



## FARKLI AMAÇLARLA KULLANILAN BİNALARIN ÇATI, DÖŞEME VE DIŞ DUVARLARI İÇİN ÖLÇÜLEREK HESAPLANAN OPTİMUM YALITIM KALINLIKLARI

Okan KON\* ve Bedri YÜKSEL\*\*

\*Balıkesir Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü  
10145 Çağış Kampüsü, Balıkesir, okan@balikesir.edu.tr

\*\*Balıkesir Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü  
10145 Çağış Kampüsü, Balıkesir, byuksel@balikesir.edu.tr

(Geliş Tarihi: 08.10.2014, Kabul Tarihi: 21.07.2015)

**Özet:** Çok katlı binalarda ısı kayıplarının; yaklaşık %7'si çatıdan, %40'ı dış duvarlardan, %6'sı döşemelerden (tabandan) meydana gelmektedir. Bu amaçla çalışmada, örnek alınan çok katlı binanın çatı, döşeme ve dış duvarlarındaki ısı kayıpları azaltmak için ölçümler ve hesaplamalar yapılmıştır. Örnek alınan bina; 7 katlı ana bina ve bu binaya bağlı tek katlı matbaa binasından oluşmaktadır. Enerji kayıplarını analiz etmek için ısı merkezine yerleştirilen düzenek ile ısıtma ve soğutma sistemlerinde 1 yıl süre ile ölçümler yapılmıştır. Yapılan ölçümler ile ısıtma sisteminin gerçek verimi ve soğutma sisteminin gerçek COP değeri tespit edilmiştir. Ölçülen değerlere bağlı olarak örnek binanın çatı, döşeme ve dış duvarları için ısıtma dönemi, soğutma dönemi ve ısıtma+soğutma dönemleri için ayrı ayrı optimum yalıtım kalınlıkları, yakıt tüketimleri ve yakıt tasarrufları hesaplanmıştır. Yalıtım malzemesi olarak ekstrüde polistiren, yakıt olarak ısıtma sisteminde doğal gaz ve soğutma sisteminde elektrik kullanılmıştır. Hesaplamalar derece-gün metodu ve ömür maliyet analizine göre yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Bina enerji verimliliği, Optimum yalıtım kalınlığı, Derece-gün metodu, Ömür maliyet analizi

## OPTIMUM INSULATION THICKNESS CALCULATED BY MEASURING OF ROOF, FLOOR AND EXTERIOR WALLS IN BUILDINGS USED FOR DIFFERENT PURPOSES

**Abstract:** Heat-losses in multi-storey buildings occur through the roof approximately 7 %, 40 % of it through exterior walls, and 6 % from the floor. For this purpose in this study measurements and calculations were made to reduce heat loss of exemplary multi-storey building's roof, floor and exterior walls. Exemplary building consists of a 7-storey main building and a single storey printing house connected to the main building. To analyze energy loss in the heating and cooling system, devices are placed on heating central, and measurements were made for 1 year. With these measurements the actual efficiency of the heating system and the actual COP value of the cooling system have been identified. Depending on the measured value the optimum thickness, fuel consumption and fuel savings are calculated for the exemplary building's roof, floors and external walls for the heating period, the cooling period, and heating+cooling time periods separately. For the insulation material extruded polystyrene is used; electricity is used for the cooling system, while natural gas is used as fuel for the heating system. All calculations are made based on degree-day method and life cycle-cost analysis.

**Keywords:** Building energy efficiency, Optimum insulation thickness, Degree-day method, Life cost analysis

### SEMBOLLER

$M_f$	Alan başına yıllık yakıt tüketimi ( $m^3/m^2yıl$ , kWh/ $m^2yıl$ )
$q$	Birim alan başına ısı kaybı ( $J/m^2$ )
PWF	Bugünkü değer faktörü
$R_o$	Dış ortam ısı direnci ( $m^2 K/W$ )
$C_E$	Elektrik fiyatı ( $\$/kWh$ )
$g$	Enflasyon oranı (%)
XPS	Ekstrüde polistiren
$i$	Faiz oranı (%)
$W$	Güç (kW)
$S$	Günlük çalışma süresi (saat)
$E$	Günlük elektrik tüketimi (kWh)

$r$	Gerçek faiz oranı
$T_o$	Günlük ortalama dış sıcaklık ( $^{\circ}C$ )
$V$	Hacimsel debi ( $m^3/s$ , $m^3/h$ )
IDG	Isıtma derece-gün
$k$	Isı iletim katsayısı ( $W/m K$ )
$U$	Isı transfer katsayısı ( $W/m^2 K$ )
$Q_A$	Isıtma sisteminden alınan ısı (kW)
$Q_V$	Isıtma sistemine verilen ısı (kW)
$\eta$	Isıtma sistemi verimi
$R_i$	İç ortam ısı direnci ( $m^2 K/W$ )
$T_i$	İç ortam sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )
$m$	Kütlesel debi (kg/s)
$x_{Opt}$	Optimum yalıtım kalınlığı (m)

N	Ömür (yıl)
$C_p$	Sabit basınçta özgül ısı (kJ/kg.K)
SDG	Soğutma derece-gün
COP	Soğutma performans katsayısı
$\Delta t$	Su sıcaklık farkı ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_b$	Temel sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )
$C_t$	Toplam maliyet ( $\$/\text{m}^2$ )
$H_u$	Yakıt alt ısııl değeri ( $\text{J}/\text{m}^3$ )
Y	Yakıt debisi ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
$C_y$	Yakıt fiyatı ( $\$/\text{m}^3$ )
x	Yalıtım kalınlığı (m)
$C_{y,t}$	Yalıtım malzemesi fiyatı ( $\$/\text{m}^3$ )
$C_{t,y,t}$	Yalıtım maliyeti ( $\$/\text{m}^2$ )
$C_A$	Yakıt maliyeti ( $\$/\text{m}^2$ )
$R_{t,w}$	Yalıtımsız duvar toplam ısııl direnci ( $\text{m}^2 \text{K}/\text{W}$ )

### Alt İndisler

A	Alınan
u	Alt
0	Dış
w	Duvar
E	Elektrik
H	Isıtma
H,C	Isıtma+Soğutma
i	İç
opt	Optimum
C	Soğutma
b	Temel
t	Toplam
y	Yakıt
ylt	Yalıtım
t,w	Yalıtımsız
V	Verilen

## GİRİŞ

Yükselen enerji fiyatları ve azalan enerji kaynakları nedeniyle, her ülke için enerji tasarrufu önemli bir konudur, kullandığı enerjinin çoğunluğu ithal olan Türkiye için bu çok daha önemlidir. Enerji tasarrufu, gereksiz kullanılan ve kayıp enerji tüketiminin azaltılmasıyla sağlanır (Çomaklı ve Yüksel, 2003). Konut sektörünün enerji tüketiminde yaklaşık % 25-30'luk payı ile önemli yeri vardır. Son yıllarda yapılan çalışmalara göre bu alandaki tasarruf potansiyeli % 25-45 arasındadır. Konut sektöründe yaşam alanını ısıtmak için harcanan enerji tüketimi diğer tüketim kaynaklarından (su ısıtma, gıda dondurma, yemek pişirmek v.b.) iki kat daha fazladır (Kaynaklı, 2008).

Isı yalıtımı, kışın ısınmak ve yazın serinlemek için harcadığımız enerjiyi azaltmak amacı ile binaların dış cephe duvarları, çatıları, döşemeleri ve tesisatlarından ısı alış-verişini azaltan önlemlerdir. Mevcut binalarımızda çatı, döşeme ve dışa bakan tüm duvarlara ısı geçirmeyen malzeme uygulanmasıyla yapılar (Değirmenci, 2010).

Çok katlı binalarda ısı kayıplarının % 6 bodrum, % 17 hava sızıntısı, % 7 çatı, % 30 pencerelerden ve % 40 duvarlardan olduğu tespit edilmiştir (Aydın, 2011).

Özellikle yalıtım malzemesinin seçimi ve yalıtım kalınlığının belirlenmesi çok önemlidir. Yalıtım malzemesinin termal iletkenliği ve fiyatı seçiminde etkilidir (Yu v.d. 2009). Binaların yalıtımı ile yani eklenen yalıtım malzemesi ilk yatırım artacaktır, fakat uzun vadede maliyet azalacaktır (Hasan, 1999).

Isı yalıtımı uygulamalarında, yalıtım malzemesi kalınlığı artırılarak, enerji kayıpları azaltılabilir. Ancak yalıtım kalınlığının hemen hemen hiç ısı kaybı olmayacak şekilde artırılması ne ekonomiktir ne de mümkündür. Yalıtım yatırım tutarı ile yalıtımlı binada sağlanacak tasarruflar arasında bir denge noktası belirlenmelidir. Denge noktası, en iyi yalıtım kalınlığıdır. Belirli bir ekonomik ömür için yalıtım ve işletim giderlerinin en az olmasını sağlayan yalıtım kalınlığına en iyi yalıtım kalınlığı denilmektedir (Şişman, 2005).

Isı yalıtım malzemesi kullanım değerleri dikkate alındığında,  $0.04 \text{ m}^3/\text{kişi}$  ısı malzemesi kullanılması ile Türkiye benzer iklim özelliklerini paylaştığı Akdeniz ve Orta Avrupa ülkelerinin gerisinde kalmıştır. Bu durum, ısı yalıtımına daha çok önem vermemizin gerekliliğini sergilemektedir (Şişman, 2005).

Farklı bölgelerdeki binaların yıllık ısıtma ve soğutma gereksinimi derece gün konsepti ile elde edilebilir. Derece günler; ortalama dış sıcaklık ve temel sıcaklığın arasındaki farktır. Isıtma ya da soğutma derece günler uzun dönem ölçülen veriler ile belirlenir. Bu konsept sabit iç şartlara, ısıtma ya da soğutma ekipmanlarının verimine dayanır (Bolattürk, 2006).

Günümüzde konut sektöründe yeni ve çok miktarda, havalandırmalı dış duvar yalıtım uygulamaları yapılmaktadır (giydirme cephe); bunlar yapının mevcut duvarına uygulanan ısı yalıtım malzemesi ile kaplama malzemesi arasında hava boşluğu bulunan sistemlerdir. Türkiye'de büyük şehirlerde artan büro yapılarının dışında günümüzde konut olarak da tercih edilen yüksek katlı yapılarda kullanılan bir sistemdir (Aydın, 2011).

Literatür çalışması incelenecek olursa; Çomaklı ve Yüksel, 2003; Kaynaklı, 2008; Yu v.d. 2009; Hasan 1999; Şişman N., 2005; Bolattürk, 2006; Kaynaklı ve Yamankaradeniz, 2007; Bolattürk, 2008; Aslan, 2010; Dombaycı v.d., 2006; Ekici v.d., 2012; Kaynaklı v.d., 2012; Gölcü v.d., 2006, Uçar ve Balo, 2010; Kaynaklı v.d. 2010, Tolun, 2010, Ulaş, 2010 yaptıkları çalışmalarda, farklı konut tipleri için, farklı yakıt ve yalıtım malzemeleri kullanılarak, ısıtma ve ısıtma-soğutma dönemlerinde optimum yalıtım kalınlıklarını hesaplamışlardır. Hesaplamalarda derece-gün (derece-saat) yöntemi ve 10, 20, 30 yıllık süreler için ömür maliyet analizi yapılmıştır. Değirmenci, 2010; yaptığı çalışmada, yapılan termal kamera çekimleri ile bina ya da diğer sektörlerin yalıtımlı ve yalıtımsız durumları arasındaki farkları incelemiştir. Aydın, 2011; yaptığı çalışmada seçilen konutlarda ısııl konfor koşullarını değerlendirmek ve mevcut durumun olumsuz etkilerini ortaya koymak amacı ile kullanıcılarla anket çalışması yapmıştır. Verilerin değerlendirilmesinde SPSS programı

kullanılmıştır. Kaynaklı, 2011; yaptığı çalışmada, bina duvarları için optimum yalıtım kalınlığına çeşitli parametrelerin etkisi araştırmıştır. Bu analizlerde araştırılan parametreler, ısıtma ve soğutma derece günleri, bina ömrü, enflasyon ve faiz oranı, yalıtım malzemesi fiyatı, ısıtma ve soğutma için enerji kaynağının fiyatı, toplam duvar direnci, yalıtımın ısı iletkenliği, COP, güneş radyasyonudur. Gültekin ve Kadioğlu, 1996; yaptıkları çalışmada, ısıtma ve soğutma derece-gün indekslerini ile ısıtmaya ve soğutmaya ihtiyaç duyulan ortalama süreleri hesaplanmıştır. 15 °C ve 18 °C taban sıcaklıklarına göre ısıtma derece-gün değerleri, 24 °C taban sıcaklığına göre soğutma derece-gün değerleri incelenmiştir. Eryiğit, 2003; yaptığı çalışmasında, Süleyman Demirel Üniversitesi Morfoloji binasında ısıtma ve havalandırma sistemlerinin geliştirilmesi ve ilave otomatik kontrol cihazları kullanılarak konvansiyonel sistemlere göre sağlanan enerji tasarrufunun hesaplanması amaçlanmıştır. Kon, 2014; yaptığı çalışmada, farklı amaçlarla kullanılan Balıkesir Üniversitesi Rektörlük Binasının enerji tüketimleri incelenmiştir. Enerji tüketim ölçümleri için ısı merkezine ölçüm sistemleri kurulmuştur. Isı akış plakası ile dış duvarların birim alan başına ısı akışı ölçülmüştür. Bunlara bağlı olarak bulunan ısıtma, soğutma ve ısıtma+soğutma döneminin optimum yalıtım kalınlıkları; çeşitli yalıtım malzemeleri için tüm bina hacimlerinin hesaplanan ve ölçülen ısı transfer katsayısı ile teorik ve ölçülen verim ile COP (Coefficient of Performance) değerine göre tespit edilmiştir. Dış duvarlar, tavan ve taban için optimum yalıtım kalınlığı hesaplarında, derece-gün metodu ve ömür maliyet analizi kullanılmıştır.

Bu çalışmada, örnek alınan 7 katlı giydirme cephe kaplamalı üstü teras ana binadan ve tek katlı üstü teras matbaa binasının oluşan Balıkesir Üniversitesi Rektörlük binasının bodrum katında bulunan ısı merkezine düzenek kurulmuştur. Kurulan ölçme düzeneği ile bir yıl süreyle ısıtma sisteminde, gidiş-dönüş su sıcaklıkları, debi, doğal gaz tüketimi ve soğutma sisteminde gidiş-dönüş su sıcaklıkları, debileri, elektrik tüketimi ölçülmüştür. Isıtma sistemi gerçek verim değeri ve soğutma sistemi gerçek COP değerleri bulunmuştur. Dış duvarlar için ısı akış plakası ile ısı transfer katsayısı ölçülmüştür. Bu değerler ve teorik değerlere bağlı olarak, örnek binanın dış duvar, çatı ve döşemesi için optimum yalıtım kalınlığı, yakıt tüketimi ve yakıt tasarrufu hesaplanmıştır. Teorik değerler ile ölçülen değerler arasındaki farklar tespit edilmiştir. Yalıtım malzemesi için ekstrüde polistiren (XPS), yakıt tüketimi için ısıtma sisteminde doğal gaz ve soğutma sisteminde elektrik kullanılmıştır. Hesaplamalar derece-gün metodu ve ömür maliyet analizine göre yapılmıştır.

## MATERYAL VE METOD

### Derece- Gün Hesabı

Binaların dış duvar, çatı ve döşeme için optimum yalıtım kalınlığının hesaplamasında ilk olarak dış hava sıcaklıkları ile bulunan derece-gün değerlerinin tespit edilmesi gereklidir. Optimum yalıtım kalınlığı tespitinde

kullanılan derece gün kavramı; enerji gereksinimi, tüketimi ve talep tahmininde kullanılır. Bu kavramda; iç ortam ile dış ortam sıcaklıkları arasındaki farktan yararlanır (Kaynaklı 2008; Yu v.d., 2009; Kaynaklı, 2011). Derece gün değerleri aşağıda verilen hesaplama yöntemi ile tespit edilmiştir.

Meteoroloji Genel Müdürlüğünden (Meteoroloji Gen. Müd. Dış Sıcaklık Verileri) alınan günlük ortalama sıcaklık verileri için ısıtma derece-gün değeri,

$$\text{Eğer } (T_0 \leq T_b) \text{ ise } IDG = \sum_1^N (T_i - T_0) \quad (1)$$

$$\text{Eğer } (T_0 > T_b) \text{ ise } IDG = 0 \quad (2)$$

kabul edilir. Burada;  $T_b$ , binadaki ısı kaynaklarıyla (insan, aydınlatma, güneş ışınımı v.s.) binadan olan ısı kayıplarının eşit (denge) olduğu sıcaklıktır ve bu temel sıcaklık olarak tanımlanır.  $T_0$  ise günlük ortalama dış ortam sıcaklığı ve  $T_i$  ise iç ortam sıcaklığıdır. Buna bağlı olarak ısıtma için günlük derece-gün değeri, denklem (1) ve (2)'deki gibi hesaplanır (Kaynaklı, 2008; Meteoroloji Gen. Müd., 2012; Kaynaklı ve Yamankaradeniz, 2007). Çalışmada İç ortam sıcaklıkları; Matbaa binası için 16 °C, Ana bina için 19 °C, bütün binaların ortalaması için 17.5°C olarak alınmıştır (TS 825).

Literatürde daha önce yapılan çalışmalarda, genel olarak yaşam mekânı olan kapalı ortamlarla dış ortam arasında 3°C sıcaklık farkı bulunduğu ısıtma yapılması gerektiği belirtilmektedir. Bu fark güneş enerjisi ve iç kazançlardan kaynaklanmaktadır. Böylece denge sıcaklığı  $T_b$ , bina iç ortam sıcaklığı  $T_i$ 'ye bağlı olarak  $T_b = T_i - 3$  şekilde ifade edilebilir (Ulaş, 2010; Gültekin ve Kadioğlu 1996; Meteoroloji Genel Müd Web Sitesi, 2012). Buna göre ısıtma için, imalat ve atölye binası olarak matbaa binası için derece-gün değeri 1418, iş ve hizmet binası olarak ana bina için derece-gün değeri 2093 ve tüm binaların ortalaması için 1736 olarak hesaplanmıştır.

Meteoroloji Genel Müdürlüğünden (Meteoroloji Genel Müd. Dış Sıcaklık Verileri) alınan günlük ortalama sıcaklık verileri için soğutma derece-gün değeri;

$$\text{Eğer } (T_b \leq T_0) \text{ ise } SDG = \sum_1^N (T_0 - T_b) \quad (3)$$

$$\text{Eğer } (T_b > T_0) \text{ ise } SDG = 0 \quad (4)$$

ile hesaplanır. Burada;  $T_b$  temel (denge) sıcaklık,  $T_0$  ise dış ortam sıcaklığıdır (Meteoroloji Genel Müd., 2012). Buna göre soğutma için, tüm bina için 20 °C iç ortam sıcaklığı için derece-gün değeri 470 olarak hesaplanmıştır.

### Optimum Yalıtım Kalınlığı Hesabı

Optimum yalıtım kalınlığı; bugünkü faiz ve enflasyon oranına, binanın ömrüne, ısıtma ve soğutma ekipmanlarının verimine, soğutma ve ısıtma yüklerine bağlı olduğu kadar enerji ve yalıtım malzemesi fiyatına

da bağlıdır (Bolattürk, 2008). Çalışmada, farklı yalıtım malzemeleri için örnek binanın dış duvarlarının, çatı (tavan) ile döşemenin (taban) teorik ve gerçekteki optimum yalıtım kalınlığı hesaplamaları yapılmıştır. Hesaplamalarda aşağıda verilen formüller kullanılmıştır. Bir binanın dış duvarının birim alan başına ısı kaybı,

$$q = U(T_b - T_o) \quad (5)$$

derece-gün kavramına göre birim alan için yıllık ısı kaybı,

$$q = 86400.a.DG.U \quad (6)$$

bağıntılarından hesaplanmaktadır. Burada a, yapı bileşeni ve yapı bileşeninin konumunu göre değeri değişen katsayıdır. Duvar için toplam ısı geçiş katsayısı,

$$U = \frac{1}{(R_i + R_w + (x/k) + R_o)} \quad (7)$$

eşitliği ile verilirken, yalıtımsız duvar için toplam ısı direnci  $R_{t,w}$ 'ya göre duvarın toplam ısı geçiş katsayısı ise,

$$U = \frac{1}{(R_{t,w} + (x/k))} \quad (8)$$

dış duvarın birim yüzeyinden oluşan ısı kaybı sebebiyle ısıtma ve soğutma için yıllık enerji miktarları yakma sisteminin verimine bölünmesiyle hesaplanabilir.

Isıtma için yıllık enerji miktarları,

$$E_{A,H} = \frac{86400.a.IDG.U}{\eta} \quad (9)$$

Soğutma için yıllık enerji miktarları,

$$E_{A,C} = \frac{86400.a.SDG.U}{COP} \quad (10)$$

dir. Burada  $R_i$  ile  $R_o$  iç ve dış ortam ısı dirençleridir.  $x$ , yalıtım kalınlığı;  $k$  yalıtım malzemesi ısı iletim katsayısıdır. Böylece  $(x/k)$  yalıtım tabakası ısı direncidir. Bu değerlere bağlı olarak tüketilen yıllık yakıt miktarı,

Isıtma yıllık yakıt miktarı,

$$M_{f,H} = \frac{86400.a.IDG}{(R_{t,w} + (x/k)).H_u.\eta} \quad (11)$$

Soğutma yıllık yakıt miktarı,

$$M_{f,C} = \frac{86400.a.SDG}{(R_{t,w} + (x/k)).COP} \quad (12)$$

formülü ile bulunur. Yıllık yakıt miktarı yakıt fiyatı ( $C_y$  doğal gaz,  $C_e$  elektrik) ile çarpılması ile yakıt maliyeti hesaplanabilir.

Isıtma yakıt maliyeti,

$$C_{A,H} = \frac{86400.a.IDG.C_y}{(R_{t,w} + x/k).H_u.\eta} \quad (13)$$

Soğutma yakıt maliyeti,

$$C_{A,C} = \frac{86400.a.DG.C_e}{(R_{t,w} + x/k).COP} \quad (14)$$

dir. Yalıtım maliyeti ise,

$$C_{t,yt} = C_{yt} \cdot x \quad (15)$$

olurken, toplam ısıtma maliyeti,

$$C_{t,H} = C_{A,H} \cdot PWF + C_{yt} \cdot x = \frac{86400.a.IDG.C_y \cdot PWF}{(R_{t,w} + x/k).H_u.\eta} + C_{yt} \cdot x \quad (16)$$

Toplam soğutma maliyeti,

$$C_{t,C} = C_{A,C} \cdot PWF + C_{yt} \cdot x = \frac{86400.a.SDG.C_e \cdot PWF}{(R_{t,w} + x/k).COP} + C_{yt} \cdot x \quad (17)$$

formülleri ile bulunur (Çomaklı ve Yüksel, 2003; Bolattürk, 2006; Kaynaklı ve Yamankaradeniz, 2007; Aslan, 2010; Dombaycı v.d., 2006; Ekici v.d., 2012; Kaynaklı v.d., 2010; Kaynaklı v.d., 2012; Uçar ve Balo, 2010). Optimum yalıtım kalınlığı hesaplanırken ömür maliyet analizi (Life Cycle Cost Analysis) yapılmaktadır. Toplam ısıtma maliyeti N yıllık ömür için bugünkü değer faktörü (PWF-Present Worth Factor) ile değerlendirilir (Dombaycı v.d., 2006). Ömür maliyet analizi, ömre bağlı parça ya da sistemin fiyatındaki değişim olarak hesaplanan ekonomik değerlendirme tekniğidir (Kaynaklı, 2008). Ömür maliyet analizini, ömür süresi ile faiz ve enflasyon oranları etkilemekte olup, optimum yalıtım kalınlığını da bugünkü değer faktörü etkiler. Faiz ve enflasyon oranları sabit değildir. Faiz ve enflasyon oranlarının değişmesi ile birlikte PWF ve dolayısıyla optimum yalıtım kalınlığı da değişmektedir (Gölcü v.d., 2006). Bugünkü değer faktörü ve aşağıdaki gibi hesaplanır (Dombaycı, 2006; Okka, 2000):

Eğer  $i > g$  ise gerçek faiz oranı,

$$r = \frac{i - g}{1 + g} \quad (18)$$

Eğer  $i < g$  ise

$$r = \frac{g - i}{1 + i} \quad (19)$$

dir. O zaman  $PWF = \frac{(1+r)^N - 1}{r.(1+r)^N}$  olur. (20)

Eğer  $i = g$  ise

$$PWF = \frac{N}{1 + i} \quad (21)$$

ile bulunur. Denklem (16) ve denklem (17)'nin yalıtım kalınlığına göre türevi alınıp sıfıra eşitlenirse, yalıtım maliyeti ile yakıt maliyetinin en uygun olduğu noktadaki kalınlık olan, optimum yalıtım kalınlığı, ısıtma optimum yalıtım kalınlığı,

$$x_{opt,H} = 293.94 \cdot \left( \frac{a.IDG.C_y.k.PWF}{H_u.C_{ytl}.\eta} \right)^{1/2} - k.R_{t,w} \quad (22)$$

soğutma optimum yalıtım kalınlığı,

$$x_{opt,C} = 293.94 \cdot \left( \frac{a.SDG.C_e.k.PWF}{C_{ytl}.COP} \right)^{1/2} - k.R_{t,w} \quad (23)$$

formülleri ile elde edilir (Aslan 2010; Kaynaklı ve Yamankaradeniz, 2007; Dombaycı v.d., 2006; Kaynaklı v.d., 2010). Burada,  $H_u$  yakıtın alt ısı değeri,  $C_{ytl}$  yalıtım malzemesinin fiyatı;  $k$ , yalıtım malzemesi ısı iletim katsayısı,  $\eta$  ise ısıtma sisteminin verimi COP soğutma sistemi performans katsayısıdır.

Dış duvarlar ve çatı için ısıtma+soğutma 'da toplam yakıt maliyeti, ısıtma ve soğutma yakıt maliyetlerinin toplamıdır,

$$C_{A,H,C} = \left( \frac{86400.PWF.a}{R_{t,w} + x/k} \right) \left( \frac{C_y.IDG}{H_u.\eta} + \frac{C_e.SDG}{COP} \right) \quad (24)$$

Isıtma+soğutma optimum yalıtım kalınlığı bulunurken ise, toplam maliyet, ısıtma ve soğutma maliyetlerinin toplamıdır.

$$C_{t,H,C} = \left( \frac{86400.PWF.a}{R_{t,w} + x/k} \right) \left( \frac{C_y.IDG}{H_u.\eta} + \frac{C_e.SDG}{COP} \right) + (C_{ytl}.x) \quad (25)$$

toplam maliyet denkleminin  $x$ 'e göre türevi alınıp sıfıra eşitirse aşağıda verilen ısıtma+soğutma için optimum yalıtım kalınlığı denklemi elde edilir (Kaynaklı v.d., 2012).

$$x_{opt,H,C} = 293.94 \cdot \left( \frac{a.IDG.C_y.k.PWF}{H_u.C_{ytl}.\eta} + \frac{a.SDG.C_e.k.PWF}{C_{ytl}.COP} \right)^{1/2} - k.R_{t,w} \quad (26)$$

Isıtma, soğutma ve ısıtma+soğutma için; yakıt tüketimi, yakıt maliyeti, toplam maliyet ve optimum yalıtım kalınlığı hesaplamalarında, dış ortamla temas eden dış duvar ve çatı için  $a$  katsayısı 1 olarak alınır. Dış ortamla temas etmeyen döşeme için  $a$  katsayısı 0.5 ve çatı için 0.8 olarak alınmaktadır (TS 825; Aslan, 2010).

### Hesaplamalarda Kullanılan Yakıt Özellikleri ve Mali Değerler

Yakıt olarak doğal gaz ve elektrik kullanılmaktadır. Doğal gazın özellikleri ve fiyatı Balıkesir Gaz Dağıtım Şirketi (BALGAZ) (Balıkesir Doğal Gaz Dağıtım A.Ş., 2011), elektrik fiyatı Uludağ Elektrik Dağıtım A.Ş. den (Uludağ Elektrik Dağıtım A.Ş., 2012), enflasyon ve faiz oranları ise Merkez Bankası (Merkez Bankası Web Sitesi, 2012) ve Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK Web Sitesi, 2012) verilerinden alınmıştır. Yapılan hesaplamalar için kullanılan, yakıtların özellikleri ve mali değerler için veriler Tablo 1'de gösterilmiştir.

**Tablo 1:** Hesaplamalara kullanılan yakıtlar ve mali değerler\*

Parametre	Değer
<b>Yakıt</b>	
Doğal Gaz Fiyat, $C_y$	0.439 \$/m <sup>3</sup>
Verim, $\eta$	0.93
Alt Isıl Değer, $H_u$	34.645 10 <sup>6</sup> J/m <sup>3</sup>
<b>Elektrik</b>	
Fiyat	0.173 \$/kWh
Soğutma Grubu COP	2.7
<b>Mali Değerler</b>	
Faiz Oranı, ( $i$ )	% 9
Enflasyon Oranı, ( $g$ )	% 6.4
Ömür, $N$	10 yıl
PWF	8.78

\*(Aslan, 2010; Uludağ Elektrik Dağıtım A.Ş., 2012; BALGAZ, 2011; Merkez Bankası Web Sitesi, 2012; TÜİK Web Sitesi, 2012; Etiket Değerleri).

### Isıtma ve Soğutma Sistemi Verim Hesapları

Isıtma dönemi iş günlerinde 107 gün ölçüm yapılmıştır. Kazana gidiş-dönüş su sıcaklıkları için ölçümler, gün içinde sabah saat 08.30'da başlatılmış, 15 dakikalık aralıklarla yapılarak akşam saat 17.00'de bitirilmiştir. Doğal gaz tüketimi ise sabah saat 08.30 ile akşam saat 17.00 arasında yapılarak günlük tüketim tespit edilmiştir. Isıtma sistemindeki kazanlarda kullanılan doğal gazın alt ısı değeri ile yakıtın ortalama günlük tüketim miktarı (tüm ısıtma döneminin günlük ortalama değeri) çarpımı ile ısıtma sistemine verilen ısı bulunabilir. Bu denklem (27)'de görülmektedir. Sistemde dolaşan birim zamandaki sıcak suyun miktarı ile kazana giriş-çıkış suyun sıcaklık farkının çarpımı ile ısıtma sisteminden alınan (çekilen) ısı hesaplanabilir. Bu, denklem (28) yardımıyla yapılmaktadır. Isıtma sistemi verim değeri; ısıtma sisteminden alınan ısının, sisteme (kazana) verilen ısıya oranıdır. Yani denklem (29)'daki gibi hesaplanmaktadır.

$$Q_V = \dot{Y} \cdot H_u \quad (27)$$

denklemden;  $\dot{Y}$  yakıt debisi (m<sup>3</sup>/s),  $H_u$  yakıtın alt ısı değeri (kJ/m<sup>3</sup>) dir (Eryiğit, 2003).

$$Q_A = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta t \quad (28)$$

denkleminde;  $\dot{m}$  (kg/s) debi,  $C_p$  özgül ısı (kJ/kg.K),  $\Delta t$  ısıtma sistemine giren-çıkan su sıcaklık farkı (°C) dir (Eryiğit, 2003).

$$\eta = \frac{Q_A}{Q_V} \quad (29)$$

denklemden;  $Q_A$  ısıtma sisteminden alınan ısı (kW),  $Q_V$  ısıtma sistemine verilen ısı (kW) dir (Eryiğit, 2003).

Soğutma dönemi iş günlerinde 63 gün ölçüm yapılmıştır. Chiller gidiş-dönüş su sıcaklıkları için ölçümler, gün içinde sabah saat 08.30'da başlatılmış, 15 dakikalık aralıklarla yapılarak akşam saat 17.00'de bitirilmiştir. Chiller için elektrik tüketimi ise sabah saat

08.30 ile akşam saat 17.00 arasında yapılarak günlük tüketim tespit edilmiştir. Soğutma sisteminde kullanılan su soğutma grupları (Chiller) günlük elektrik tüketim miktarı ve günlük çalışma miktarları (tüm soğutma döneminin günlük ortalama değerleri) yardımıyla günlük ortalama kW olarak enerji tüketim miktarı (Güç) hesaplanmaktadır. Bu hesaplama denklem (30)'da verilmiştir. Soğutma sisteminde dolaşan birim zamandaki soğuk suyun miktarı ile soğutma grubundan çıkan ve giren suyun sıcaklık farkının çarpımı ile soğutma sisteminden alınan (çekilen) enerji hesaplanabilir. Soğutma sisteminin performans değeri denklem (31)'deki gibi sistemden alınan enerjinin verilen (tüketilen) enerjiye oranıdır.

$$W = \frac{E}{S} = \frac{(kWh)}{(h)} = kW \quad (30)$$

denklemdede; E (kWh) günlük ortalama tüketilen elektrik, S (saat) günlük ortalama soğutma gruplarının çalışma süresidir (Konuralp ve Albayrak, 2009; Fahlen v.d., 2006).

$$COP = \frac{Q_A}{W} \quad (31)$$

denklemdede;  $Q_A$  sistemden alınan (çekilen) enerji (kW), W sisteme verilen elektrik enerjisi yani güç (kW) tır (Ekin, 2008).

### Ölçüm Düzenegi

Örnek alınan binanın bodrum katında bulunan ısı merkezine kurulan ölçüm düzeneginde Şekil 1 (a) da ısıtma ve soğutma sisteminde kazan ve chillere gidiş-dönüş su sıcaklık ölçümü için Pt-100 montajı verilmiştir. (b)' de soğutma sistemi chillere elektrik tüketimi için sayaç montajı verilmiştir. (c)'de ısıtma ve soğutma sistemi tesisattaki su miktarı ölçümü için debimetre (ultrasonik) ölçümü verilmiştir. Son olarak (d)'de ise dış duvar ısı transfer katsayısı ölçümü için ısı akış plakası ölçümü verilmiştir. Isıtma ve soğutma sisteminde debi ölçümleri, ölçüm zorluğu nedeniyle ultrasonik debimetre ile haftada 3 veya 4 kez yapılmıştır. Sistemin debi değeri bulunurken bu ölçümlerin ortalaması alınmıştır. Isı akış plakası ile dış duvar ısı transfer katsayısı iç ve dış ortam sıcaklıkları ve duvar yapı bileşenlerine bağlı olarak ölçülmüştür.

### Örnek Bina Özellikleri

Örnek Bina Balıkesir Üniversitesi Rektörlük Binasıdır. Bina 7 Katlı üstü teras ana bina ve tek katlı üstü teras matbaa binasından oluşmaktadır. Ana bina alüminyum kompozit levha kaplamalı giydirme cepheidir. Örnek Bina için yapı bileşenleri kalınlıkları ve ısı iletim katsayısı değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Ana bina ve matbaa binasının dış duvarları için hesaplamalarda; iç yüzey ısı iletim direnç değerleri  $R_i:0.13 \text{ m}^2\text{K/W}$  ve matbaa binası dış yüzey ısı iletim direnç değerleri  $R_o:0.04 \text{ m}^2\text{K/W}$ , alüminyum kaplamalı ana bina için  $R_o:0.08 \text{ m}^2\text{K/W}$  alınmıştır. Çatı için iç ve dış yüzey ısı

iletim direnci  $R_i:0.13 \text{ m}^2\text{K/W}$ ,  $R_o:0.04 \text{ m}^2\text{K/W}$ , taban döşemesi için ise  $R_i:0.17 \text{ m}^2\text{K/W}$ ,  $R_o:0 \text{ m}^2\text{K/W}$  alınmıştır (TS 825).



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 1: (a) Su sıcaklık ölçümü için sıcaklık sensörü Pt-100 montajı, (b) Elektrik ölçümü için sayaç montajı, (c) Debimetre ile ölçüm, (d) Isı akış plakası ölçümü

**Tablo 2:** Örnek Binanın Yapı Bileşenleri (TS 825; Yapı İşleri, 1996; Doğruel, 2010; Uçar ve Balo, 2010)

Kalınlık (m)	Yapı Elemanı	Isı İletim Katsayısı (W/m K)
<b>Ana Bina Dış Duvar</b>		
0.02	İç Sıva 1	1.0
0.01	İç Sıva 2	0.7
0.30	Gazbeton (Ytong)	0.19
0.03	Dış Sıva	1.6
0.03	Hava Boşluğu	0.167
x	Yalıtım (XPS)	0.031
0.005	Kaplama	1.33
<b>Matbaa Binası Dış Duvar</b>		
0.02	İç Sıva 1	1.0
0.01	İç Sıva 2	0.7
0.30	Gazbeton (Ytong)	0.19
x	Yalıtım (XPS)	0.031
0.03	Dış Sıva	1.6
<b>Çatı (Tavan)</b>		
---	Kaplama	---
x	Yalıtım (XPS)	0.031
---	Su Yalıtımı	---
0.03	Beton	1.65
0.15	Beton Altı Döşeme	2.5
0.025	Tavan Sıvası	1.0
<b>Döşeme (Taban)</b>		
---	Kaplama	---
x	Yalıtım (XPS)	0.031
0.045	Beton	1.65
0.10	Grobeton	1.6
0.20	Curuf Dolgu	0.2
0.15	Blokaj	2.0

## BULGULAR

Ölçme düzeneği ile ısıtma sisteminde ölçülen; günlük gidiş-dönüş su sıcaklıkları, debi ve günlük doğal gaz tüketimi değerleri ve bunlara bağlı olarak ısıtma yükü, verilen ısı ve verim değerleri denklem (27), (28) ve (29) kullanılarak tespit edilmiştir. Bu değerler; Tablo 3’de verilmiştir. Ölçüm düzeneği ile soğutma sisteminde ölçülen; günlük gidiş-dönüş su sıcaklıkları, debi ve günlük elektrik tüketim değerleri ve bunlara bağlı olarak soğutma yükü, güç, COP değerleri denklem (27), (30) ve (31) kullanılarak tespit edilmiştir. Bu değerler Tablo 4’de verilmiştir.

**Tablo 3:** Isıtma sistemi ölçüm değerleri

Debi (m <sup>3</sup> /h)	14.7
Ortalama Kazan Su Sıcaklık Farkı (°C)	11.38
Özgül Isı (kJ/kg.K)	4.183
Ortalama Isıtma Yükü (kW)	191.50
Ortalama Doğal Gaz Tüketimi (m <sup>3</sup> )	329.41
Kullanım Süresi (Saat)	7.63
Alt Isıl Değer (kJ/m <sup>3</sup> )	34645
Ortalama Verilen Isı (kW)	415.12
Verim (%)	0.49

**Tablo 4:** Soğutma sistemi ölçüm değerleri

Debi (m <sup>3</sup> /h)	93
Chiller Ortalama Su Sıcaklık Farkı (°C)	2.42
Özgül Isı (kJ/kg.K)	4.199
Ortalama Soğutma Yükü (kW)	262.01
Ortalama Elektrik Tüketimi (kWh)	1020.77
Ortalama Kullanım Süresi (Saat)	7.62
Ortalama Güç (kW)	132.58
Chiller Ortalama COP	2.09

Tablo 5’de ise dış duvar için denklem (7) ile hesaplanan ve ısı akış plakası ile ölçülen ısı transfer katsayıları verilmiştir. Tablo 6’da ise denklem (7) ile hesaplanan çatı ve döşeme için ısı transfer katsayıları görülmektedir.

**Tablo 5:** Dış Duvar için hesaplanan ve ölçülen ısı transfer katsayısı değerleri

	Hesaplanan	Ölçülen
<b>Ana Bina (Ana Bina)</b>		
Isıl Direnç (m <sup>2</sup> K/W)	2.026	2.439
Isı Transfer Katsayısı (W/m <sup>2</sup> K)	0.494	0.410
<b>Ek Bina (Matbaa Binası)</b>		
Isıl Direnç (m <sup>2</sup> K/W)	1.802	1.587
Isı Transfer Katsayısı (W/m <sup>2</sup> K)	0.555	0.630

**Tablo 6:** Hesaplanan ana bina ve matbaa binası için çatı ile döşeme ısı transfer katsayısı

	Çatı (Tavan)	Döşeme (Taban)
Isıl Direnç (m <sup>2</sup> K/W)	0.273	1.076
Isı Transfer Katsayısı (W/m <sup>2</sup> K)	3.663	0.929

Örnek alınan binada ekstrüde polistiren yalıtım malzemesi kullanımına göre tüm hesaplamaları yapılmıştır. Ekstrüde polistiren (XPS) için ısı iletim katsayısı 0.031 W/m.K ve fiyatı 26.69 \$/m<sup>3</sup> tür (Uçar ve Balo, 2010). Tablo 7’de dış duvarlar için denklem (22, 23 ve 26) kullanılarak hesaplanan ısıtma dönemi, soğutma dönemi ve ısıtma+soğutma dönemi için optimum yalıtım kalınlığı, denklem (11 ve 12) kullanılarak hesaplanan yakıt tüketimi ve yakıt tasarrufu verilmiştir. Çatı ve döşeme için Tablo 8’de ısıtma dönemi optimum yalıtım kalınlığı, yakıt tüketimi ve yakıt tasarrufu verilmiştir. Tablo 9’da soğutma dönemi optimum yalıtım kalınlığı, yakıt tüketimi ve yakıt tasarrufu verilmiştir. Tablo 10’da ise ısıtma+soğutma dönemi optimum yalıtım kalınlığı, yakıt tüketimi ve yakıt tasarrufu verilmiştir. Burada teorik verim ve teorik COP, etiket değerleri ile hesaplanan değerlerdir. Ölçüm sonucu elde edilen değerler, ölçülen verim ve COP olaraklandırılmıştır.

**Tablo 7:** Dış Duvar için Optimum Yalıtım Kalınlığı, Yakıt Tüketimi ve Yakıt Tasarrufu

	Optimum Yalıtım Kalınlığı (m)		Yakıt Tüketimi (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> yıl, kWh/m <sup>2</sup> yıl)		Yakıt Tasarrufu (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> yıl, kWh/m <sup>2</sup> yıl)	
	Teorik Verim ve COP	Ölçülen Verim ve COP	Teorik Verim ve COP	Ölçülen Verim ve COP	Teorik Verim ve COP	Ölçülen Verim ve COP
<b>Isıtma Dönemi</b>						
Matbaa Binası	0.075	0.131	0.901	1.242	1.209	3.306
Rektörlük Binası	0.096	0.143	1.096	1.511	1.674	2.857
<b>Tüm Binaların Ort.</b>	<b>0.085</b>	<b>0.137</b>	<b>1.000</b>	<b>1.374</b>	<b>1.432</b>	<b>3.015</b>
<b>Soğutma Dönemi</b>						
Matbaa Binası	0.030	0.048	1.510	1.723	0.810	1.681
Rektörlük Binası	0.023	0.022	1.511	1.715	0.553	0.500
<b>Tüm Binaların Ort.</b>	<b>0.027</b>	<b>0.035</b>	<b>1.501</b>	<b>1.719</b>	<b>0.683</b>	<b>0.964</b>
<b>Isıtma+Soğutma Dönemi</b>						
Matbaa Binası	0.100	0.155	0.756	1.096	1.354	3.452
Rektörlük Binası	0.118	0.164	0.962	1.378	1.808	2.990
<b>Tüm Binaların Ort.</b>	<b>0.109</b>	<b>0.159</b>	<b>0.857</b>	<b>1.237</b>	<b>1.575</b>	<b>3.152</b>

**Tablo 8:** Isıtma Dönemi Çatı ve Döşeme için Optimum Yalıtım Kalınlığı, Yakıt Tüketimi ve Yakıt Tasarrufu

	Optimum Yalıtım Kalınlığı (m)		Yakıt Tüketimi (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> yıl)		Yakıt Tasarrufu (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> yıl)	
	Teorik Verim	Ölçülen Verim	Teorik Verim	Ölçülen Verim	Teorik Verim	Ölçülen Verim
<b>Çatı (Tavan)</b>						
Matbaa Binası	0.122	0.171	0.904	1.247	13.024	25.189
Rektörlük Binası	0.150	0.210	1.098	1.512	19.461	37.508
<b>Tüm Binaların Ort.</b>	<b>0.136</b>	<b>0.190</b>	<b>0.999</b>	<b>1.380</b>	<b>16.053</b>	<b>30.984</b>
<b>Döşeme (Taban)</b>						
Matbaa Binası	0.059	0.094	0.638	0.879	1.129	2.475
Rektörlük Binası	0.079	0.121	0.775	1.070	1.833	3.880
<b>Tüm Binaların Ort.</b>	<b>0.069</b>	<b>0.107</b>	<b>0.705</b>	<b>0.976</b>	<b>1.458</b>	<b>3.130</b>

**Tablo 9:** Soğutma Dönemi Çatı ve Döşeme için Optimum Yalıtım Kalınlığı, Yakıt Tüketimi ve Yakıt Tasarrufu

	Optimum Yalıtım Kalınlığı (m)		Yakıt Tüketimi (kWh/m <sup>2</sup> yıl)		Yakıt Tasarrufu (kWh/m <sup>2</sup> yıl)	
	Teorik COP	Ölçülen COP	Teorik COP	Ölçülen COP	Teorik COP	Ölçülen COP
<b>Çatı (Tavan)</b>						
Matbaa Binası						
Rektörlük Binası	0.080	0.089	1.465	1.718	13.850	18.068
<b>Tüm Binaların Ort.</b>						
<b>Döşeme (Taban)</b>						
Matbaa Binası						
Rektörlük Binası	0.027	0.036	1.074	1.207	0.869	1.303
<b>Tüm Binaların Ort.</b>						

**Tablo 10:** Isıtma+Soğutma Dönemi Çatı ve Döşeme için Optimum Yalıtım Kalınlığı, Yakıt Tüketimi ve Yakıt Tasarrufu

	Optimum Yalıtım Kalınlığı (m)		Yakıt Tüketimi (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> yıl)		Yakıt Tasarrufu (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> yıl)	
	Teorik Verim ve COP	Ölçülen Verim ve COP	Teorik Verim ve COP	Ölçülen Verim ve COP	Teorik Verim ve COP	Ölçülen Verim ve COP
<b>Çatı (Tavan)</b>						
Matbaa Binası	0.148	0.196	0.753	1.094	13.175	25.342
Rektörlük Binası	0.172	0.231	0.964	1.379	19.595	37.641
<b>Tüm Binaların Ort.</b>	<b>0.160</b>	<b>0.213</b>	<b>0.857</b>	<b>1.237</b>	<b>16.195</b>	<b>31.127</b>
<b>Döşeme (Taban)</b>						
Matbaa Binası	0.077	0.111	0.534	0.775	1.233	2.579
Rektörlük Binası	0.094	0.136	0.683	0.975	1.925	3.975
<b>Tüm Binaların Ort.</b>	<b>0.085</b>	<b>0.123</b>	<b>0.610</b>	<b>0.876</b>	<b>1.553</b>	<b>3.230</b>



## SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Dış duvarda; Matbaa Binası, Rektörlük Binası ve Tüm Binaların ortalaması için teorik ile ölçülen verim değerlerine göre ısıtma döneminde; ekstrüde polistiren (XPS) yalıtım malzemesi için optimum yalıtım kalınlığı 0.075-0.143 m, yakıt tüketimi 0.901-1.511 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> yıl, yakıt tasarrufu 1.209-3.306 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> yıl arasında bulunmuştur. Matbaa Binası, Rektörlük Binası ve Tüm Binaların ortalaması için teorik ile ölçülen COP değerlerine göre soğutma döneminde; optimum yalıtım kalınlığı 0.022-0.048 m, yakıt tüketimi 1.501-1.723 kWh/m<sup>2</sup> yıl, yakıt tasarrufu 0.500-1.681 kWh/m<sup>2</sup> yıl arasında bulunmuştur. Matbaa Binası, Rektörlük Binası ve Tüm Binaların ortalaması için teorik ile ölçülen verim ve COP değerlerine göre ısıtma+soğutma döneminde; optimum yalıtım kalınlığı 0.100-0.164 m, yakıt tüketimi 0.756-1.378 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> yıl, yakıt tasarrufu 1.354-3.452 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> yıl arasında bulunmuştur.

Çatıda (Tavan); Matbaa Binası, Rektörlük Binası ve Tüm Binaların ortalaması için teorik ile ölçülen verim değerlerine göre ısıtma döneminde; ekstrüde polistiren (XPS) yalıtım malzemesi için optimum yalıtım kalınlığı 0.122-0.210 m, yakıt tüketimi 0.904-1.512 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> yıl, yakıt tasarrufu 13.024-37.508 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> yıl arasında bulunmuştur. Matbaa Binası, Rektörlük Binası ve Tüm Binaların ortalaması için teorik ile ölçülen COP değerlerine göre soğutma döneminde; optimum yalıtım kalınlığı 0.080-0.089 m, yakıt tüketimi 1.465-1.718 kWh/m<sup>2</sup> yıl, yakıt tasarrufu 13.850-18.068 kWh/m<sup>2</sup> yıl arasında bulunmuştur. Matbaa Binası, Rektörlük Binası ve Tüm Binaların ortalaması için teorik ile ölçülen verim ve COP değerlerine göre ısıtma+soğutma döneminde; optimum yalıtım kalınlığı 0.148-0.231 m, yakıt tüketimi 0.753-1.379 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> yıl, yakıt tasarrufu 13.175-37.641 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> yıl arasında bulunmuştur.

Döşemede (Taban); Matbaa Binası, Rektörlük Binası ve Tüm Binaların ortalaması için teorik ile ölçülen verim değerlerine göre ısıtma döneminde; ekstrüde polistiren (XPS) yalıtım malzemesi için optimum yalıtım kalınlığı 0.059-0.121 m, yakıt tüketimi 0.638-1.070 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> yıl, yakıt tasarrufu 1.129-3.880 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> yıl arasında bulunmuştur. Matbaa Binası, Rektörlük Binası ve Tüm Binaların ortalaması için teorik ile ölçülen COP değerlerine göre soğutma döneminde; optimum yalıtım kalınlığı 0.027-0.036 m, yakıt tüketimi 1.074-1.207 kWh/m<sup>2</sup> yıl, yakıt tasarrufu 0.869-1.303 kWh/m<sup>2</sup> yıl arasında bulunmuştur. Matbaa Binası, Rektörlük Binası ve Tüm Binaların ortalaması için teorik ile ölçülen verim ve COP değerlerine göre ısıtma+soğutma döneminde; optimum yalıtım kalınlığı 0.077-0.136 m, yakıt tüketimi 0.534-0.975 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> yıl, yakıt tasarrufu 1.233-3.975 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> yıl arasında bulunmuştur.

Bu çalışmada, dış duvar ısı transfer katsayısı ısı akış plakası ile ölçülmüş ve yapı bileşenleri arasındaki ısı dağılımı gözlenmiştir. Ek olarak ısıtma sistemi; kazan giriş ve çıkışındaki günlük su sıcaklık değerleri, ultrasonik debimetre ile su debisi ve doğal gaz sayacı ile doğal tüketimi ölçülerek (107 iş gün boyunca ve her gün

her 15 dakikada bir) verim değeri tespit edilmiştir. Soğutma sistemi ise; chiller giriş dönüş su sıcaklığı, ultrasonik debimetre ile debi ve elektrik sayacı ile elektrik tüketimi ölçülerek (63 iş gün boyunca ve her gün her 15 dakikada bir) gerçek COP değeri tespit edilmiştir. Kurulan deney düzeneği ile yıl içinde toplam 170 iş günü ölçüm yapmıştır. Elde edilen ölçüm değerleri ve teorik olarak alınan değerler (yapı ısı transfer katsayısı, teorik ısıtma verimi ve teorik COP değeri) bağlı olarak matbaa binası, rektörlük binası ve tüm binaların ortalaması için ısıtma, soğutma ve ısıtma+soğutma optimum yalıtım kalınlığı, yakıt tüketimi ve yakıt tasarrufu hesaplamaları yapılmıştır.

Dış duvar, çatı ve döşeme (tavan) için (tüm yapı kabuğu için) Matbaa binası, Rektörlük binası ve tüm binaların ortalamasında optimum yalıtım kalınlığı, yakıt tüketimi ile yakıt tüketimi tasarrufu göz önüne alındığında teorik değerlerin ölçülerek elde edilen değerlerden çok daha düşük olduğu, gerçekte ölçülerek elde edilen değerlerin çok daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunun nedenlerinin binada hiçbir yalıtım uygulamasının olmaması ve ısıtma ile soğutma sistemlerinin verim ile COP değerlerinin gerçekte düşük olmasıdır. Bu değerlerin mümkün olduğu kadar yükseltilmesi ve enerji tüketiminin azaltılması için tedbirlerin alınması gerekmektedir. Isıtma ve soğutma sisteminde kazan, pompa, chiller, boru tesisatı, kazanda yakma sistemi gibi pek çok parametre tüm yönleri ile dikkate alınarak gözden geçirilmelidir.

Sonuç olarak benzer çalışmalarda, optimum yalıtım kalınlıkları teorik ısı iletim katsayılarına göre yapılmıştır. Ek olarak ısıtma dönemi ve genellikle de dış duvarlar için optimum yalıtım kalınlıkları bulunmuştur. Bu çalışmada ise, teorik olarak hesaplanan değerler ile ölçülerek (1 yıllık ölçümlerin sonucu) bulunan değerler birlikte verilmiştir ve önemli farklar görülmüştür. Ayrıca ısıtma ve soğutma yükleri birlikte dikkate alınmış, ek olarak çatı ve döşeme yani tüm yapı kabuğu için optimum yalıtım kalınlıkları da tespit edilmiştir.

## KAYNAKLAR

Aydın Ö., 2011, *Yapı düşey dış kabuğu ısı yalıtım uygulamaları ile enerji verimliliği arasındaki ilişkinin incelenmesi*, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Trabzon.

Aslan A., 2010, *Gönen jeotermal bölgesel ısıtma sisteminin enerji ve termoeconomik verimliliğinin incelenmesi*, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Balıkesir.

Balıkesir Doğal Gaz Dağıtım A. Ş. (BALGAZ) Doğal Gaz Verileri, 2011.

Balıkesir Üniversitesi Yapı İşleri Teknik Daire Başkanlığı Verileri, 1996.

Bolattürk A., 2006, Determination of optimum insulation thickness for building walls with respect to various fuels and climate zones in Turkey, *Applied Thermal Engineering*, 26, 11-12, 1301-1309.

Bolattürk A., 2008, Optimum insulation thicknesses for building walls with respect to cooling and heating degree-hours in the warmest zone of Turkey, *Building and Environment*, 43,6,1055-1064.

Çomaklı K. and Yüksel B. , 2003, Optimum insulation thickness of external walls for energy saving, *Applied Thermal Engineering*, 23, 4, 473-479.

Değirmenci A. İ., 2010, *Türkiye'de uygulanan yalıtım tekniklerinin araştırılmasında termal kameranın etkin biçimde kullanılması*, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Sakarya.

Dombaycı Ö. A., Gölcü M. and Pancar Y., 2006, Optimization of insulation for external walls using different energy-sources, *Applied Energy*, 83,9,921-928.

Doğruel N., 2010. *Binalarda Cephe Kaplamalarının Isı Yalıtımına Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Edirne.

Ekici B. B., Gülten A. A. and Aksoy U. T., 2012 , A study on the optimum insulation thicknesses of various types of external walls with respect to different materials, fuels and climate zones in Turkey, *Applied Energy*, 92, 211-217.

Ekin A. B., 2008, *Buzdolaplarında kullanılan buhar sıkıştırma soğutma çevrimlerinin ekserji analizi ile incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Manisa.

Eryiğit H. G., 2003, *S.D.Ü. Morfoloji binasında ısıtma havalandırma sisteminin geliştirilmesi ve ekonomikliğinin araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.

Fahlen P., Voll H. and Naumov J., 2006 , Efficiency of pump operation in hydronic heating and cooling systems, *Journal of Civil Engineering and Management*, 12, 1, 57-62.

Gölcü M., Dombaycı A. and Abalı S., 2006, Denizli için optimum yalıtım kalınlığının enerji tasarrufuna etkisi ve sonuçları, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21, 4, 639-644.

Gültekin M.L. ve Kadioğlu M.,1996, Marmara bölgesinde ısıtma soğutma derece-günlerinin dağılımı, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 31.

Hasan A., 1999, Optimizing insulation thickness for buildings using life cycle cost, *Applied Energy*, 63,2,115-124.

Kaynaklı Ö., 2008, A study on residential heating energy requirement and optimum insulation thickness, *Renewable Energy*, 33,6,1164-1172.

Kaynaklı Ö., 2011, Parametric investigation of optimum thermal insulation thickness for external walls, *Energies*, 4, 6, 913-927.

Kaynaklı Ö., Kılıç M. ve Yamankaradeniz R., 2010, Isıtma ve soğutma süreci için dış duvar optimum yalıtım kalınlığı hesabı, *TTMD Isıtma, Soğutma, Havalandırma, Klima, Yangın ve Sıhhi Tesisat Dergisi*, 65,39-45.

Kaynaklı Ö., Mutlu M. ve Kılıç M., 2012, Bina duvarlarına uygulanan ısı yalıtım kalınlığının enerji maliyeti odaklı optimizasyonu, *Tesisat Mühendisliği*, 126, 48-54.

Kaynaklı Ö. ve Yamankaradeniz R., 2007, Isıtma süreci ve optimum yalıtım kalınlığı hesabı, *VII. Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir,187-195.

Kon O.; 2014, *Farklı Amaçlarla Kullanılan Binaların Isıtma ve Soğutma Yüklerine Göre Optimum Yalıtım Kalınlıklarının Teorik ve Uygulamalı Olarak Belirlenmesi*, Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana bilim Dalı, Balıkesir.

Konuralp O. ve Albayrak K., 2009, *Pompa sistem uygulamalarında ömür boyu maliyet yaklaşımı*, IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 1327-1344, İzmir.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü Dış Hava Sıcaklık Verileri, 2011.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü Web Sitesi (Erişim Tarihi: Ocak 2012)

Okka O., 2000, *Mühendislik Ekonomisi*, Nobel Yayınları, 3.Baskı, Ankara.

Şişman N., 2005, *Derece gün bölgeleri için bina dış duvarlarında farklı yalıtım malzemesi ve duvar yapı bileşenleri kullanılması halinde ekonomik analiz yöntemi ile en iyi yalıtım kalınlığının tespiti*, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir.

Tolun M., 2010, *Farklı derece-gün bölgeleri için yalıtım probleminin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı, İstanbul.

TS 825, *Binalarda Isı Yalıtım Kuralları*, Türk Standardı, Mayıs 2008.

Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası Web Sitesi <http://www.tcmb.gov.tr> (Erişim Tarihi: Ocak 2012)

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) Web Sitesi <http://www.tuik.gov.tr> (Erişim Tarihi: Ocak 2012)

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*, 35,1,88-94.

Ulaş A., 2010, *Binalarda TS 825 hesap yöntemine göre ısı kaybı, yakıt tüketimi, karbondioksit emisyonu hesabı ve maliyet analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.

Uludağ Elektrik Dağıtım A.Ş. Verileri, 2012.

Yu J, Yang C., Tian L. and Liao D., 2009, A study on optimum insulation thicknesses of external walls in hot summer and cold winter zone of China, *Applied Energy*, 86,11,2520-2529.



#### **Okan KON**

2000 yılında Balıkesir Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. 2004 yılında aynı Üniversitede Yüksek Lisansını, 2014 yılında doktorasını tamamlamıştır. 2001 yılından beri Makine Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalında Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır. Binalarda Enerji Sistemleri ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları konularında çalışmaktadır.



#### **Bedri YÜKSEL**

1977 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. Bir süre karayolları teşkilatında Makine Şefi olarak çalışmıştır. 1980 yılında Atatürk Üniversitesi'nde Asistan olarak göreve başlamıştır. Aynı Üniversitede, 1984 yılında doktorasını tamamlamış, 1986 yılında Yardımcı Doçentlik kadrosuna ve Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölüm başkanlığına atanarak yaklaşık 8 yıl bu görevde çalışmıştır. 1990-91 yıllarında Miami Üniversitesinde (USA) çalışmıştır. 1994 yılında Doçent kadrosuna atanmış ve aynı yıl Pasinler Meslek Yüksekokulu Müdürlüğü görevini üstlenmiştir. 1999 yılında Profesör kadrosuna atanmıştır. 2001 yılında Erzurum Meslek Yüksekokulu müdürlük görevini yürütmüştür. 2005 yılında Balıkesir Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde göreve başlamıştır. Aynı Üniversitede Makine Mühendisliği Bölüm Başkanlığı, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dekanlığı ve Rektör Yardımcılığı yapmıştır. Halen Balıkesir Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölüm Başkanlığını görevini yürütmektedir.