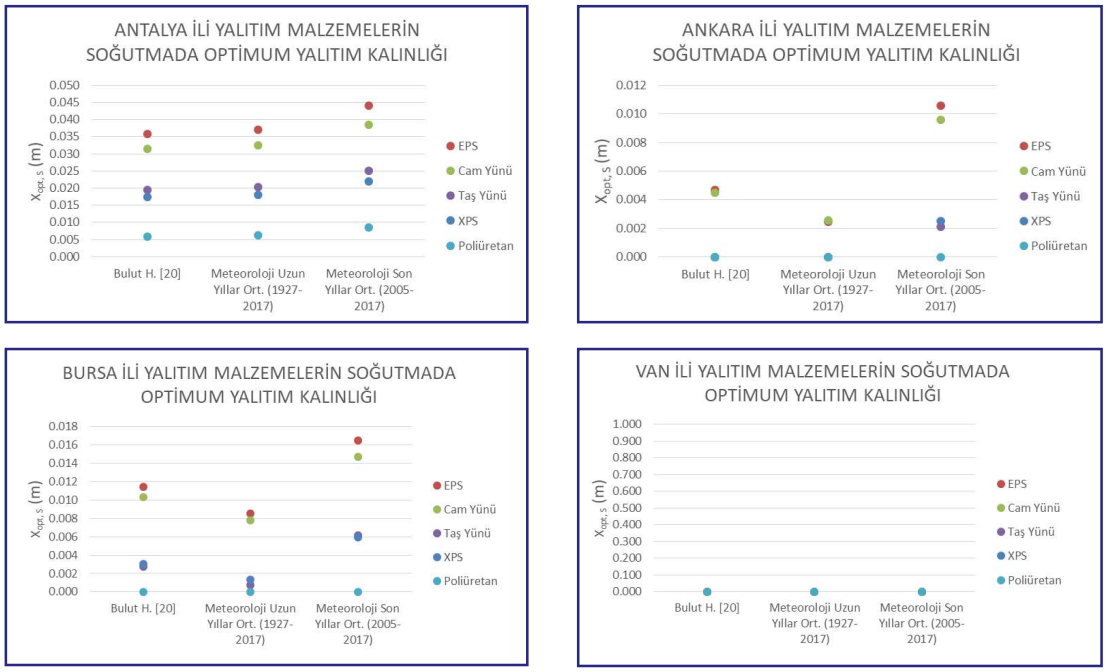
Şehir	IDG			SDG			
	14 °C	16 °C	**18 °C**	**22 °C**	24 °C	26 °C	
ANTALYA	439	731	**1083**	**562**	330	164	Bulut H. [20]
ANTALYA	328	588	**941**	**586**	342	146	Meteoroloji Uzun Yıllar Ort. (1927-2017)
ANTALYA	185	413	**720**	**737**	486	242	Meteoroloji Son Yıllar Ort. (2005-2017)
BURSA	1117	1491	**1920**	**177**	61	12	Bulut H. [20]
BURSA	999	1379	**1816**	**146**	22	0	Meteoroloji Uzun Yıllar Ort. (1927-2017)
BURSA	1005	1377	**1802**	**239**	89	0	Meteoroloji Son Yıllar Ort. (2005-2017)
ANKARA	1773	2199	**2677**	**109**	37	8	Bulut H. [20]
ANKARA	1714	2138	**2621**	**90**	0	0	Meteoroloji Uzun Yıllar Ort. (1927-2017)
ANKARA	1618	2042	**2506**	**168**	44	0	Meteoroloji Son Yıllar Ort. (2005-2017)
VAN	2454	2938	**3476**	**32**	6	1	Bulut H. [20]
VAN	2216	2702	**3194**	**9**	0	0	Meteoroloji Uzun Yıllar Ort. (1927-2017)
VAN	2227	2713	**3199**	**51**	0	0	Meteoroloji Son Yıllar Ort. (2005-2017)



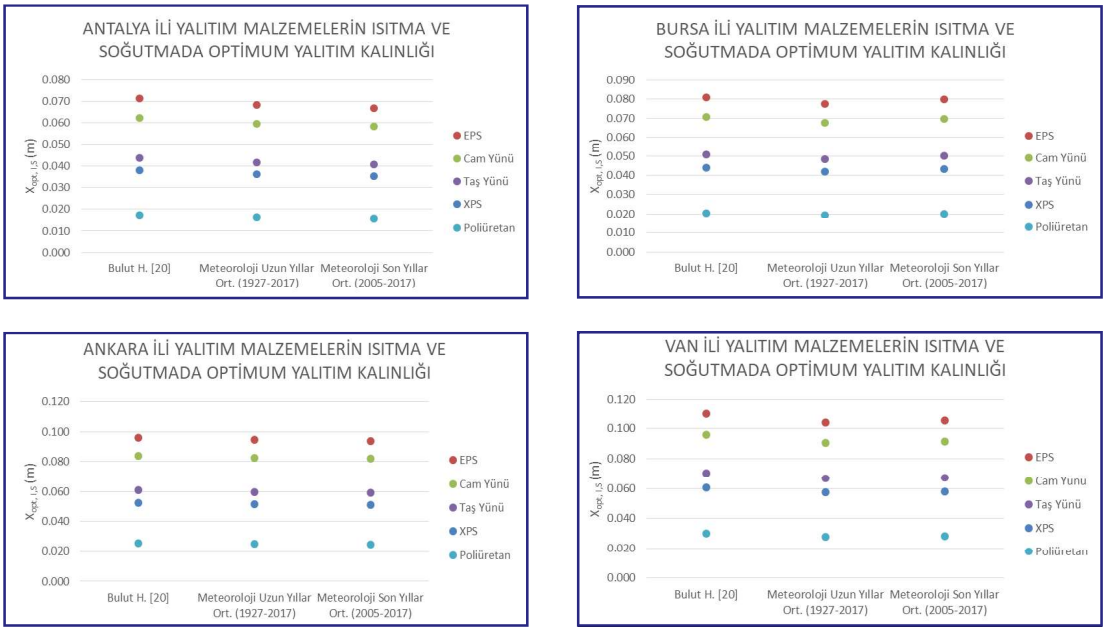
Şekil 2. Üç farklı yöntemle hesaplanan ısıtma derece gün değerlerine göre, Antalya, Bursa, Ankara, Van illerinde sadece ısıtma yapılması durumunda yalıtım malzemelerinin optimum yalıtım kalınlık değerleri

Tesisat-172-yeniden-05082019.indd 13 2.09.2019 13:46

Isıtmada 18 °C, soğutmada 22 °C referans sıcaklığına göre hesaplanan tüm ısıtma ve soğutma derece gün değerleri kullanılarak Türkiye'deki dört derece gün bölgesinden seçilen 4 il için Şekil 2'de sadece ısıtılma, Şekil 3'de sadece soğutma, Şekil 4'de hem ısıtma hem soğutma yapılması durumlarına göre beş farklı yalıtım malzemesinin optimum yalıtım kalınlıkları gösterilmiştir.



Şekil 3. Üç farklı yöntemle hesaplanan soğutma derece gün değerlerine göre, Antalya, Bursa, Ankara, Van illerinde sadece soğutma yapılması durumunda yalıtım malzemelerinin optimum yalıtım kalınlık değerleri



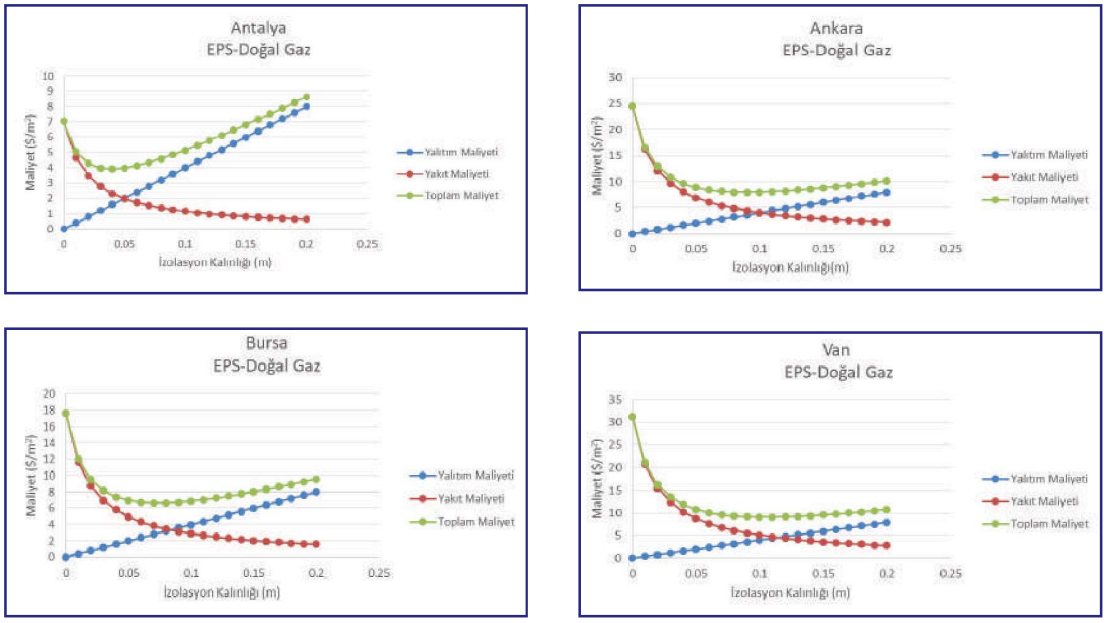
Şekil 4. Üç farklı yöntemle hesaplanan ısıtma-soğutma derece gün değerlerine göre, Antalya, Bursa, Ankara, Van illerinde hem ısıtma hem de soğutma yapılması durumunda yalıtım malzemelerinin optimum yalıtım kalınlık değerleri

Tesisat-172-yeniden-05082019.indd 14 2.09.2019 13:46

Literatürdeki ısıtma ve soğutma derece gün değerlerine göre bulunan optimum yalıtım kalınlığı tüm iller için en yüksek optimum yalıtım kalınlığını vermektedir. En düşük optimum kalınlığı da meteorolojinin son yılların ortalamasına göre hesaplanan ısıtma ve soğutma derece gün değerleri ile bulunmuştur. Kullanılması gereken yalıtım kalınlığı en kalından inceye doğru sırasıyla EPS, cam yünü, taş yünü, XPS ve poliüretan şeklindedir.

Yalıtım kalınlığı arttıkça ilk yatırım maliyeti artmaktadır. İşletme giderleri ise yalıtım kalınlıkları ile azalmaktadır. Bu iki değerin toplamı olan toplam maliyet ise yalıtım kalınlığının artması ile ilk önce azalmakta, minimum bir değerden sonra tekrar artmaktadır. Toplam maliyet eğrisinin minimum olduğu nokta optimum yalıtım kalınlığını gösterir. Şekil 5'de Antalya, Bursa, Ankara ve Van illerinde doğal gaz yakıtı ile sadece ısıtma yapılan binalarda, EPS yalıtım malzemesinin ilk yatırım maliyeti, yakıt maliyeti ve toplam maliyetlerin değişimleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde EPS yalıtım malzemesi için optimum kalınlık, yakıt olarak doğal gaz kullanıldığında Antalya ilinde 0,039 m, Bursa ilinde 0,073 m, Ankara ilinde 0,090 m ve Van ilinde 0,104 m olarak bulunmuştur.

Seçilen dört il için Meteoroloji'nin son yıllar ortalamasına göre hesap edilen ısıtma ve soğutma derece gün değerleri kullanılarak tüm yalıtım malzemelerinin optimum yalıtım kalınlıkları Tablo 7'de verilmiştir.

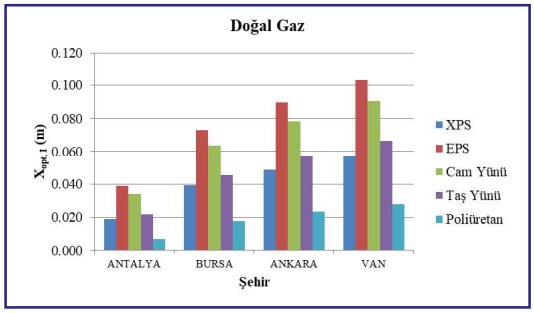


Şekil 5. Antalya, Bursa, Ankara, Van illerinde doğal gaz yakıtı ve EPS yalıtım malzemeleri için ısıtmada optimum yalıtım kalınlığı değerleri

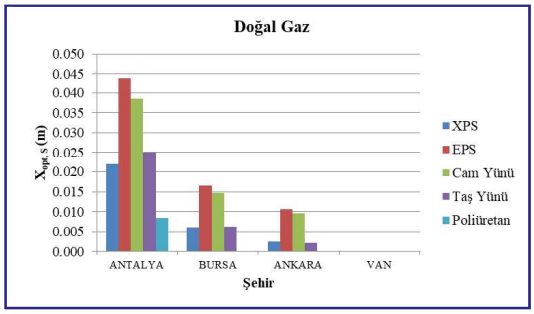
Tablo 7. Meteorolojinin Son Yıllar Ortalamasına Göre Hesaplanan ISG ve SDG Değerlerine Göre Optimum Yalıtım Kalınlıkları

Şehir	IDG	SDG	XPS			EPS			Cam Yünü			Taş Yünü			Poliüretan		
			$X_{opt,I}$	$X_{opt,S}$	$X_{opt,I,S}$	$X_{opt,I}$	$X_{opt,S}$	$X_{opt,I,S}$	$X_{opt,I}$	$X_{opt,S}$	$X_{opt,I,S}$	$X_{opt,I}$	$X_{opt,S}$	$X_{opt,I,S}$	$X_{opt,I}$	$X_{opt,S}$	$X_{opt,I,S}$
Antalya	720	737	0,019	0,022	0,035	0,039	0,044	0,067	0,034	0,039	0,058	0,022	0,025	0,041	0,007	0,008	0,016
Bursa	1802	239	0,039	0,006	0,043	0,073	0,016	0,080	0,064	0,015	0,070	0,045	0,006	0,050	0,018	0,000	0,020
Ankara	2506	168	0,049	0,003	0,051	0,090	0,011	0,094	0,078	0,010	0,082	0,057	0,002	0,060	0,023	0,000	0,025
Van	3199	51	0,057	0,000	0,058	0,104	0,000	0,105	0,091	0,000	0,092	0,066	0,000	0,067	0,028	0,000	0,028

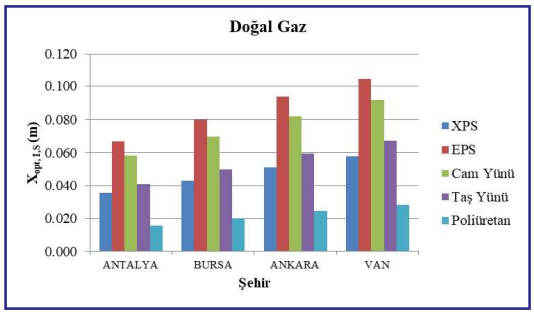
Tesisat-172-yeniden-05082019.indd 15 2.09.2019 13:46



(a)



(b)



(c)

Şekil 6. Antalya, Bursa, Ankara, Van illerinde 5 farklı yalıtım malzemesinin a) sadece ısıtma b) sadece soğutma c) hem ısıtma hem de soğutma durumlarına göre optimum yalıtım kalınlığı

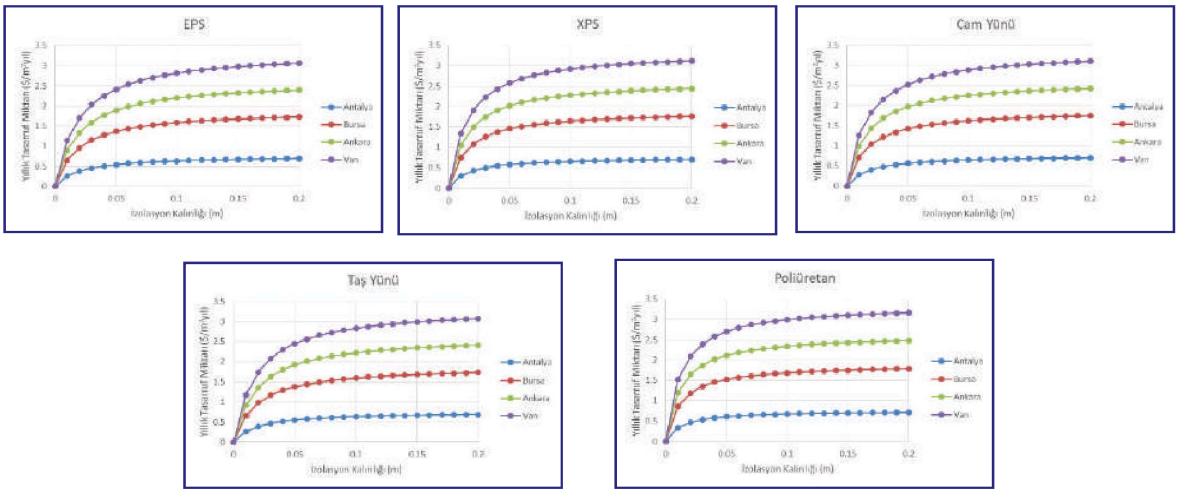
Şekil 6a sadece ısıtma yapılan, Şekil 6b sadece soğutma yapılan ve Şekil 6c hem ısıtma hem de soğutma yapılan binalarda seçilen 5 il için dış duvarlarda kullanılacak yalıtım malzemesinin cinsine göre kullanılması gereken optimum yalıtım kalınlıklarının değişimlerini göstermektedir. Kullanılması gereken yalıtım kalınlıklar incelenirse; tüm iller için kalınlıklar EPS, cam yünü, taş yünü, XPS ve poliüretan sıralamasıyla azalmaktadır. Sadece ısıtma yapılan binalar için inceden kalına doğru Antalya, Bursa, Ankara ve Van sıralanmaktadır. Sadece soğutma yapılan binalar için sıralama Van, Ankara, Bursa ve Antalya şeklindedir. Hatta Van ilinin soğutma derece gün değerleri çok küçük olduğu için kullanılması gereken yalıtım kalınlığı sıfır hesaplanmaktadır. Hem ısıtma hem de soğutma yapılan binalar için sıralama ise sadece ısıtma yapılan binalarda olduğu gibi Antalya, Bursa, Ankara ve Van şeklindedir.

Şekil 7'de sadece ısıtma yapılan binalarda seçilen 4 il için yalıtım malzemesi kalınlığı ile toplam net tasarruf miktarının değişimi verilmiştir. Kullanılan yalıtım malzemesi kalınlığı arttıkça toplam net tasarruf miktarı artmakta, belli bir değerden sonra yalıtım kalınlığı artmasına rağmen değişim azalarak eğri yatay bir form almaktadır.

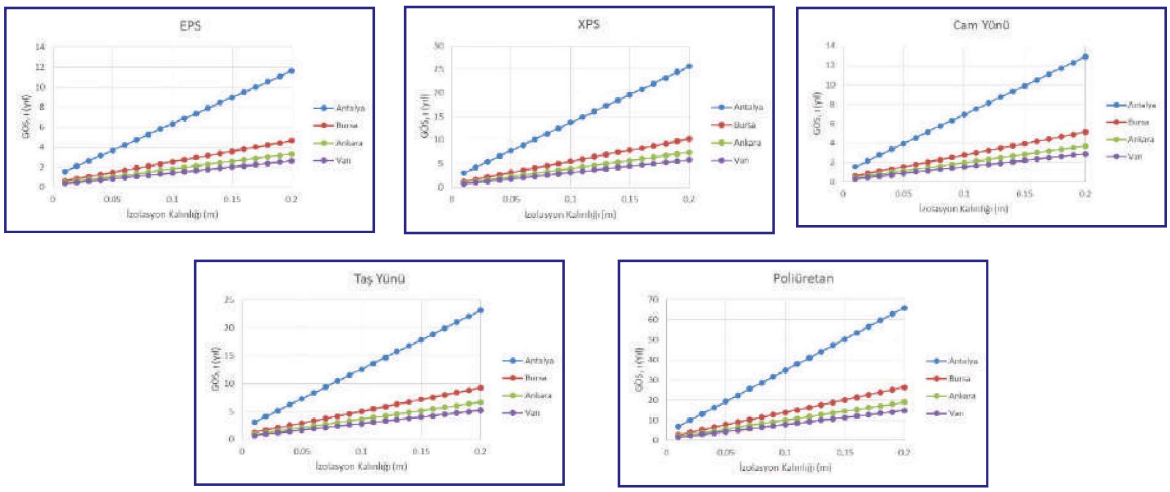
Şekil 8'de seçilen dört il için yalıtım malzemesinin türüne göre kullanılacak kalınlığa göre geri ödeme süreleri gösterilmiştir. Tüm yalıtım malzemeleri için en kısa geri ödeme süresi Van ilinde hesaplanırken, en uzun geri ödeme süresi Antalya ilinde bulunmuştur. Tüm iller için geri ödeme süreleri kısadan uzuna doğru EPS, cam yünü, taş yünü, XPS ve poliüretan sıralamasıyla bulunmuştur.

Türkiye'de yalıtım kalınlığı hesaplamaları resmi ruhsat projelerinde TS 825 Standardı'na göre yapılmaktadır. Bu hesaplamada binaların aylık, yıllık ısıtma enerji ihtiyacı bulunmakta ve standartta verilen sınır değere göre kontrol edilmektedir. Kullanılması gereken yalıtım kalınlığı deneme-yanılma yöntemi ile bulunmaktadır. Fakat bu hesaplamalarda yalıtım malzemesinin fiyatı, kullanılacak yakıtın türü ve birim fiyatı gibi parametreler girilmemektedir. Sadece enerji hesabı yapılmaktadır. Uygulamada denetimdeki problemler nedeniyle hesapta seçilen yalıtım malzemesi yerine daha ucuz malzemeler tercih edilmekte veya hesapla bulunan kalınlığın kullanılmadığı görülmektedir. Genelde uygulamada 3-4 cm EPS veya taş yünü malzeme ile yalıtım yapılmaktadır. Bu durum binalarda hiç yalıtım olmamasına göre toplamda %40-60 oranında ısı transferini azaltmaktadır. Uygulamada soğuk sıcak bölge fark etmeksizin, her yerde aynı kalınlıkta yalıtım uygulanmaktadır. Yakıt maliyeti ile ilk yatırım maliyetinin toplamı olan toplam maliyet analizi yapılmamaktadır. Toplam maliyetin yalıtım kalınlığı ile değişimi incelendiğinde toplam maliyetin minimum olduğu nokta, yakıta ve yalıtım malzemesine göre en ideal yalıtım kalınlık değeridir. Bu hesabın yapılarak, işletme için en uygun yalıtım malzemesi ve optimum yalıtım kalınlığının hesaplanması gerekmektedir.

Tesisat-172-yeniden-05082019.indd 16 2.09.2019 13:46



Şekil 7. Seçilen illerin yalıtım malzemeleri cinsine göre sadece ısıtma yapılması durumunda yalıtım kalınlığının yıllık tasarruf miktarına etkisi



Şekil 8. Antalya, Bursa, Ankara, Van illerinde doğal gaz yakıtı ve yalıtım malzemeleri cinsine göre sadece ısıtma durumunda yalıtım kalınlığının geri ödeme süresine etkisi

4. SONUÇ

Sahip olduğu enerji kaynakları sınırlı olan, kullanılan enerji kaynakların büyük bir kısmını ithal eden bizimki gibi ülkelerde enerjinin verimli kullanılması, yeni bir enerji kaynağı bulma kadar önemli bir konudur. Yalıtımsız veya yeterince yalıtımsız binalar yüzünden ithal ettiğimiz bu enerjiyi kayıp etmekteyiz. Bu enerji kaybı ülke bütçesinin önemli bir miktarını oluşturmaktadır. Bu nedenle enerjinin korunumu ve verimli kullanılması gün geçtikçe önem kazanmaktadır.

Bu çalışmada, Türkiye'deki TS 825 Standardı'nda belirtilen dört derece gün bölgesinden seçilen dört il için sadece ısıtma, sadece soğutma ve hem ısıtma hem de soğutma yapılan binalar için enerji maliyet-tasarrufları dikkate alınarak optimum yalıtım kalınlığı hesaplanmıştır. Antalya, Bursa, Ankara ve Van şehirleri için veriler tablo ve grafiklerle kıyaslanmıştır. Yalıtım malzemelerinin türüne göre illerin derece gün değerleri kullanılarak gerekli yalıtım kalınlıkları belirlenmiştir. İllerin derece gün değerleri olarak literatürden bulunan değer ile meteorolojinin verdiği datalara göre bulunan derece gün değerleri kullanılmış ve bunların karşılaştırması verilmiştir. Meteoroloji dataları hem uzun

Tesisat-172-yeniden-05082019.indd 17 2.09.2019 13:46

dönem hem de son yılların ortalamasına göre alınarak karşılaştırma imkânı bulunmuştur. Son yılların sıcaklık ortalamasına göre ısıtma derece gün değerleri daha az, soğutma derece gün değerleri ise daha büyük olarak bulunmuştur. Sadece ısıtma yapılan binalar için optimum yalıtım kalınlığı, literatürde verilen derece gün değerlerine göre hesap edildiğinde en büyük değeri verirken, Meteoroloji'nin son yıllar ortalamasına göre bulunan ısıtma derece gün değerine göre en düşük değer bulunmuştur. Sadece soğutma yapılan binalarda ise literatür ısıtma derece gün değeri en düşük, meteorolojinin son yıllar ortalaması ise en büyük değer bulunmuştur. Hem ısıtma hem de soğutma yapılan binalarda ise sadece ısıtma yapılan binalardakine benzer bir sonuç bulunmuştur. Literatürdeki derece gün değerine göre en kalın, meteorolojinin son yıllar ortalamasına göre en ince optimum yalıtım kalınlığı bulunmuştur.

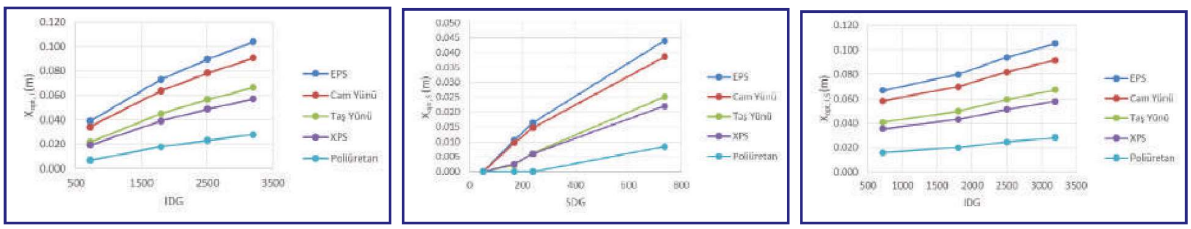
Meteorolojinin son yıllar ortalamasına göre yapılan hesaplamalar sonucunda ısıtma derece gün değerleri ile yalıtım malzemesinin cinsine göre kullanılması gereken optimum yalıtım kalınlıkları Şekil 9'da verilmiştir. Şekil 9a, sadece ısıtma yapılan binalar, Şekil 9b sadece soğutma yapılan binalar ve Şekil 9c ise hem ısıtma hem de soğutma yapılan binalar için derece gün değerleri ile kullanılması gereken optimum yalıtım kalınlığı değişimlerini göstermektedir. Isıtma ve soğutma derece gün değerleri arttıkça kullanılması gereken yalıtım kalınlığı; tüm yalıtım malzemeler için geçerli; artmaktadır.

Şekil 10'da ısıtma derece gün değerlerine göre önerilen optimum kalınlıkta yalıtım malzemesinin kullanılması durumunda ilk yatırım maliyetinin geri ödeme süreleri verilmiştir. Sadece ısıtma yapılan binaların geri ödeme süreleri Şekil 10a'da, hem ısıtılan hem de soğutulan binalar için geri ödeme süreleri Şekil 10b'de verilmiştir. Şekiller incelendiğinde ısıtma derece gün değerleri arttıkça her iki durum için de geri ödeme süresi azalmaktadır. Geri ödeme süresi en kısadan uzuna doğru cam yünü, EPS, XPS, taş yünü ve poliüretan olarak sıralanmıştır.

Çalışmada sadece ısıtma yapılan binalar için optimum yalıtım kalınlığı XPS için Antalya, Bursa, Ankara ve Van illerinde sırasıyla 0.019, 0.039, 0.049, 0.057 m, EPS için 0.039, 0.073, 0.090, 0.104 m, cam yünü için 0.034, 0.064, 0.078, 0.091 m, taş yünü için 0.022, 0.045, 0.057, 0.066 m, ve poliüretan için 0.007, 0.018, 0.023, 0.028 m olarak hesaplanmıştır. Sadece soğutma yapılan binalar için optimum yalıtım kalınlığı XPS için Antalya, Bursa, Ankara ve Van illerinde sırasıyla 0.022, 0.006, 0.003, 0.000 m, EPS için 0.044, 0.016, 0.011, 0.000 m, cam yünü için 0.039, 0.015, 0.010, 0.000 m, taş yünü için 0.025, 0.006, 0.002, 0.000 m, ve poliüretan için 0.008, 0.000, 0.000, 0.000 m olarak hesaplanmıştır.

Hem ısıtma hem de soğutma yapılan binalar için optimum yalıtım kalınlığı XPS için Antalya, Bursa, Ankara ve Van illerinde sırasıyla 0.035, 0.043, 0.051, 0.058 m, EPS için 0.067, 0.080, 0.094, 0.105 m, cam yünü için 0.058, 0.070, 0.082, 0.092 m, taş yünü için 0.041, 0.050, 0.060, 0.067 m, ve poliüretan için 0.016, 0.020, 0.025, 0.028 m olarak hesaplanmıştır.

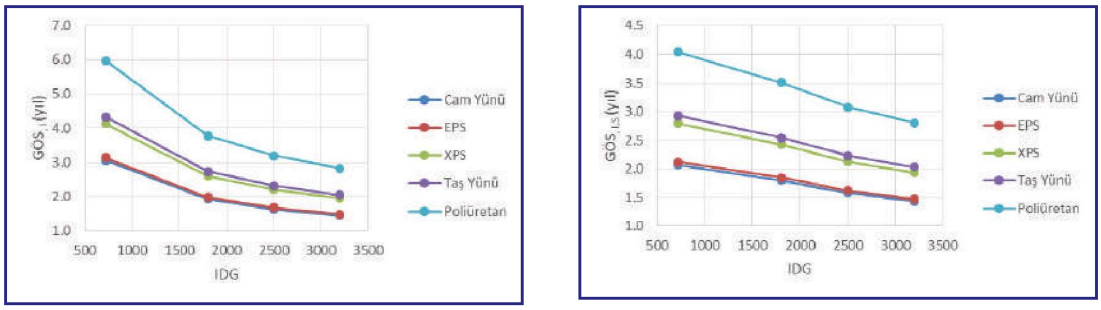
Bulunan sonuçların Tablo 8'de literatürle karşılaştırması yapılmıştır. Sonuçların literatürdeki sonuçlara yakın ve uyum içinde olduğu görülmüştür. Yakıt ve elektrik fiyatlarının her geçen gün artması ısıtılan ve soğutulan binalarda yalıtımın önemini artırmıştır. Binalarda ısıtma ve soğutma için az enerjiye ihtiyaç olması, gerek ısınma amaçlı karbon kökenli yakıtların gerekse de elektrik üretiminde çevreye verilen CO_2 miktarının azalması anlamına gelmektedir. Çevremizi korumak ve geleceğimize daha sürdürebilir bir yaşam bırakmak için kullandığımız enerjiyi verimli kullanmak zorundayız.



(a) *(b)* *(c)*

Şekil 9. Tüm yalıtım malzemeleri için ısıtma-soğutma derece gün değerlerine göre optimum yalıtım kalınlığı

Tesisat-172-yeniden-05082019.indd 18 2.09.2019 13:46



(a) *(b)*

Şekil 10. Tüm yalıtım malzemelesi için ısıtma derece gün değerlerine göre geri ödeme süreleri

Tablo 8. Meteorolojinin Son Yıllar Ortalamasına Göre Hesaplanan ISG ve SDG Değerlerine Göre Optimum Yalıtım Kalınlıkların Literatür İle Karşılaştırması

İller	Kürekci [5]			Dombaycı [7]			Bolattürk [15]			Bu Çalışma		
	$X_{opt,ı}$	$X_{opt,s}$	$X_{opt,ı,s}$	$X_{opt,ı}$	$X_{opt,s}$	$X_{opt,ı,s}$	$X_{opt,ı}$	$X_{opt,s}$	$X_{opt,ı,s}$	$X_{opt,ı}$	$X_{opt,s}$	$X_{opt,ı,s}$
Antalya	0,041	0,022	0,054	-	-	-	0,025	0,032	-	0,039	0,044	0,067
Bursa	0,061	0,004	0,065	-	-	-	-	-	-	0,073	0,016	0,080
Ankara	0,076	0,000	0,078	0,077	-	-	-	-	-	0,090	0,011	0,094
Van	0,089	0,000	0,090	-	-	-	-	-	-	0,104	0,000	0,105

SİMGE LİSTESİ

$A_{yıl,ı}$ Sadece ısıtma yapılan binalar için net tasarruf miktarı, ($/m² yıl)
$A_{yıl,ı,s}$ Hem ısıtma hem de soğutma yapılan binalar için net tasarruf miktarı, ($/m² yıl)
$C_{ı}$ Yalıtılmamış binanın toplam ısıtma maliyeti, ($/m² yıl)
$C_{ı,s}$ Yalıtılmamış binanın toplam ısıtma ve soğutma maliyeti, ($/m² yıl)
C_{y} Yalıtım malzemesinin birim fiyatı ($/m³)
$C_{yakıt}$ Yakıt birim fiyatı ($/m³)
$C_{yalıtım}$ Yalıtım malzemesinin maliyeti, ($/m²)
$C_{yal.,top.,ı}$ Yalıtılmış binanın toplam ısıtma maliyeti, ($/m² yıl)
$C_{yal.,top.,ı,s}$ Yalıtılmış binanın toplam ısıtma-soğutma maliyeti, ($/m² yıl)
$C_{yal.,top.,s}$ Yalıtılmış binanın toplam soğutma maliyeti, ($/m² yıl)
$C_{yıl,ı}$ Birim yüzey için yıllık ısıtma maliyeti, ($/m² yıl)
$C_{yıl,s}$ Birim yüzey için yıllık soğutma maliyeti, ($/m² yıl)
COP Soğutma sistemi etkinliği
DG Derece-gün sayısı, (°C.gün)
ΔT İç, dış ortam sıcaklık farkı (°C)
$E_{yıl,ı}$ Yıllık ısıtma enerji ihtiyacı (W/m²)
$E_{yıl,s}$ Yıllık soğutma enerji ihtiyacı (W/m²)
EPS Expanted polistren
g Enflasyon oranı
$GÖS_{ı}$ Sadece ısıtma yapılan binalarda geri ödeme süresi, (yıl)
$GÖS_{ı,s}$ Hem ısıtma hem de soğutma yapılan binalar geri ödeme süresi, (yıl)
Hu Yakıtın alt ısıl değeri, (kJ/m³)
IDG Isıtma Derece Gün (°C.gün)
i Faiz oranı (%)
k Isı iletim katsayısı, (W/mK)
N Ömür, (yıl)
q Isı kaybı-kazancı, (W/m²)
$q_{yıl,ı}$ Yıllık ısı kaybı, (W/m²)
$q_{yıl,s}$ Yıllık ısı kazancı, (W/m²)
r Gerçek faiz oranı (%)
R Malzemelerin ısıl direnci, (m²K/W)
R_{d} Dış yüzey ısı taşınım direnci, (m²K/W)
R_{duvar} Duvar katmanlarının ısı yalıtımı olmadan ısı iletim direncini, (m²K/W)
$R_{d,t}$ Yalıtımsız duvarın toplam ısıl direnci, (m²K/W)
R_{i} İç yüzey ısı taşınım direnci, (m²K/W)
R_{y} Yalıtım malzemesinin ısıl direnci, (m²K/W)

Tesisat-172-yeniden-05082019.indd 19 2.09.2019 13:46

SDG	Soğutma Derece Gün (°C.gün)
ŞDF	Şimdiki değer faktörü
U	Toplam ısı geçiş katsayısı, (W/m^2K)
x	Yalıtım kalınlığı, (m)
$x_{opt,ı}$	Sadece ısıtma yapılan binalar için optimum yalıtım kalınlığı, (m)
$x_{opt,ı,s}$	Hem ısıtma hem de soğutma yapılan binalar için optimum yalıtım kalınlığı, (m)
$x_{opt,s}$	Sadece soğutma yapılan binalar için optimum yalıtım kalınlığı, (m)
XPS	Ekstrude polistiren
h	Yakma sisteminin verimi

KAYNAKLAR

[1] TS 825, Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, 1998.

[2] Aytaç, A., Aksoy, U. T., Enerji Tasarrufu İçin Dış Duvarlarda Optimum Yalıtım Kalınlığı ve Isıtma Maliyeti İlişkisi, Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi, 21, 753-758, 2006.

[3] Oğulata, R. T., Sectoral Energy Consumption in Turkey, Renewable and Sustainable Energy Reviews, cilt 6, 471-480, 2002.

[4] Kayfeci, M., Determination of Energy Saving and Optimum Insulation Thicknesses of the Heating Piping Systems for Different Insulation Materials, Energy and Buildings, 69, 278-284, 2014.

[5] Kurekci, N. A., Determination of Optimum Insulation Thickness for Building Walls by Using Heating and Cooling Degree-Day Values of All Turkey's Provincial Centers, Energy and Buildings, 118, 197-213, 2016.

[6] Cuce, E., Cuce, P. M., Christopher, J. Wood, Riffat, S. B., Optimizing Insulation Thickness and Analyzing Environmental Impacts of Aerogel-Based Thermal Superinsulation in Buildings, Energy and Buildings, 77, 28-39, 2014.

[7] Dombayci, Ö. A., Atalay, Ö., Acar, Ş. G., Ulu, E. Y., Ozturk, H. K., Thermoeconomic Method for Determination of Optimum Insulation Thickness of External Walls for the Houses: Case Study for Turkey, Sustainable Energy Technologies and Assessments, 22, 1-8, 2017.

[8] Alsayed, M. F., Tayeh, R. A., Life Cycle Cost Analysis for Determining Optimal Insulation Thickness in Palestinian Buildings, Journal of Building Engineering, 22, 101-112, 2019.

[9] Ertürk, M., Optimum Insulation Thicknesses of Pipes with Respect to Different Insulation Materials, Fuels and Climate Zones in Turkey, Energy, 113, 991-1003, 2016.

[10] Vincelas, F. F. C., Ghislain, T., Robert, T., Influence of the Types of Fuel and Building Material on Energy Savings into Building in Tropical Region of Cameroon, Applied Thermal Engineering, 122, 806-819, 2017.

[11] Sagbansua, L., Balo, F., Ecological Impact & Financial Feasibility of Energy Recovery (EIFFER) Model for Natural Insulation Material Optimization, Energy and Buildings, 148, 1-14, 2017.

[12] Vincelas, F. F. C., Ghislain, T., The Determination of the Most Economical Combination Between External Wall and the Optimum Insulation Material in Cameroonian's Buildings, Journal of Building Engineering, 9, 155-163, 2017.

[13] Onan, C., Determination of the Thermal Insulation for the Model Building Approach and the Global Effects in Turkey, Advances in Mechanical Engineering, 1-12, 2014.

[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, 1301-1309, 2006.

[15] Bolattürk, A., Optimum Insulation Thickness for Building Walls with Respect to Cooling and Heating Degree-Hours in the Warmest Zone of Turkey, Building and Environment, 43, 1055-1064, 2008.

[16] Özel, M., Pıhtılı, K., Determination of Optimum Insulation Thickness by Using Heating and Cooling Degree-Day Values, Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 26, 191-197, 2008.

[17] Hasan, A., Optimizing Insulation Thickness for Buildings Using Life Cycle Cost, Applied Energy, 63, 115-124, 1999.

[18] Yakıtların Fiyat Kıyas Listesi, Mayıs 2019, www.igdas.com.tr.

[19] Faiz ve Enflasyon Oranları, Mayıs 2019, www.tuik.gov.tr,

[20] Bulut, H., Büyükalaca, O. ve Yılmaz, T., Türkiye için Isıtma ve Soğutma Derece-Gün Bölgeleri, 16. Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 30 Mayıs-2 Haziran 2007.

Tesisat-172-yeniden-05082019.indd 20 2.09.2019 13:46