



ERZİNCAN İLİNDEKİ BİNALARDA ISI YALITIMININ ENERJİ TASARRUFUNA ETKİSİNİN EKONOMİK ANALİZİ

Mehmet KAYA*, İlker FIRAT** ve Ömer ÇOMAKLI***

*Erzincan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü,
24100, Merkez/Erzincan, mkaya@erzincan.edu.tr

** Erzincan Üniversitesi, İliç Dursun Yıldırım Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü,
24700, İliç/Erzincan, ifirat@erzincan.edu.tr

*** Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü,
25100, Merkez/Erzurum, ocomakli@atauni.edu.tr

(Geliş Tarihi: 27.10.2014, Kabul Tarihi: 20.10.2015)

Özet: Bu çalışmada Erzincan ilinde örnek olarak seçilen ısı yalıtımlı ve yalıtımsız her bir bina türünden gerçekleşen ısı kayıpları belirlenerek il genelinde ısı yalıtımı yapılmamış binaların toplamından fazladan gerçekleşen ısı kayıplarının ekonomik analizi yapılmıştır. Yapılan çalışmaların sonucunda, Erzincan il genelinde bulunan binaların 2411189,77 m² toplam ısı transfer yüzey alanına sahip olduğu belirlenmiştir. Bu alanın %31,36'sı yalıtımlı, %68,64'ü ise yalıtımsızdır. İlde mevcut bulunan %31,36 oranındaki yalıtımlı binaların yalıtım kalınlıkları değişkenlik arz etmesi nedeni ile daha önce yapılan projelerde Erzincan ili için kullanılan 4, 5 ve 8 cm yalıtım kalınlıklarında hesaplamalar yapılmıştır. İldeki mevcut olan duruma göre %31,36 oranındaki yalıtımlı binaların tümünün 4 cm XPS ile yalıtıldığı kabul edilerek yalıtımlı ve yalıtımsız tüm binalar için yıllık toplam ısıtma maliyeti 194914060,8 TL/yıl olarak hesaplanmıştır. Yalıtımsız binaların yalıtımlarının 4 cm XPS ile sağlanması durumunda toplam yıllık ısıtma maliyetininin 85380229,75 TL/yıl değerine düşeceği ve buradan %43,80'lük bir tasarruf elde edileceği belirlenmiştir. Yalıtım kalınlığının 5 cm ve 8 cm olması durumunda ise toplam yıllık ısıtma maliyetindeki tasarrufun sırası ile %41,49 ve %38,81 değerinde gerçekleşeceği hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Isı kayıpları; Yalıtım; Ekonomik Analiz; Enerji Tasarrufu.

ECONOMIC ANALYSIS OF EFFECT ON ENERGY SAVING OF THERMAL INSULATION AT BUILDINGS IN ERZİNCAN PROVINCE

Abstract: In this study, heat losses were determined in the sample heat insulated and uninsulated buildings in Erzincan Province and heat loss economic analysis was made. As a result of the study, it is identified that total heat transfer surface area in the buildings in Erzincan is 2411189,77 m². 31,36 per cent of this area is insulated and 68,64 per cent is uninsulated. Because, the insulated buildings' insulation thicknesses differ, 4, 5 and 8 cm insulation thickness calculations were made according to the projects that was made in Erzincan before. Assuming that the insulated buildings built with 4 cm XPS, total heating cost was determined as 194914060,8 TL/year. If the uninsulated buildings have 4 cm XPS standart total annual heating cost would decrease to 85380229,75 TL/year and there would be 43,80 per cent saving. If insulation thicknesses is 5 cm and 8 cm, total annual saving respectively would be 41,49 per cent and 38,81 per cent.

Keywords: Heat losses, Insulation, Economic analysis, Energy saving.

SEMBOLLER

% Yüzde

$\Delta\bar{x}$ Ortalama hata

ΔT İç ortam ile dış ortam arasındaki sıcaklık farkı [K]

A_s Net tasarruf miktarı [TL/m²yıl]

C Ondalık ifade [örneğin; .04 = ±4]

C_A Birim yüzey için yıllık ısıtma maliyeti [TL/m²yıl]

C_{mlz} Yalıtım malzemesinin birim fiyatı [TL/m³]

C_t Yalıtılmamış binanın toplam ısıtma maliyeti [TL/m²yıl]

$C_{t,izo}$ Yalıtılmış binanın toplam ısıtma maliyeti [TL/m²yıl]

C_{ykt} Yakıtın birim fiyatı [TL/m³]

C_{ykt}

DG

E_{yil}

G

H_u

İ

K

N

N

P

Pop

Pp

Q

q_{yil}

Yalıtım malzemesinin maliyeti [TL/m²]

Derece-gün sayısı [⁰C-gün]

Yıllık enerji ihtiyacı [MJ/ m²yıl]

Enflasyon oranı

Yakıtın alt ısı değeri [J/ m³]

Faiz oranı

Yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı [W/mK]

Numune boyutu

Ömür süresi [yıl]

Ondalık olarak ifade edilen seçenek

Nüfus

Geri ödeme süresi [yıl]

Isı kaybı [W/m²]

Yıllık ısı kaybı [W/m²]

R	Gerçek faiz oranı
R	Malzemelerin ısı direnci [m^2K/W]
$R_{dış}$	Dış ortam ısı taşınım direnci [m^2K/W]
R_{duvar}	Yalıtımsız duvar katmanlarının ısı iletim direnci [m^2K/W]
$R_{duvar,toplam}$	Yalıtımsız duvarın toplam ısı direnci [m^2K/W]
$R_{iç}$	İç ortam ısı taşınım direnci [m^2K/W]
$R_{yalıtım}$	Yalıtım malzemesinin ısı direnci [m^2K/W]
S	Standart sapma varyansı
SS	Örneklem büyüklüğü
ŞDF	Şimdiki değer faktörü
T	Olasılık
U	Toplam ısı transfer katsayısı [W/m^2K]
X	Yalıtım kalınlığı [m]
x_{opt}	Optimum yalıtım kalınlığı [m]
XPS	Ekstrude Polistren
Z	Güven düzeyi
H	Yakma sisteminin verimi

GİRİŞ

Ülkelerin gelişmişlik seviye göstergesi enerji tüketim miktarları ile doğru orantılıdır. Gelişmek ile birlikte nüfusu artma eğilimi gösteren ülkelerde enerjiye olan ihtiyaç günden güne giderek artmaktadır. Gelişmekte olan ülkemizde de enerji üretim ve tüketim miktarları arasında büyük fark vardır. Doğal enerji kaynakları bakımından Ortadoğu ve Rusya gibi zengin petrol ve doğal gaz rezervlerine sahip olmayan ülkemizde enerji bilinçli olarak tüketilmemektedir. Bu ise bilinçsizce tüketilen enerji kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılması gerekliliğini ve atık gazların çevre kirliliği açısından az zarar verecek şekilde atmosfere bırakılmasını gündeme getirmiştir. Ülkemizin sahip olduğu en önemli fosil yakıt kaynağı, linyit kömürüdür. Linyit kömürü ülkemizde ağırlıklı olarak termik santrallerde elektrik üretiminde ve binalarda ısıtma amaçlı olarak kullanılmaktadır. Ülkemizde enerji tüketiminin %35'i konutlarda, %36'sı sanayide, %21'i ulaşımda, %5'i tarımda ve %3'ü ise diğer alanlarda tüketildiği belirtilmektedir. Binalarda ise enerji tüketiminin %80'i ısıtma amaçlı, %10'u mutfak ve banyolarda ve %10'u ise elektrikli ev aletlerinde tüketilmektedir. Konutlarda ısı yalıtımı yapılarak kullanılan enerjinin yaklaşık % 50-60'ı tasarruf edilebilmektedir (Paralı, 2009).

1998 ve 2000 yıllarında yürürlüğe giren ısı yalıtım kurallarına göre mevcut ve yeni yapılan binaların enerji performansı, benzer iklim şartlarına sahip Avrupa ülkelerine göre daha düşüktür (Aytaç ve Aksoy, 2006). Bu durum dikkate alınarak 2008 yılında TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları standardında değişiklikler yapılmış, 2000 yılında yürürlüğe giren ve değişik tarihlerde revize edilen Binalarda Isı Yalıtım Yönetmeliği yürürlükten kaldırılmış, yerine Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği (BEPY) çıkarılmıştır. Yönetmelik; mevcut ve yeni yapılacak konut, ticari ve hizmet amaçlı kullanılan binaları kapsamaktadır. 5617 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu gereği, mevcut binalarda da 2 Mayıs 2017 tarihine kadar Enerji Kimlik Belgesi alınması zorunludur.

Literatürde, yapılara uygulanan ısı yalıtımına bağlı olarak enerji tasarrufu, optimum yalıtım kalınlığı ve ekonomik

analiz ile ilgili birçok çalışma vardır. Hasan yaptığı çalışmada Filistin için dört yakıt türü ve iki yalıtım malzemesi için optimum yalıtım kalınlıklarını derece gün ve ömür maliyet analizi yaklaşımıyla hesaplamıştır. Sonuç olarak taş yünü yalıtımı için geri ödeme süresinin 1,3-2,3 yıl arasında, polistren yalıtımı için 1-1,7 yıl arasında olduğunu belirlemiştir (Hasan, 1999). Çomaklı and Yüksel yaptıkları çalışmada Türkiye'nin en soğuk üç şehri Erzurum, Kars ve Erzincan için optimum yalıtım kalınlığını derece gün yöntemini kullanarak araştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre polistren yalıtım malzemesi ve yakıt olarak kömür kullanıldığında optimum yalıtım kalınlıkları Erzurum için 0,10 m, Kars için 0,10 m ve Erzincan için 0,08 m olarak hesap etmişlerdir. Enerji tasarruflarını da bu üç şehir için sırası ile 12,13 \$/m², 12,72 \$/m² ve 7,99 \$/m² olarak bulmuşlardır (Çomaklı and Yüksel, 2003). Bayer yaptığı çalışmada TS 825 Isı Yalıtım Kurallarını esas alarak örnek bir bina için ilk önce ısı yalıtımsız olarak daha sonra farklı ısı yalıtım malzemeleri kullanılarak oluşturulan ısı yalıtım sistemleri ile örnek binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı ve özgül ısı kaybı hesaplarını ve uygulanan sistemlerin maliyet analizlerini yapmıştır. Yapılan bu incelemelerde, konutlarda ısı kayıplarının çok olduğu dış duvarların ısı yalıtımı ile ısıtma enerjisi tüketiminde %38 oranında azalma sağlanabileceği anlaşılmıştır. Isı yalıtımı için yapılan yatırım maliyetinin bina maliyetine yaklaşık oranının %3,8, yatırım maliyetinin geri dönüş sürelerinin 4-5 yıl arasında olduğu görülmüştür (Bayer, 2006). Bolattürk yaptığı çalışmada Türkiye'nin farklı iklim bölgelerindeki 16 il için optimum yalıtım kalınlıklarını, polistren yalıtım malzemesi ve beş farklı yakıt türü için hesap etmiştir. Elde edilen sonuçlara göre farklı yakıt ve iklim bölgelerine göre optimum yalıtım kalınlıkları 2-17 cm arasında, enerji tasarrufları %22-79 ve geri ödeme süreleri 1,3-4,5 yıl arasında değiştiğini hesap etmiştir (Bolattürk, 2006). Dombaycı yaptığı çalışmada Türkiye'de 3. İklim bölgesinde bulunan Denizli ilindeki binaların dış duvar optimum yalıtım kalınlıklarının çevreye olan etkilerini araştırmıştır. Yaptığı hesaplamalarda yakıt kaynağı olarak kömür, yalıtım malzemesi olarak ise polistren kullanmıştır. Sonucunda ise optimum yalıtım kalınlığı kullanıldığı zaman binalardan olan enerji tüketiminin %46,6 ve çevreye salınan CO₂ ve SO₂ gazları emisyonlarının %41,53 oranında azaldığını belirlemiştir (Dombaycı, 2007). Özel ve Pıhtılı yaptıkları çalışmada, dış duvarlara uygulanan yalıtımın optimum kalınlığını ısıtma ve soğutma derece gün değerleri ile birlikte ele alarak hesaplamışlardır. Hesaplamalar Adana, Elazığ, Erzurum, İstanbul ve İzmir illeri için yapılmıştır. Bu durumda dış duvarlara ekstrüde polistren yalıtım malzemesi uygulanarak artan yalıtım kalınlıklarına göre optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu ve geri ödeme sürelerini belirlemişlerdir. Sonuç olarak incelenen illere göre optimum yalıtım kalınlığının 0,04 ile 0,084 m arasında değiştiği, yıllık tasarrufun 21,94 ile 97,12 YTL/m² arasında değiştiği ve geri ödeme süresinin ise 1,45 ile 2,05 yıl arasında değiştiği görülmüştür (Özel ve Pıhtılı, 2008). Irgat yaptığı çalışmada Kütahya ilindeki binalarda ısıtma için farklı enerji kaynakları (doğal gaz, ithal kömür ve Seyitömer kömürü) kullanıldığı varsayımıyla farklı ısı yalıtım malzemeleri için (XPS, EPS) optimum yalıtım

kalınlıkları, enerji tasarrufları ve geri ödeme sürelerini hesaplamıştır. Enerji kaynağı olarak doğal gaz kullanıldığında; optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu ve geri ödeme süresi sırasıyla sandviç duvar için; 0,059 m, %54 ve 1,8 yıl, dıştan yalıtımlı duvar için; 0,060 m, %57 ve 1,8 yıl, yitong ile yapılmış dıştan yalıtımlı duvar için; 0,054 m, %46 ve 2,2 yıl olarak elde etmiştir. Enerji kaynağı olarak ithal kömür kullanıldığında ise; sandviç duvar için; 0,072 m, %60 ve 1,6 yıl, dıştan yalıtımlı duvar için; 0,074 m, %62 ve 1,6 yıl, yitong ile yapılmış dıştan yalıtımlı duvar için; 0,068 m, %53 ve 1,9 yıl olarak elde etmiştir. Enerji kaynağı olarak Seyitömer kömürü kullanıldığında ise; sandviç duvar için; 0,046 m, %47 ve 2,1 yıl, dıştan yalıtımlı duvar için; 0,047m, %50 ve 2 yıl, yitong ile yapılmış dıştan yalıtımlı duvar için; 0,042 m, %40 ve 2,6 yıl olarak bulunmuştur. Ayrıca Kütahya'daki doğal gaz kullanan yaklaşık 2600 konutta optimum yalıtım kalınlığı uygulaması yapılması halinde yılda yaklaşık 3000000 TL'lik bir tasarruf sağlanabileceğini yapılan hesaplamalar sonucunda belirlemiştir (Irgat, 2009). Usta yaptığı çalışmada, TS 825 "Binalarda Isı Yalıtım Kuralları" standardına göre ikinci derece gün bölgesinde yer alan ve yalıtımsız bir konut binasının ilk olarak TS 825 standardına uygun ısı yalıtımlı duruma dönüştürülmesini amaçlamıştır. Daha sonra binanın yalıtımsız ve yalıtımlı durumları için ısı kazançları, ısı kayıpları ve yıllık ısıtma enerjisi ihtiyaçları belirlenerek bu değerlerdeki değişimlerin enerji verimliliği bakımından karşılaştırılmasını yapmıştır. Araştırma konusu binanın mevcut yalıtımsız durumda yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı 306769653 kJ'dur. Yapı elemanlarında gerekli yalıtım detayları uygulandıktan sonra yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı %74,4 azaltılmış ve 78587700 kJ değerine düşürülmüştür (Usta, 2009). Evcil yaptığı çalışmada Kuzey Kıbrıs'taki binalardan olan enerji kaybını ve binaların yalıtımlı olduğunu dikkate alarak toplam enerji tasarrufunu hesaplamıştır. Derece gün yöntemi, iklim bölgelerine göre konut dağılımı dikkate alınarak ortalama bir konut için yıllık ısıtma enerjisini 92000 MJ/yıl olarak bulunmuştur. Kuzey Kıbrıs için yıllık konut ısıtma enerjisi ihtiyacı 2325000000 MJ olarak tespit edilmiştir. Bölgedeki binaların çift camlı pencerelere sahip olduğu ve dış duvarlar ile çatıların uygun yalıtım malzemesi ile yalıtıldığı düşünülürse bölgedeki konut ısıtma enerjisi ihtiyacı %41,3'e düşeceğini özetlemiştir. Bu ise bir yıl içinde ekonomi için 30000000 dolarlık bir tasarrufa denk geldiğini savunmuştur. Bu 30000000 dolarlık enerji tasarrufu 16030 ton petrole veya 187000000 kWh elektriğe eşdeğer olduğunu belirlemiştir (Evcil, 2012). Karaahmetoğlu yaptığı çalışmada, farklı tür yakıtlarla ısınan bir bina projesini ele alarak, binanın yakıt türlerine göre ısı kaybı hesaplarını yaptıktan sonra yalıtımsız, yalıtımlı ve yalıtım sıvalı olmak üzere üç farklı maliyet analizi yapmıştır. Yalıtımlı binada tasarruf edilen yakıt miktarları karşılaştırıldığında % 39 ve 26893 TL ile en fazla tasarruf fueloil ile ısıtılan örnek binada gerçekleşirken, tasarrufun en az olduğu yakıt türü ise % 15 ve 10524 TL ile maden kömürü olmuştur (Karaahmetoğlu, 2013). Papakostas, Tsilingiridis ve Kyriakis çalışmalarında binaların ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyaçlarını belirlemede kullanılmak üzere Yunanistan'ın 50 şehri için ısıtma ve soğutma derece gün bölgelerini tablolar halinde

hazırlamışlardır. Farklı tasarım alternatiflerinin değerlendirilmesine yardımcı olması açısından son 10 yılın iklim verileri değerlendirilerek yapılmış bu çalışma mimarlık ve mühendislik projelerinin enerji hesaplamalarında kılavuz niteliğindedir (Papakostas vd., 2010). İsmail yaptığı çalışmada, birbirine komşu iki ülke arasındaki bina maliyet farklılıklarını ve bu maliyet içerisinde ısı yalıtım maliyeti ile bunun geri ödeme süresini bulmayı hedeflemiştir. Ayrıca yapılan yatırım maliyetlerinin iki farklı bina ve iki farklı ülkede yakıt türlerine bağlı olarak ısı yalıtım maliyeti ve bunun geri ödeme süresinin ne olduğu hesaplamıştır. Sonuç olarak bina türüne bağlı olarak ısı yalıtım maliyetinin toplam bina maliyeti içindeki oranı %4 ile %6 arasında değiştiği, ısı yalıtım maliyetinin geri ödeme süresi de yakıt türüne bağlı olarak 1 ile 4 yıl arasında değiştiği görülmektedir (İsmail, 2012).

Literatür incelendiğinde bu tür çalışmaların bölge ve şehir bazında yapıldığı görülmektedir. Yapılan çalışmalarda Erzincan ili için benzer çalışmalar bulunmamaktadır. Bu çalışma ülkemiz için bir referans olarak yapılmıştır. Bu çalışmada literatürdeki çalışmalardan farklı olarak, Erzincan ilinde örnek olarak seçilen ısı yalıtımlı ve yalıtımsız her bir bina türünden gerçekleşen ısı kayıpları belirlenerek il genelinde ısı yalıtımı yapılmamış binaların toplamından fazladan gerçekleşen ısı kayıplarının ekonomik analizi yapılmıştır. XPS yalıtım malzemesi ve tek yakıt türü (doğal gaz) için Erzincan ilinin optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu ve geri ödeme süresi sadece ısıtma ve derece-gün sayısı dikkate alınarak hesaplanmıştır. Çalışmada, ısı yalıtım hatalarından ve diğer bina yapım hatalarından dolayı fazladan meydana gelen ısı kayıpları ihmal edilerek genel bir ekonomik değerlendirme yapılmıştır.

MATERYAL VE METOD

DeneySEL Çalışma Bölgesi

Bu çalışma için 40 adet (12 adet müstakil, 12 adet 2 katlı, 12 adet 3 katlı, 2 adet okul, 2 adet cami) örnek yapı ele alınmıştır. Örnek alınan okulların ve camilerin dış duvar özellikleri konutların dış duvar özelliklerine yakın olduğu için hesaplamalarda konutların dış duvar özelliği baz olarak seçilmiştir. Ele alınan yapıların dış duvarları ise yalıtımlı ve yalıtımsız olmak üzere iki çeşittir. Örnek yapıların dış duvar yalıtım kalınlıkları 4 cm, 5 cm ve 8 cm olarak hesaplamalarda kullanılmıştır. Bu yalıtım kalınlıkları, il genelindeki bina sahiplerinin çoğunluğunun dairelerinde tercih ettiği değerlerdir. Yalıtım kalınlığı arttıkça ısı kaybı azalmaktadır. Isı yalıtım kalınlığı ise yalıtım maliyeti ve geri ödeme süresi ile bağlantılıdır. Erzincan halkı, bu farklı yalıtım kalınlıklarının ısınmaya olan katkılarının yanında, maliyetleri ve geri ödeme süreleri hakkında yetkililerden (Makine Mühendisleri Odası ve Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü) teknik bilgi istemektedir. Bu nedenle yapılan bu çalışmada dış duvar yalıtım kalınlıkları 4 cm, 5 cm ve 8 cm olarak hesaplamalarda tercih edilmiştir. Örnek seçilen yapılardan dijital termometreler yardımı ile iç ortam ve dış ortam sıcaklık değerleri alınmıştır. Sıcaklık

ölçümü 2011 yılı Aralık ve 2012 yılı Ocak ve Şubat ayları (kış sezonu) boyunca yapılmıştır. Bu aylar boyunca örnek yapıların her gün akşam saat 17.00-18.00'da iç ortam ve dış ortam sıcaklık verileri dijital termometrelerden okunmuştur. Dış ortam sıcaklık

Tablo 1. Erzincan Meteoroloji Müdürlüğü 2012 yılı Şubat ayı saatlik dış ortam sıcaklık verileri (Erzincan Meteoroloji Müdürlüğü, 2012).

TARİH	SAAT	SICAKLIK (°C)	TARİH	SAAT	SICAKLIK (°C)
01.02.12	17.00-18.00	-6,6	16.02.12	17.00-18.00	-2,3
02.02.12	17.00-18.00	-10,1	17.02.12	17.00-18.00	0,2
03.02.12	17.00-18.00	-9,3	18.02.12	17.00-18.00	-3,5
04.02.12	17.00-18.00	-9,8	19.02.12	17.00-18.00	-4,6
05.02.12	17.00-18.00	-9,6	20.02.12	17.00-18.00	-7,7
06.02.12	17.00-18.00	-8,7	21.02.12	17.00-18.00	-9,9
07.02.12	17.00-18.00	-0,3	22.02.12	17.00-18.00	-10,5
08.02.12	17.00-18.00	0,5	23.02.12	17.00-18.00	-10,7
09.02.12	17.00-	0,4	24.02.12	17.00-	-9,8

değerleri Erzincan Meteoroloji Müdürlüğü verileri ile örtüşmektedir. Alınan ölçümlerde iç ortam sıcaklık verilerinde fazla bir sapma olmadığından bu değer ortalama 20 °C kabul edilmektedir.

	18.00			18.00	
10.02.12	17.00-18.00	-5,4	25.02.12	17.00-18.00	-5,1
11.02.12	17.00-18.00	-7,8	26.02.12	17.00-18.00	-2,7
12.02.12	17.00-18.00	-8,1	27.02.12	17.00-18.00	1,5
13.02.12	17.00-18.00	-7,5	28.02.12	17.00-18.00	5,4
14.02.12	17.00-18.00	-2,7	29.02.12	17.00-18.00	2,8

Belirtilen aylarda (Aralık, Ocak ve Şubat) Meteoroloji verileri ve alınan ölçümler içerisinde, en düşük dış ortam sıcaklık verisi Şubat ayındaki -10,7 °C değeridir. Hesaplamalar için bu sıcaklık değeri kullanılmıştır. İl genelinin büyük bir kısmında yakıt olarak doğal gaz kullanıldığı için hesaplamalarda yakıt olarak doğal gaz referans alınmıştır. Doğal gazın diğer yakıtlar ile olan kıyaslaması Tablo 2 ve Tablo 3'te de dış duvar bileşenlerinin fiziksel özellikleri verilmektedir.

Tablo 2. Katı, sıvı ve gaz yakıtların karşılaştırılması.

YAKIT	BİRİM FİYAT	ISIL DEĞER	VERİM
Doğal Gaz	0,97 TL/m ³	34526x10 ³ J/kg	%93
LPG (12 kg ev tüpü)	5,50 TL/kg	11 000 kcal/kg	%90
Kömür (ithal)	0,80 TL/kg	6000 kcal/kg	%65
Fuel-oil No:4	2,53 TL/kg	9 875 kcal/kg	%80
Dökme Gaz (konut)	4,916175 TL/kg	11 100 kcal/kg	%92
Elektrik (konut)	0,371263 TL/kWh	860 kcal/kWh	%99
Motorin	5,136095 TL/kg	10 256 kcal/kg	%84

Bedellere KDV dahildir.

Tablo 3. Dış duvar bileşenlerinin fiziksel özellikleri.

Duvar Malzemesi	Dıştan Yalıtımlı Dış Duvar			Yalıtımsız Dış Duvar		
	Kalınlık (m)	k (W/mK)	R (m ² K/W)	Kalınlık (m)	k (W/mK)	R (m ² K/W)
İç sıva	0,025	1	0,025	0,025	1	0,025
Yatay delikli tuğla	0,19	0,45	0,422	0,19	0,45	0,422
XPS yalıtım malzemesi	0,04 0,05 0,08	0,035	1,143 1,43 2,285	---	---	---
Dış sıva	0,025	1,40	0,0178	0,025	1,4	0,0178
R _{iç} (m ² K/W)	---	0,13	---	---	0,13	---
R _{dış} (m ² K/W)	---	0,04	---	---	0,04	---

Bina Duvarlarının Isı Kaybı Ve Yıllık Enerji İhtiyacı

Dış duvarın birim alanından meydana gelen ısı kaybı;

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

eşitliği ile hesaplanır. Burada U; toplam ısı transfer katsayısını, ΔT ise dış ortam sıcaklığı ile sabit iç ortam sıcaklığının farkıdır. Birim yüzey alanda meydana gelen yıllık ısı kaybı toplam ısı transfer katsayısı (U) ve derece gün sayısı ile bulunur.

$$q_{\text{yıl}} = 86400 \cdot DG \cdot U \quad (2)$$

Tipik bir yalıtımlı duvar için toplam ısı transfer katsayısı U;

$$U = \frac{1}{R_{iç} + R_{\text{duvar}} + R_{\text{yalıtım}} + R_{\text{dış}}} \quad (3)$$

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

$$R_{\text{yalıtım}} = \frac{x}{k} \quad (4)$$

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

$$R_{\text{duvar,toplam}} = R_{\text{iç}} + R_{\text{duvar}} + R_{\text{dış}} \quad (5)$$

olduğuna göre yalıtımlı duvar için toplam ısı transfer katsayısı (U);

$$U = \frac{1}{R_{\text{duvar,toplam}} + R_{\text{yalıtım}}} \quad (6)$$

denklemi ile ifade edilir. Isıtma için gerekli olan yıllık enerji ihtiyacı $E_{\text{yıl}}$;

$$E_{\text{yıl}} = \frac{86400 \cdot DG}{(R_{\text{duvar,toplam}} + R_{\text{yalıtım}}) \cdot \eta} \quad (7)$$

şeklinde hesaplanır (Küreççi vd, 2012).

Yıllık Enerji Maliyeti Ve Optimum Yalıtım Kalınlığının Hesaplanması

Enerji gereksiniminin tahmini için kullanılan yöntemlerden biri de derece-gün yöntemidir. DG (derece-gün) değeri belirli bir denge sıcaklığı referans alınarak hesaplanır. Denge sıcaklığı binadaki ısı kaynaklarıyla binadan oluşan ısı kayıplarının eşit olduğu sıcaklık olarak tanımlanmaktadır.

Yıllık yakıt maliyeti ile yakıtın birim fiyatının çarpılması yakıtın maliyetini verir. Birim yüzey alan için ısıtmanın yıllık maliyeti (C_A),

$$C_A = \frac{86400 \cdot DG \cdot C_{\text{ykt}}}{(R_{\text{duvar,toplam}} + R_{\text{yalıtım}}) \cdot H_u \cdot \eta} \quad (8)$$

eşitliği ile bulunur (Hasan, 1999; Çomaklı and Yüksel, 2003). Burada C_{ykt} , yakıtın TL/m³ olarak maliyetini, H_u ise yakıtın alt ısı değerini vermektedir.

$$i > g \text{ ise } r = \frac{i-g}{1+g} \quad (9)$$

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

Türkiye’de faiz oranları enflasyondan yüksek olduğu için şimdiki değer faktörü hesaplanırken *Eşitlik (9)* kullanılmıştır.

$$\text{ŞDF} = \frac{(1+r)^N - 1}{r \cdot (1+r)^N} \quad (11)$$

Burada N ömür süresidir ve 10 yıl olarak kabul edilmiştir (Gölcü vd, 2006). Yalıtım maliyeti ($C_{\text{yıl}}$) ise;

$$C_{\text{yıl}} = C_{\text{mlz}} \cdot x \quad (12)$$

olarak hesaplanır (Hasan, 1999; Çomaklı and Yüksel, 2003). Sonuç olarak yalıtımı yapılan bir bina için toplam ısıtma maliyeti sistemle ilgili tüm harcamaların toplamından oluşan ömür maliyet analiz dikkate alınarak hesaplanmış ve;

$$C_{\text{t,izo}} = C_A \cdot \text{ŞDF} + C_{\text{yıl}} \quad (13)$$

veya

$$C_{\text{t,izo}} = \frac{86400 \cdot DG \cdot C_{\text{ykt}} \cdot \text{ŞDF}}{(R_{\text{duvar,toplam}} + R_{\text{yalıtım}}) \cdot H_u \cdot \eta} + C_{\text{yıl}} \quad (14)$$

olarak yazılabilir (Hasan, 1999; Çomaklı and Yüksel, 2003). Optimum yalıtım kalınlığı (x_{opt}) ise;

$$x_{\text{opt}} = 293,94 \cdot \left(\frac{DG \cdot C_{\text{ykt}} \cdot \text{ŞDF} \cdot k}{H_u \cdot C_{\text{mlz}} \cdot \eta} \right)^{1/2} - k \cdot R_{\text{duvar,toplam}} \quad (15)$$

eşitliği ile hesap edilir (Arslan and Köse, 2006).

Enerji Tasarrufu Ve Geri Ödeme Süresi

Yıllık toplam maliyet farkı A_s , yalıtılmamış bir binanın yıllık toplam ısıtma maliyeti ile yalıtılmış bir binanın yıllık toplam ısıtma maliyeti arasındaki farktır.

$$A_s = C_t - C_{\text{t,izo}} \quad (16)$$

ile bulunur (Şenkal Sezer, 2005). Geri ödeme süresi (PP) ise;

$$PP = \frac{C_t}{A_s} \quad (17)$$

olarak hesaplanmıştır (Gölcü vd, 2006).

Örnek seçilen dairelere göre yapılacak bu hesaplamalarda kullanılacak parametreler Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. Optimum yalıtım kalınlığının hesaplanmasında kullanılan parametreler.

PARAMETRE	BİRİM	DEĞER
Derece gün sayısı	DG (Erzincan 2012 için)	2874
Isı iletim katsayısı (XPS)	W/mK	0,035
Yalıtım malzemesi fiyatı	TL/m ³	150 (KDV ve işçilik dahil)
Faiz oranı	%	13,75
Enflasyon oranı	%	6,16
Şimdiki değer faktörü	---	6,97
Ömür yılı	Yıl	10
KULLANILAN YAKIT (DOĞAL GAZ)	---	---
Isıl değer	J/m ³	34526.10 ³
Yakma sistemi verimi	%	93
Yakıt maliyeti (KDV dahil)	TL/m ³	0,97

Erzincan’da Ölçümü Alınan Binaların İl Genelindeki İstatistiksel Verileri

Erzincan ili birinci derece deprem bölgesinde yer almaktadır. Bu nedenle depreme karşı alınan tedbirlerden biri de çok katlı yapılardan kaçınmaktır. Erzincan’daki yapıların çoğunluğu tek, 2 ve 3 katlı mimariye sahip olarak inşa edilmektedir. Tablo 5’de Erzincan Belediyesi İmar Müdürlüğü’nden alınan bina sayıları ve il genelindeki yüzdeleri verilmiştir.



Şekil 1. Erzincan ili kent yerleşim planı (Erzincan Belediyesi İmar Müdürlüğü, 2012).

Tablo 5. 2011 yılına ait Erzincan ili bina envanteri (Erzincan Belediyesi İmar Müdürlüğü, 2012).

BİNA KAT SAYISI	İLDEKİ ADEDİ	İLDEKİ YÜZDESİ
1 Katlı Bina Sayısı	4370	%49,5
2 Katlı Bina Sayısı	2413	%27,3
3 Katlı Bina Sayısı	1656	%18,8
4 Katlı Bina Sayısı	359	%4,07
5 Katlı Bina Sayısı	14	%0,15
6 Katlı Bina Sayısı	2	%0,02

Erzincan il genelindeki binaların tamamı üzerinde değerlendirmeler yapabilmek ve binaların toplam ısı transfer yüzey alanını belirlemek için Şekil 1’de görüldüğü gibi kent yerleşim planı üzerinden yoğunluğa göre 6 çalışma bölgesi seçilmiştir. Yapılacak çalışmaların ve devamında yapılacak istatistiksel hesaplamaların istenilen güvenilirlikte olmasını sağlamak için ise bu seçilen bölgelerin her birinde her bina türünü temsil edecek 12’şer adet bina belirlenmiştir (Liang and Shen, 2010).

Tablo 5’de verilen il genelindeki 1 katlı, 2 katlı ve 3 katlı binaları temsil edecek sayıdaki binalardan, ısı kaybı ile ekonomik analiz hesapları için belirli periyotlarda iç ortam ve dış ortam sıcaklık değerleri ölçülmüştür.

Erzincan il genelindeki binaların toplam ısı transfer yüzey alanını belirlemek için 6 çalışma bölgesinde seçilen 12’şer adet örnek binaların projeleri üzerinden her birinin toplam ısı transfer yüzey alanları belirlenmiştir (Liang and Shen, 2010). Genel temsil etmesi için belirlenen bu yüzey alanlarının ortalaması alınarak il genelindeki sayıları ile çarpılmıştır. Sonra il genelindeki her bina tiplerinin toplam ısı transfer yüzey alanları toplanarak Erzincan il genelindeki binaların toplam ısı transfer yüzey alanı 2411189,77 m² olarak bulunmuştur.

5627 Sayılı Enerji Verimliliği Kanunu ve bu kanuna bağlı olarak çıkartılan Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği’ne göre 1 Ocak 2011 tarihi itibari ile binalara Enerji Kimlik Belgesi çıkarılması zorunlu hale gelmiştir. Yeni yapılan binalara Enerji Kimlik Belgesi düzenlenebilmesi için binanın, Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği’ne göre sahip olması gereken yapı ve yalıtım standartlarını karşılayabilecek şekilde inşa edilmiş olması gerekmektedir. Aksi halde Enerji Kimlik Belgesi düzenlenemeyeceği için yapı kullanım izni de alınamayacaktır. Bu tarihten sonra yapılan binaların tamamı yalıtımlı olduğu için ildeki bina sayısı Erzincan Belediyesi kayıtlarında mevcut olduğundan herhangi bir sorun arz etmemektedir. 1 Ocak 2011 tarihinden önce yapılan binaların yüzde olarak ne kadarının yalıtımlı ya da yalıtımsız olduğu konusunda Erzincan Belediyesi’nde herhangi bir bilgi bulunmamaktadır. Yalıtımlı ve yalıtımsız toplam bina sayılarını belirlemek için ise il genelinde bir anket

yapılmıştır. Yapılan ankette aşağıda belirtilen sorular sorulmuştur.

1. Erzincan'da mı ikamet ediyorsunuz?
a) Evet b) Hayır
2. Eviniz 2011 yılından önce mi yapıldı, yoksa sonra mı?
a) Önce b) Sonra
3. Eviniz yalıtımlı mı?
a) Evet b) Hayır

TÜİK'in istatistiksel olarak kullandığı formül aşağıda verilmiştir (İnternet, 2013).

$$SS = \frac{Z^2 \cdot p \cdot (1-p)}{c^2} \quad (19)$$

Nüfus için düzeltme;

$$\text{Yeni SS} = \frac{SS}{1 + \frac{SS-1}{pop}} \quad (20)$$

%95 güven düzeyi ve %4 güven aralığı (hata marjı) 96474 nüfusu temsil etmek için hesaplamalar sonucu 597 kişi ile anket yapılmıştır. Yukarıda verilen anket soruları Erzincan genelinde 597 farklı kişiye sorulmuştur. Alınan sonuçlar ise şöyledir. 597 kişinin %1'i Erzincan'da ikamet etmemektedir. Yani Erzincan'da ikamet eden, ankete göre 597 kişiden yaklaşık 591 kişidir. 591 yerleşimcinin %12'si 2011 yılından sonra yapılan binalarda oturmaktadır. Geriye kalan yaklaşık 520 kişi ise 2011 yılından önce yapılan binalarda yaşamaktadır. Bu 520 kişinin %22'si yalıtımlı evde otururken, %78'i yalıtımsız evlerde hayatlarına devam etmektedir. 2011 yılı öncesi yapılan binaların toplam ısı transfer alanı 2121847 m²'dir. Bu rakamın %22'si olan 466806,34 m²'si yalıtımlı iken, %78'i olan 1655040 m²'si yalıtımsız binadan oluşmaktadır. 2011 yılından sonra yönetmelik gereği yapılan binaların ısı transfer yüzey alanı toplam binaların ısı transfer yüzey alanının %12'si olan 289342,77 m²'dir. İldeki yalıtımlı binaların toplam ısı transfer yüzey alanı 289342,77+466806,34=756149,11m² olarak bulunmuştur. Bu rakam ise toplam binaların ısı transfer yüzey alanının (2411189,77 m²) %31,36'sını oluşturmaktadır. Yani Erzincan'daki mevcut binaların %31,36'sı ısı yalıtımlı iken, %68,64'ü ise ısı yalıtımsızdır (Fırat, 2013).

ARAŞTIRMA SONUÇLARI

Erzincan'daki Binaları Isıtmak İçin Gerekli Yıllık Enerji İhtiyacı

Isıtma için gerekli yıllık enerji ihtiyacı yalıtımsız dış duvarın birim alanı için 420,611 MJ/m²yıl olarak hesaplanmıştır. Dış duvara 4 cm, 5 cm ve 8 cm kalınlıklarında XPS yalıtım malzemesi uygulandığında dış duvarın birim alanından olan ısıtma için gerekli yıllık enerji ihtiyacı sırası ile 150,02 MJ/m²yıl, 129,312 MJ/m²yıl ve 91,445 MJ/m²yıl'dır. Bulunan değerlerden de görüldüğü gibi dış duvarın yalıtımsız haline 4 cm, 5 cm ve 8 cm kalınlıklarında XPS yalıtım malzemesi uygulandıkça

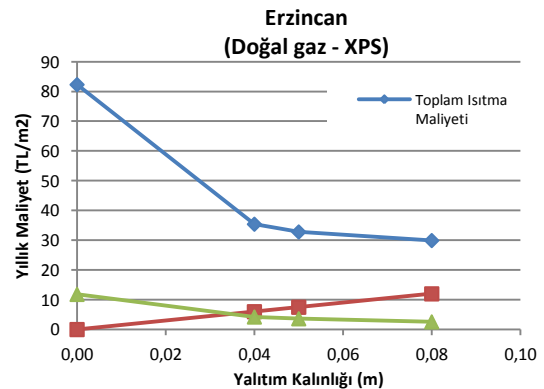
ısıtma için gerekli yıllık enerji miktarı azalmaktadır. Bu ise enerjiden kar elde edildiğini göstermektedir. Bu değerler ildeki yalıtımlı ve yalıtımsız toplam bina ısı transfer yüzey alanı ile çarpılarak ilin ısıtma için gerekli yıllık enerjisi hesap edilmiştir. Erzincan'daki tüm binaların %68,64'ü olan yalıtımsız binalar için gerekli yıllık enerji ihtiyacı 696128029,44 MJ/yıl'dır. Geriye kalan %31,36 oranındaki yalıtımlı binaların tümünün sırasıyla 4 cm, 5 cm ve 8 cm kalınlıklarında XPS yalıtım malzemesi uygulanarak yalıtılması halinde yıllık enerji ihtiyacı sırası ile 113437489,48 MJ/yıl, 97779153,71 MJ/yıl ve 69146055,36 MJ/yıl olarak hesaplanmıştır.

Erzincan'daki Binalar İçin Yıllık Toplam Isıtma Maliyeti

Dış duvarlar için ısıtmanın yıllık maliyeti, şimdiki değer faktörü ve yalıtım maliyetleri dikkate alınarak Erzincan'daki bina dış duvarlarının yalıtımlı ve yalıtımsız durumları dikkate alınarak toplam ısıtma maliyeti hesabı yapılmıştır. İldeki yalıtımsız binaların dış duvarlarının birim alanı için yıllık toplam ısıtma maliyeti 82,36 TL/m² olarak hesaplanmıştır. 4 cm kalınlığında XPS ile yalıtılmış dış duvarın birim alanının toplam ısıtma maliyeti yıllık olarak 35,41 TL/m², 5 cm kalınlığında XPS yalıtımlı dış duvar için 32,80 TL/m² ve 8 cm kalınlığında XPS yalıtımlı dış duvar için ise 29,91 TL/m² olarak bulunmuştur. Bu değerler ile ildeki yalıtımlı ve yalıtımsız binaların ısı transfer yüzey alanı çarpılırsa ilin yıllık toplam ısıtma maliyeti elde edilmiş olmaktadır. İldeki yalıtımsız binalar için yıllık toplam ısıtma maliyeti 82,36 TL/m²yıl x 1655040 m² = 136309094,4 TL/yıl olarak elde edilmiştir. Aynı şekilde 4 cm, 5 cm ve 8 cm kalınlıklarında XPS yalıtım malzemesi uygulanmış yalıtımlı binalar için yıllık toplam ısıtma maliyeti sırası ile 58604966,4 TL/yıl, 54285312 TL/yıl ve 49502246,4 TL/yıl olarak hesaplanmıştır.

Erzincan İçin Optimum Yalıtım Kalınlığı Ve Geri Ödeme Süreleri

Erzincan ilindeki binalar için optimum yalıtım kalınlığı ve geri ödeme süreleri hesabı farklı kalınlıklardaki yalıtım malzemeleri için yapılmıştır. Erzincan ili için optimum yalıtım kalınlığı 0,0882 m, geri ödeme süresi ise 4 cm, 5 cm ve 8 cm kalınlıklarındaki XPS yalıtım malzemesi için sırasıyla 1,75 yıl, 1,66 yıl ve 1,57 yıl olarak bulunmuştur. Yalıtım kalınlığı arttıkça geri ödeme süresi düşmektedir.



Şekil 2. Yalıtımsız ve farklı kalınlıktaki yalıtımlı dış duvarlar için yalıtım, yakıt ve ısıtma maliyetleri.

TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Yapılan deneysel çalışmalar ve hesaplamalar sonucunda, Erzincan ili merkezindeki binaların toplamını ısıtmak için gerekli yıllık enerji ihtiyacı ve maliyeti aşağıdaki gibidir.

Erzincan'daki yalıtımlı binaların tümünün yalıtım kalınlığı 4 cm ve yalıtım malzemesi XPS olarak hesap edilirse, ildeki toplam binalar (yalıtımlı ve yalıtımsız) için gerekli yıllık enerji ihtiyacı 809565518,92 MJ/yıl olarak bulunmuştur. İldeki yalıtımsız binaların da 4 cm kalınlıkta XPS ile yalıtılması durumunda toplam binalar için gerekli yıllık enerji ihtiyacı 361726689,29 MJ/yıl olacaktır. Yani yalıtımsız binalarında 4 cm kalınlıkta XPS ile yalıtılması halinde yıllık enerji ihtiyacından %44,68 tasarruf elde edilecektir.

Erzincan'daki yalıtımlı binaların tümünün yalıtım kalınlığı 5 cm ve yalıtım malzemesi XPS olarak hesap edilirse, ildeki toplam binalar (yalıtımlı ve yalıtımsız) için gerekli yıllık enerji ihtiyacı 793907183,15 MJ/yıl olarak bulunmuştur. İldeki yalıtımsız binaların da 5 cm kalınlıkta XPS ile yalıtılması halinde toplam binalar için gerekli yıllık enerji ihtiyacı 311795771,53 MJ/yıl olacaktır. Yani yalıtımsız binalarında 5 cm kalınlıkta XPS ile yalıtılması halinde yıllık enerji ihtiyacından %39,27 tasarruf mümkün olacaktır.

Erzincan'daki yalıtımlı binaların tümünün yalıtım kalınlığı 8 cm ve yalıtım malzemesi XPS olarak hesap edilirse, ildeki toplam binalar (yalıtımlı ve yalıtımsız) için gerekli yıllık enerji ihtiyacı 765274084,8 MJ/yıl olarak bulunmuştur. İldeki yalıtımsız binaların da 8 cm kalınlıkta XPS ile yalıtılması halinde toplam binalar için gerekli yıllık enerji ihtiyacı 220491248,51 MJ/yıl olacaktır. Yani yalıtımsız binalarında 5 cm kalınlıkta XPS ile yalıtılması halinde yıllık enerji ihtiyacından %28,81 tasarruf elde edilecektir.

İldeki %31,36 oranındaki yalıtımlı binaların tümünün 4 cm kalınlıkta XPS ile yalıtıldığı esas alarak yalıtımlı ve yalıtımsız binalar için yıllık toplam ısıtma maliyeti 194914060,8 TL/yıl olarak hesaplanmıştır. Eğer yalıtımsız binalarda 4 cm kalınlığında XPS ile yalıtıldığı kabul edilirse toplam yıllık ısıtma maliyeti 85380229,75 TL/yıl olacaktır. Bu durumda %43,80 tasarruf elde edilmiş olacaktır.

İldeki %31,36 oranındaki yalıtımlı binaların tümünün 5 cm kalınlıkta XPS ile yalıtıldığı esas alarak yalıtımlı ve yalıtımsız binalar için yıllık toplam ısıtma maliyeti 190594406,4 TL/yıl olarak bulunmuştur. Eğer yalıtımsız binalarda 5 cm kalınlığında XPS ile yalıtıldığı kabul edilirse toplam yıllık ısıtma maliyeti 79087024,45 TL/yıl olacaktır. Bu durumda %41,49 tasarruf meydana gelecektir.

İldeki %31,36 oranındaki yalıtımlı binaların tümünün 8 cm kalınlıkta XPS ile yalıtıldığı esas alarak yalıtımlı ve yalıtımsız binalar için yıllık toplam ısıtma maliyeti 185811340,8 TL/yıl olarak belirlenmiştir. Eğer yalıtımsız binalarda 8 cm kalınlığında XPS ile yalıtıldığı kabul

edilirse toplam yıllık ısıtma maliyeti 72118686,02 TL/yıl olacaktır. Bu durumda %38,81 tasarruf gerçekleşecektir.

Ayrıca yalıtım ile bina içindeki hava sirkülasyonunu önleyerek insan sağlığının korunması, gerekli konfor aralığının yakalanması ve binaların dış etkenlerden korunması da gerçekleşecektir.

TEŞEKKÜR

Bu makale Erzincan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenen 10.01.08 nolu "Binalarda ısı yalıtımının enerji tasarrufuna etkisinin termal kamera ile incelenmesi, isimli proje kapsamında hazırlanmıştır. Yazarlar, destekleri nedeniyle Erzincan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

Arslan, O. and Köse, R., 2006, "Thermoeconomic optimization of insulation thickness considering condensed vapor in buildings", *Energy and Buildings*, 38, 1403s.

Aytaç, A. ve Aksoy, T., 2006, "Enerji Tasarrufu İçin Dış Duvarlarda Optimum Yalıtım Kalınlığı Ve Isıtma Maliyeti İlişkisi", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 21, No 4, 753-758.

Bayer, G., 2006, *Binalarda Uygulanan Isı Yalıtım Sistemleri ve Örnek Bir Projede Isı Yalıtım Maliyet Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Bolattürk, A., 2006, "Determination Of Optimum Insulation Thickness For Building Walls With Respect To Various Fuels and Zones In Turkey", *Applied Thermal Engineering*, Cilt 26, No 11-12, 1301-1309.

Çomaklı, K. and Yüksel, B., 2003, "Optimum Insulation Thickness of External Walls For Energy Saving", *Applied Thermal Engineering*, Cilt 23, No 4, 473-479.

Dombaycı, Ö.A., 2007, "The Environmental Impact Of Optimum Insulation Thickness For External Walls Of Buildings", *Building and Environment*, Cilt 42, No 11, 3855-3859.

Erzincan Belediyesi İmar Müdürlüğü, 2012, Bina Envanteri, Erzincan.

Erzincan Meteoroloji Müdürlüğü, 2012, Şubat Ayı Hava Sıcaklık Verileri, Erzincan.

Evcil, A., 2012, "An Estimation Of The Residential Space Heating Energy Requirement In Cyprus Using The Regional Average Specific Heat Loss Coefficient", *Energy and Buildings*, Cilt 55, 164-173.

Fırat, İ., 2013, *Erzincan İlindeki Binalarda Isı Yalıtım Uygulamaları ve Isı Yalıtımının Enerji Tasarrufuna Etkisinin Ekonomik Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Gölcü, M., Dombaycı, Ö.A. ve Abalı, S., 2006, “Denizli İçin Optimum Yalıtım Kalınlığının Enerji Tasarrufuna Etkisi ve Sonuçları”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 21, No 4, 639-644.

Hasan, A., 1999, “Optimizing Insulation Thickness For Buildings Using Life Cycle Cost”, *Applied Energy*, Cilt 63, 115-124.

İrgat, F., 2009, *Kütahya İçin Optimum Isı Yalıtım Kalınlığının Enerji Tasarrufuna Etkisi ve Isıtma Maliyeti İlişkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

İnternet, 2013, *Türkiye İstatistik Kurumu*, <http://www.surveysystem.com/sscalc.htm>.

İsmail, S., 2012, *Enerji Verimli Binalarda Isı Yalıtımının Toplam Bina Maliyetindeki Etkisi Yunanistan-Türkiye Karşılaştırması*, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Karaahmetoğlu, Y., 2013, *Binalarda Yakıt Türlerine Göre Isı Kaybı Hesabı Ve Karşılaştırmalı Maliyet Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Kürekçi, A., Bardakçı, A. T., Çubuk, H. ve Emanet, Ö., 2012, “Türkiye’nin Tüm İlleri İçin Optimum Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi” , *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, Sayı 131, 5-21.

Liang, Z. and Shen, H., 2010, “Determining Sample Size For Building Energy Consumption Surveys Using Statistical Theory”, *Energy and Buildings*, Cilt 47, 533-539.

Özel, M. ve Pıhtılı, K., 2008, “Duvar Yalıtım Kalınlığının Pencere Alanlarına Etkisinin Araştırılması”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 23, No 3, 655-662.

Papakostas, K., Tsilingiridis, G., and Kyriakis, N., 2010, Cooling Degree-Days for 50 Greek Cities, *Tech. Chron. Sci. J. TCG*, I, No 1.

Paralı, D., 2009, *Bina Duvarlarında Uygulanan Isı Yalıtım Sistemlerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Şenkal Sezer, F., 2005, “Türkiye’de Isı Yalıtımının Gelişimi ve Konutlarda Uygulanan Dış Duvar Isı Yalıtım Sistemleri”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 10, Sayı 2, 79-85.

Usta, S., 2009, “TS 825 ‘Binalarda Isı Yalıtım Kuralları’ Standardına Göre İkinci Bölgede Bulunan Bir Binanın Yalıtımsız ve Yalıtımlı Durumlarının Enerji Verimliliği Bakımından Karşılaştırılması”, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, Cilt 5, No 1, 1-24.