

KONUTLARDA DUVAR VE ÇATI YALITIMLARININ BİNA KABUĞU, ISITMA ENERJİSİ VE YAŞAM DÖNEMİ MALİYETLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

*Esra BOSTANCIOĞLU**

Özet: Konut yapılarının kullanıcılar için gerekli konfor koşullarını sağlayarak, minimum enerji tüketecek şekilde üretilmesi ve işletilmesini sağlamanın bir yolu, bina kabuğu tasarımıdır. Yalıtım sayesinde, ısı kazanç ve kayıpları azaltılarak enerji tasarrufunun sağlanması, çevrenin korunması, ısı konfor ve gürültü denetiminin sağlanması mümkün olabilmektedir. Yapılan çalışmada, hem bina ilk yatırım maliyetini, hem de ısıtma enerjisi maliyetlerini etkileyen, bina kabuğunun özelliklerinin değiştirilmesi ile bina kabuğu, ısıtma enerjisi ve yaşam dönemi maliyetlerinde hangi oranda değişiklikler görüleceğinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla dış ortama açık bina kabuğunu oluşturan yapı bileşenleri olan duvar ve çatıda kullanılan gövde ve yalıtım malzemelerinin değiştirilmesiyle; bina kabuğu, ısıtma enerjisi ve yaşam dönemi maliyetleri belirlenecektir. Duvarda ve/veya çatıda kullanılan yalıtım malzemesinin, yalıtımsız binaya getirdiği bina kabuğu maliyeti artışı ve yıllık ısıtma enerjisi maliyeti tasarrufu; duvar ve çatı yalıtım malzemesi kalınlığının artışının bina kabuğu, ısıtma enerjisi ve yaşam dönemi maliyetlerinde meydana getirdiği değişimler değerlendirilecektir.

Anahtar Kelimeler: Duvar yalıtımı, çatı yalıtımı, bina kabuğu maliyeti, ısıtma enerjisi maliyeti, yaşam dönemi maliyeti, enerji tasarrufu.

Effect of Dwellings' Wall and Roof Insulations on the Building Envelope, Heating Energy and Life Cycle Costs

Abstract: One way of producing and operating dwellings that provide the necessary thermal comfort conditions while consuming minimum energy is the building envelope design. Insulation ensures energy saving by reducing heat gains and losses, and enables us to protect the environment, ensure thermal comfort and noise control. The study aims at identifying the rate of change in building envelope, heating energy and life cycle costs that occurs after altering the features of the building envelope; which affects building initial investment and heating energy costs. For this purpose, by changing the body and insulation materials used on external components of the building envelope, such as roof and walls; building envelope, heating energy and life cycle costs will be determined. The increase in the building envelope cost and saving on annual heating energy costs that is brought by the insulation material used on wall and/or roof to the non-insulated building will be assessed as well as the changes building envelope, heating energy and life cycle costs, resulting from the increase in the thickness of insulation material used on roof and walls.

Key Words: Wall insulation, roof insulation, building envelope cost, heating energy cost, life cycle cost, energy saving.

1. GİRİŞ

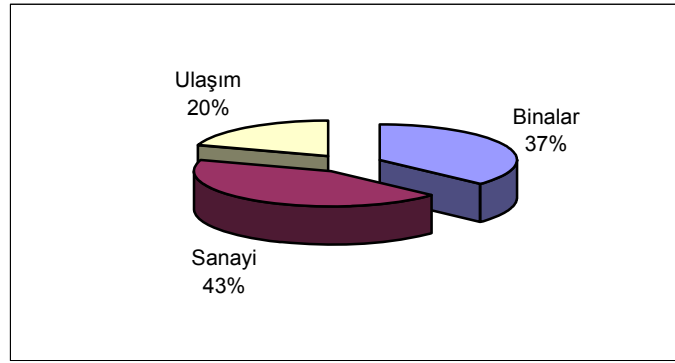
Türkiye’de konut üretimi inşaat sektöründe ve ülkesel yatırımlar içinde, yüksek bir payı oluşturmaktadır. Konutlar yaşam süreleri boyunca; insanların barınma ihtiyacını karşılamanın yanısıra; kullanıcıların konfor koşullarını da sağlamak durumundadır. Konfor koşullarını sağlamada yapma alt sistemlerle tüketilen enerji miktarının artışına bağlı olarak; kullanılan enerji kaynaklarının azalması, bu kaynaklarda dış ülkelere bağımlı olunması, enerji tüketimi sonucu ortaya çıkan gazların insan sağlığına verdiği zararlar, hava kirliliğinin artması ve buna bağlı olarak oluşan küresel ısınma sorunları

* İstanbul Kültür Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Ataköy Yerleşkesi, 34156, Bakırköy, İstanbul.

önemli hale gelmiştir. Bütün bunlara dayanarak; gerekli konfor koşullarını sağlayan, minimum enerji tüketen konutların üretilmesi ve işletilmesi gerekmektedir.

AB ülkelerinde çevre ve yaşam kalitesinin iyileştirilmesini amaçlayan “6. AB Çevre Eylem Programı’nın (6th EU Environment Action Programme) “Bizim Geleceğimiz Bizim Seçimimiz” (Our future, our choice) başlıklı raporunda bina tasarımlarında enerji tasarrufunu kapsayan çevreye duyarlı önlemlerin de alınması gerektiği üzerinde durulmaktadır. (http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/6eapbooklet_en.pdf)

Bütün dünyada olduğu gibi ülkemizde de toplam enerjinin çok önemli bir oranı binalarda kullanıcı konforunu sağlamak üzere ısıtma, klima, havalandırma ve aydınlatma amaçlı kullanılmaktadır. Bu oranlar ülkemiz için yaklaşık olarak Şekil 1’de gösterilmiştir. Dünyada ise binalarda kullanılan enerjinin toplam enerji içerisindeki payı %45-50’ye kadar çıkabilmektedir. Bu durum binalarda enerji tasarrufunun ve yönetiminin ne kadar önemli olduğunun göstergesidir. (Yılmaz, 2006)



Şekil 1:
Türkiye’de Binalarda Kullanılan Enerjinin Toplam Enerji İçerisindeki Payı.

Bir çok ülkede, binalarda ısıtma için gereksinim duyulan enerji, konutlarda tüketilen enerjinin %40 gibi büyük bir çoğunluğunu oluşturmaktadır. (Tablo I) (Bakos, 2000)

Tablo I. Enerji Tüketimi Dağılımı (%)

	Bina Isıtması	Su Isıtması	Air condition Havalandırma	Aydınlatma	Soğutma	Diğer
Konutlar	40	17	7	7	12	17
Ticari Binalar	32	5	22	25	-	16

Ülkemizde de; başta sanayi ve konut sektörleri olmak üzere, enerji tüketimi her geçen yıl artmakta; konutlarda kullanılan enerjinin büyük bir kısmı ısıtma ve soğutma amaçlı tüketilmektedir. Ticaret ve sanayi yapılarında olduğu gibi, konutlarda da en etkin enerji tasarrufu; kolay uygulanabilir bir enerji verimlilik teknolojisi olan ısı yalıtımının kullanımıyla sağlanabilmektedir. Yalıtım sayesinde, ısı kazanç ve kayıpları azaltılarak enerji tasarrufunun sağlanması, çevrenin korunması, ısı konforu ve gürültü denetiminin sağlanması, yapı elemanlarında ve yüzeylerinde yoğuşmanın önlenmesi ve yapı elemanlarının dış etkilerden korunması mümkün olabilmektedir. (Sezer, 2005)

Yapılan çalışmada, hem bina ilk yatırım maliyetini, hem de ısıtma enerjisi maliyetlerini etkileyen, bina kabuğunun özelliklerinin değiştirilmesi ile bina kabuğu maliyeti, ısıtma enerjisi ve yaşam dönemi maliyetlerinde hangi oranda değişiklikler görüleceğinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla; dış ortama açık bina kabuğunu oluşturan yapı bileşenleri olan duvar ve çatıda kullanılan gövde ve yalıtım malzemelerinin değiştirilmesiyle, bina kabuğu maliyeti, ısıtma enerjisi ve yaşam dönemi maliyetleri belirlenecektir. Duvarda ve/veya çatıda kullanılan yalıtım malzemesinin, yalıtımsız binaya getirdiği bina kabuğu maliyeti artışı ve yıllık ısıtma enerjisi maliyeti tasarrufu; duvar ve çatı yalıtım mal-

zemesi kalınlığının artışının bina kabuğu maliyeti, ısıtma enerjisi ve yaşam dönemi maliyetlerinde meydana getirdiği değişimler değerlendirilecektir.

2. KONU İLE İLGİLİ YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

Literatürde, binalarda yalıtım kalınlıklarına ilişkin yapılmış çalışmaların daha çok optimum yalıtım kalınlıklarının ve geri ödeme sürelerinin belirlenmesine ilişkin olduğu görülmektedir.

Bolattürk, ısıtma ve soğutma yüklerine bağlı olarak, binalarda dış duvarlardaki optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi için karşılaştırmalı analiz yapmıştır (Bolattürk, 2008). Kaynaklı, Bursa'da örnek bir binanın doğalgaz, kömür, fuel oil, LPG ve elektrik gibi farklı yakıt tipleri için optimum yalıtım kalınlıklarını belirlenmiştir. Binanın beklenen ömrü 20 yıl olarak alınmıştır (Kaynaklı, 2008). Kaynaklı ve Yamankaradeniz, yakıt olarak doğal gaz kullanılması durumunda, ülkemizdeki çeşitli iklim bölgelerinde iki farklı duvar tipi için, yıllık yakıt giderlerini farklı yalıtım kalınlıkları için belirlemiştir. Binanın beklenen ömrü 20 yıl olarak alınmıştır (Kaynaklı, ve diğ. 2007), (Kaynaklı, ve diğ. 2007) Aksoy ve Keleşoğlu bina kabuğu opak bölümlerindeki enerji kayıplarını; Elazığ gibi Türkiye'nin en soğuk şehirlerinden biri için, bina kabuğu yüzey alanı, yönlendiriliş durumu ve yalıtım kalınlığına göre araştırmıştır (Aksoy ve diğ. 2007). Şişman, Kahya, Aras ve Aras, Türkiye'nin değişik derece-gün (DD) bölgeleri olan İzmir (DD:1450), Bursa (DD:2203), Eskişehir (DD:3215) ve Erzurum (DD:4856) için; yalıtımlı dış duvarlarda yıllık enerji kazançlarını, 10 yıllık yaşam dönemini esas alarak net güncel değer yöntemi ile en yüksek değere çıkararak, optimum yalıtım kalınlıklarını belirlemiştir. Optimum yalıtım kalınlıkları hem duvar için, hem çatı için belirlenmiştir (Şişman, ve diğ. 2007). Bolattürk, beş farklı yakıt tipi için (kömür, doğal gaz, fueloil, sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) ve elektrik) optimum yalıtım kalınlığı, tasarruf edilen enerji miktarı ve geri ödeme devresi yaşam dönemi maliyeti analizi kullanılarak hesaplanmıştır (Bolattürk, 2006). Aytaç ve Aksoy, Elazığ için değişik enerji kaynakları (kömür, doğalgaz, LPG, fueloil, elektrik) ve iki farklı yalıtım malzemesi (ekspande polistren köpük ve taşıyünü) kullanımında dış duvarın optimum izolasyon kalınlığını hesaplamıştır (Aytaç ve diğ. 2006).

Gölcü, Dombaycı ve Abalı, Denizli'deki binalarda ısıtma için farklı enerji kaynakları (ithal kömür ve fuel oil) kullanıldığında, dış duvarlar için optimum yalıtım kalınlıkları, enerji tasarrufları ve geri ödeme sürelerini hesaplamıştır (Gölcü ve diğ. 2006). Dombaycı, Gölcü ve Pancar; Denizli için beş farklı enerji kaynağı (kömür, doğalgaz, LPG, fueloil, elektrik) ve iki farklı yalıtım malzemesi (ekspande polistren köpük ve taşıyünü) kullanımında dış duvarın optimum yalıtım kalınlığını hesaplamıştır (Dombaycı ve diğ. 2006). Özel ve Pıhtılı; bina duvarlarına uygulanan yalıtımın duvar içindeki 5 farklı konumlandırma durumu için ısı akısının değişimini sayısal olarak araştırılmış ve yazın ısı kazancını, kışın ise ısı kaybını minimum yapacak yalıtım durumunu tespit etmiştir (Özel ve diğ. 2005). Çomaklı ve Yüksel, optimum izolasyon kalınlığını Erzurum, Kars, Erzincan gibi Türkiye'nin en soğuk şehirleri için araştırmıştır. Türkiye'nin farklı şehirleri için, optimum yalıtım kalınlıkları ve 10 yıllık yaşam süreleri üzerinden tasarruflar belirlenmiştir (Çomaklı ve diğ. 2002).

Tablo II'de konu ilgili çalışmalar, iklim bölgeleri, kullanılan gövde ve yalıtım malzemeleri, yalıtımın yeri, elde edilen optimum yalıtım kalınlıkları ve geri ödeme süreleri açısından değerlendirilmiştir. Türkiye'de yapılmış olan çalışmalarda, duvar gövde malzemesi olarak hep tuğla kullanılmıştır. Farklı duvar gövde malzemelerinin kullanıldığı dış duvar alternatiflerine rastlanmamıştır. Oysa ki, Türkiye'de özellikle betonarme yapılarda, dış duvarlarda gövde malzemesi olarak gazbeton malzemesinin de büyük ölçüde kullanımına rastlanmaktadır.

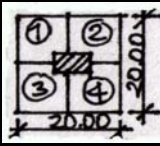
Tablo II. Türkiye ölçeğindeki çalışmaların değerlendirilmesi

Kaynak	İklim Bölgesi	Duvar gövde malzemesi	Duvar yalıtım malzemesi	Yalıtımın yeri	Optimum yalıtım kalınlığı (cm)	Geri Ödeme Süresi (yıl)
(Bolattürk, 2008) Soğutma derece saatleri açısından	2. Bölge	20 cm tuğla	Ekstrüde polistren köpük	Dıştan	3,2 – 3,8 cm	3,39-3,81
(Bolattürk, 2008) (Isıtma yükleri için)	2. Bölge	20 cm tuğla	Ekstrüde polistren köpük	Dıştan	1,6 – 2,7 cm	4,15-5,47
(Kaynaklı, 2008)	Bursa (2. Bölge)	13,5+8,5 cm tuğla	Polistren köpük	Çift duvar arası	5,3 – 12,4 cm	-
(Kaynaklı, ve diğ. 2007)	Çeşitli	13,5+8,5 cm tuğla	Polistren köpük	Çift duvar arası	2,8 – 9,6 cm	-
(Aksoy ve diğ. 2007)	Elazığ (4. Bölge)	Tuğla	EPS-strapor	Dıştan	5 ile 10 cm arasında	5,3 – 13,6
(Şisman ve diğ.2007)	İzmir (1. Bölge)	Tuğla	Taşyünü		3,3 cm	2,82
(Şisman ve diğ.2007)	Bursa (2.Bölge)	Tuğla	Taşyünü		4,7 cm	2,28
(Şisman ve diğ.2007)	Eskişehir (3.Bölge)	Tuğla	Taşyünü		6,1 cm	1,89
(Şisman ve diğ.2007)	Erzurum (4. Bölge)	Tuğla	Taşyünü		8 cm	1,54
(Bolattürk, 2006)	Çeşitli	13,5+8,5 cm tuğla	Polistren köpük	Çift duvar arası	2 -17 cm	1,3 – 4,5
(Aytaç ve diğ. 2006) (Doğalgaz için)	Elazığ (4. Bölge)	13+13 cm tuğla	Ekspande polistren köpük	Çift duvar arası	4,2 cm	4,435
(Aytaç ve diğ. 2006) (Doğalgaz için)	Elazığ (4. Bölge)	13+13 cm tuğla	Taşyünü	Çift duvar arası	3,3 cm	5,827
(Aytaç ve diğ. 2006) (Doğalgaz için)	Elazığ (4. Bölge)	29 cm tuğla	Ekspande polistren köpük	Dıştan	3,9 cm	4,895
(Aytaç ve diğ. 2006) (Doğalgaz için)	Elazığ (4. Bölge)	29 cm tuğla	Taşyünü	Dıştan	2,9 cm	6,432
(Gölcü, ve diğ. 2006) (İthal kömür için)	Denizli (2. Bölge)	8,5+8,5 cm tuğla	Taşyünü	Çift duvar arası	4,8 cm	2,4
(Gölcü, ve diğ. 2006) (Fuel oil için)	Denizli (2. Bölge)	8,5+8,5 cm tuğla	Taşyünü	Çift duvar arası	8,2 cm	1,6
(Dombaycı, ve diğ. 2006) (Doğalgaz için)	Denizli (2. Bölge)	8,5+8,5 cm tuğla	Ekspande polistren köpük	Çift duvar arası	7,6	1,55
(Dombaycı, ve diğ. 2006) (Doğalgaz için)	Denizli (2. Bölge)	8,5+8,5 cm tuğla	Taşyünü	Çift duvar arası	3,2	3,03
(Özel ve diğ. 2005)	Elazığ (4. Bölge)	20 cm tuğla	6 cm camyünü		-	-
(Çomaklı ve diğ.2003)	Erzurum (4. Bölge)	Tuğla	Strapor	Çift duvar arası	10,49 cm	1,458
(Çomaklı ve diğ.2003)	Kars (4. Bölge)	Tuğla	Strapor	Çift duvar arası	10,74 cm	1,446
(Çomaklı ve diğ.2003)	Erzincan (4. Bölge)	Tuğla	Strapor	Çift duvar arası	8,5 cm	1,576
Kaynak	İklim Bölgesi	Çatı gövde malzemesi	Çatı yalıtım malzemesi		Optimum yalıtım kalınlığı (cm)	Geri Ödeme Süresi (yıl)
(Şisman ve diğ.2007)	İzmir (1. Bölge)	Betonarme	Taşyünü	Betonarme döşeme üzeri	2	4,95
(Şisman ve diğ.2007)	Bursa (2.Bölge)	Betonarme	Taşyünü	Betonarme döşeme üzeri	3,3	3,66
(Şisman ve diğ.2007)	Eskişehir (3.Bölge)	Betonarme	Taşyünü	Betonarme döşeme üzeri	4,7	3,10
(Şisman ve diğ.2007)	Erzurum (4. Bölge)	Betonarme	Taşyünü	Betonarme döşeme üzeri	6,5	2,58

3. YÖNTEM VE KABULLER

Çalışmada Tablo III'de özellikleri verilmiş olan 5 katlı, katında 4 daire, kat yüksekliği 2,70 m olan, yaklaşık daire alanı 100 m² olan konut binası kullanılmıştır.

Tablo III. Çalışmaya esas olan binanın özellikleri

Plan Şeması			
Kat adedi	5	Kattaki daire adedi	4
Toplam döşeme alanı (m ²)	2.000,00	Kat yüksekliği (m)	2,70
Dış duvar alanı (m ²)	1.080,00	Dış duvar alanı / Döşeme alanı	2,700
Döşeme alanı (m ²)	400,00		
Toplam kabuk alanı (A _t) (m ²)	1.880,00	A _t /V _b	0,348
Brüt hacim (V _b) (m ³)	5.400,00		
Dış duvar alanı (m ²) (Duvar gövde malzemesi)	553,10	Dış duvar alanı (%) (Duvar gövde malzemesi)	51,21
Dış duvar alanı 2 (m ²) (Betonarme)	315,60	Dış duvar alanı 2 (%) (Betonarme)	29,22
Pencere alanı (m ²)	110,50	Pencere alanı (%)	10,23
Dış kapı alanı (m ²)	100,80	Dış kapı alanı (%)	9,33
Cephe opaklık oranı(%)	80,44	Cephe saydamlık oranı (%)	19,56

3.1. Bina Kabuk Alternatiflerinin Özelliklerinin Belirlenmesi

Konutlardaki en büyük ısı kayıpları, duvar, döşeme, çatı, pencere ve ısı köprüleri gibi yapı elemanlarından gerçekleşmektedir. Bu bölgelerden oluşan ısı kayıpları oranları yapının mimarisine, konumuna, ısı yalıtım durumuna ve kullanılan yapı malzemelerinin özelliklerine göre değişiklik göstermektedir. (Karagöz, 2004)

Gelişen teknoloji ile birlikte günümüzde duvarlar; tek bir katmandan oluşabildiği gibi; bünyesinde yalıtım malzemesi barındıran, birden fazla katmandan oluşan bir yapı elemanı olarak da ele alınabilmektedir. Yalıtım malzemeleri; su, ısı yangına karşı korunum sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Ülkemizde sıklıkla kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin lifli malzemeler ve köpüklü malzemeler olduğu görülmektedir. Lifli malzemeler; taşıyıcı ve camyünü gibi mineral yünleri ve ahşap yünü, köpük malzemeler ise; geliştirilmiş polistren köpük (EPS) ve haddeden çekilmiş polistren köpük (XPS) gibi polistren köpükler ve poliüretan köpükler olmalıdır. Dış duvarlarda kullanılacak yalıtım malzemelerini; nemle ilişkiye geçtiklerinde mekanın yapısını olumsuz yönde etkilemeyen ve yalıtım özelliğinde bir değişiklik olmayan malzemelerden seçmek gerekmektedir.

Günümüzde Türkiye’de dış duvarlardaki yalıtım, ısı yalıtım malzemelerinin konumuna göre 4 farklı sistemde uygulanmaktadır:

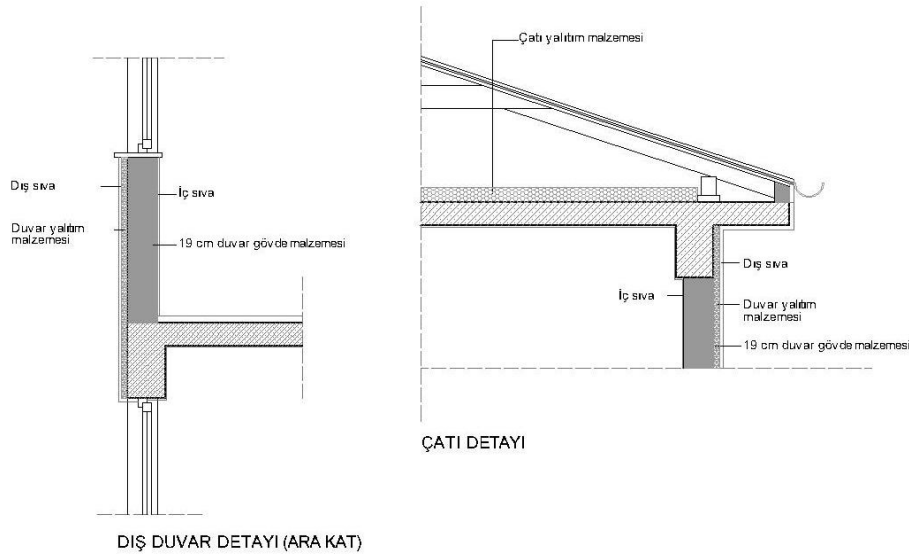
- Duvarların dış yüzeyine yapılan ısı yalıtım uygulamaları (Mantolama),
- Duvarların iç yüzeyine yapılan ısı yalıtım uygulamaları,
- Çift duvar arası ısı yalıtım uygulamaları (Sandviç duvar),
- Havalandırılmalı dış duvar yalıtım uygulamaları (giydirme cephe sistemi).

Avrupa ve Amerika’da yaygın bir şekilde kullanılan dıştan yalıtım sistemi; Türkiye’de son yıllarda daha sık uygulanmaya başlanmıştır. Dışarıdan yalıtım sisteminde, yalıtım binayı bir manto gibi sarmakta, ısı köprüsü oluşturmamaktadır. Böylece sıcaklık değişiminden meydana gelecek gerilme ve çatlaklar önlenmekte, havalandırma sayesinde konstrüksiyonun sürekli kuru kalması sağlanmaktadır. Dışarıdan yalıtım sisteminin maliyeti diğer sistemlere göre daha yüksek olmasına rağmen, konut gibi uzun süreli kullanılan mekanlar için en uygun sistemdir. (Sezer, 2005)

Enerji korunumunda etkili olan tasarım parametreleri; yer, yön, bina biçimi, bina kabuğu termofiziksel ve optik özellikleri, hacim boyutları, yerleşme biçimi türü, binalar arasındaki uzaklıklar, doğal havalandırma düzenidir. (Berköz, ve diğ. 1995) Bina ölçeğinde, ısıtma enerjisi korunumunda etkili olan tasarım parametreleri ise; bina formu ve bina kabuğu optik ve termofiziksel özellikleridir.

Bina kabuğu optik özellikleri; güneş ışınımına karşı yutuculuk, geçirgenlik, yansıtıcılık katsayıları, termofiziksel özellikleri ise; toplam ısı geçirme katsayısı (U (k)) ve saydamlık oranıdır.

Enerji etkin bir çevre oluşturulmasında, bina ölçeğinde ısıtma enerjisi korunumunda etkili tasarım parametrelerinden bina kabuğuna ait özellikler bu çalışmada ele alınmıştır. Bina kabuğunu oluşturan yapı bileşenleri duvarlar, çatı ve zemine oturan döşemedir. Duvarda, çatıda ve zemine oturan döşemede kullanılan gövde ve yalıtım malzemelerinin değiştirilmesiyle, bina ilk yatırım ve ısıtma enerjisi maliyetleri farklılaşacaktır. Yapılan çalışmada ülkemizdeki mevcut standart ve yönetmelikler esas alındığından; öncelikle Bayındırlık Bakanlığı birim fiyatları (Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2009) ve TS 825'te (TS 825, 2008) yer alan duvar, zemine oturan döşeme ve çatıda kullanılacak malzemeler belirlenmiştir. Çatı olarak ahşap oturtma çatı kabulü yapılmıştır. Yalıtım malzemesi olarak, zemine oturan döşemede 4 cm ekstüde polistren köpük (XPS), çatıda ise çatı arasında 6, 8 ve 10 cm camyünü kullanımı olacağı düşünülmüştür. Duvar gövde malzemesi olarak, yatay delikli tuğla ve gazbeton; duvar yalıtım malzemesi olarak ise farklı kalınlıkta ekstrüde polistren köpük (XPS), ekspande polistren köpük (EPS) ve taşyününün kullanımıyla farklı bina kabuğu alternatifleri oluşturulmuştur. Konut gibi uzun süreli kullanılan mekanlarda daha uygun bir sistem olduğu ve buhar difüzyonu sonucunda yoğunlaşma olasılığı daha az olduğu için; duvarlarda yalıtım malzemelerinin dıştan kullanıldığı (mantolama yapıldığı) kabul edilmiştir. Duvar ve çatı yalıtım malzemesinin kullanımına ilişkin detaylar Şekil 2'de verilmiştir. Yapı bileşenlerindeki gövde ve yalıtım malzemelerinin farklılaştırılmasıyla oluşturulmuş bina dış kabuğu alternatifleri Tablo IV'te görülmektedir.



Şekil 2:
Duvar ve çatı yalıtım malzemesinin kullanımı

Tablo IV. Bina dış kabuğu alternatifleri

	duvar gövde malzemesi	duvar yalıtım malzemesi	çatı yalıtım malzemesi	zemin döşemesi yalıtım malzemesi
t	19 cm tuğla			4 cm XPS
t6c	19 cm tuğla		6 cm camyünü	4 cm XPS
t8c	19 cm tuğla		8 cm camyünü	4 cm XPS
t10c	19 cm tuğla		10 cm camyünü	4 cm XPS
t2x	19 cm tuğla	2 cm XPS		4 cm XPS
t3x	19 cm tuğla	3 cm XPS		4 cm XPS
t4x	19 cm tuğla	4 cm XPS		4 cm XPS
t5x	19 cm tuğla	5 cm XPS		4 cm XPS
t6x	19 cm tuğla	6 cm XPS		4 cm XPS
t2x6c	19 cm tuğla	2 cm XPS	6 cm camyünü	4 cm XPS
t2x8c	19 cm tuğla	2 cm XPS	8 cm camyünü	4 cm XPS
t2x10c	19 cm tuğla	2 cm XPS	10 cm camyünü	4 cm XPS
t3x6c	19 cm tuğla	3 cm XPS	6 cm camyünü	4 cm XPS
t3x8c	19 cm tuğla	3 cm XPS	8 cm camyünü	4 cm XPS
t3x10c	19 cm tuğla	3 cm XPS	10 cm camyünü	4 cm XPS
t4x6c	19 cm tuğla	4 cm XPS	6 cm camyünü	4 cm XPS
t4x8c	19 cm tuğla	4 cm XPS	8 cm camyünü	4 cm XPS
t4x10c	19 cm tuğla	4 cm XPS	10 cm camyünü	4 cm XPS
t5x6c	19 cm tuğla	5 cm XPS	6 cm camyünü	4 cm XPS
t5t6c	19 cm tuğla	5 cm taşıyünü	6 cm camyünü	4 cm XPS
t5e6c	19 cm tuğla	5 cm EPS	6 cm camyünü	4 cm XPS
t5x8c	19 cm tuğla	5 cm XPS	8 cm camyünü	4 cm XPS
t5x10c	19 cm tuğla	5 cm XPS	10 cm camyünü	4 cm XPS
t5t10c	19 cm tuğla	5 cm taşıyünü	10 cm camyünü	4 cm XPS
t5e10c	19 cm tuğla	5 cm EPS	10 cm camyünü	4 cm XPS
t6x6c	19 cm tuğla	6 cm XPS	6 cm camyünü	4 cm XPS
t6x8c	19 cm tuğla	6 cm XPS	8 cm camyünü	4 cm XPS
t6x10c	19 cm tuğla	6 cm XPS	10 cm camyünü	4 cm XPS
g	19 cm gazbeton			4 cm XPS
g6c	19 cm gazbeton		6 cm camyünü	4 cm XPS
g8c	19 cm gazbeton		8 cm camyünü	4 cm XPS
g10c	19 cm gazbeton		10 cm camyünü	4 cm XPS
g2x	19 cm gazbeton	2 cm XPS		4 cm XPS
g3x	19 cm gazbeton	3 cm XPS		4 cm XPS
g4x	19 cm gazbeton	4 cm XPS		4 cm XPS
g5x	19 cm gazbeton	5 cm XPS		4 cm XPS
g5x	19 cm gazbeton	6 cm XPS		4 cm XPS
g2x6c	19 cm gazbeton	2 cm XPS	6 cm camyünü	4 cm XPS
g2x8c	19 cm gazbeton	2 cm XPS	8 cm camyünü	4 cm XPS
g2x10c	19 cm gazbeton	2 cm XPS	10 cm camyünü	4 cm XPS
g3x6c	19 cm gazbeton	3 cm XPS	6 cm camyünü	4 cm XPS
g3x8c	19 cm gazbeton	3 cm XPS	8 cm camyünü	4 cm XPS
g3x10c	19 cm gazbeton	3 cm XPS	10 cm camyünü	4 cm XPS
g4x6c	19 cm gazbeton	4 cm XPS	6 cm camyünü	4 cm XPS
g4x8c	19 cm gazbeton	4 cm XPS	8 cm camyünü	4 cm XPS
g4x10c	19 cm gazbeton	4 cm XPS	10 cm camyünü	4 cm XPS
g5x6c	19 cm gazbeton	5 cm XPS	6 cm camyünü	4 cm XPS
g5t6c	19 cm gazbeton	5 cm taşıyünü	6 cm camyünü	4 cm XPS
g5e6c	19 cm gazbeton	5 cm EPS	6 cm camyünü	4 cm XPS
g5x8c	19 cm gazbeton	5 cm XPS	8 cm camyünü	4 cm XPS
g5x10c	19 cm gazbeton	5 cm XPS	10 cm camyünü	4 cm XPS
g5t10c	19 cm gazbeton	5 cm taşıyünü	10 cm camyünü	4 cm XPS
g5e10c	19 cm gazbeton	5 cm EPS	10 cm camyünü	4 cm XPS
g6x6c	19 cm gazbeton	6 cm XPS	6 cm camyünü	4 cm XPS
g6x8c	19 cm gazbeton	6 cm XPS	8 cm camyünü	4 cm XPS
g6x10c	19 cm gazbeton	6 cm XPS	10 cm camyünü	4 cm XPS

3.2. Konutların Bina Kabuğu, Yıllık Isıtma Enerjisi ve Yaşam Dönemi Maliyetlerinin Belirlenmesi

Bina kabuğu maliyetlerinin belirlenmesinde Türkiye’de kullanılan ve belirlenmiş bir ölçüm standardı olan 2009 yılı Bayındırlık Bakanlığı birim fiyatları kullanılmıştır. (Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2009) Bayındırlık Bakanlığı birim fiyat listesinde yer almayan farklı kalınlıktaki duvar yalıtım malzemeleri için Birim Fiyat Analizi yapılmıştır. Hesaplanan bina kabuğu maliyeti; dış ortama açık oldukları için en fazla ısı kaybının olduğu dış duvarlar ve çatıya ait maliyetleri kapsamaktadır.

Türkiye, TS 825’de il merkezleri için 4 iklim bölgesine ayrılmıştır. 1. bölge ısıtma için en az enerji ihtiyacının olduğu, 4. bölge ise en fazla enerji ihtiyacının olduğu bölgeyi temsil etmektedir. Bina alternatifleri için ısıtma enerjisi ihtiyacı ve yıllık yakıt miktarları, İstanbul’un da içinde olduğu ılıman iklim bölgesi olan 2. bölge için hesaplanmıştır. Duvar alternatifleri yoğunlaşma açısından kontrol edilmiştir ve yoğunlaşma meydana gelen alternatif bulunmamaktadır. Yıllık yakıt miktarlarının belirlenmesinde “TS 825 Isı Yalıtım Hesabı” bilgisayar programı kullanılmıştır. IZODER tarafından hazırlanan bu hesap programı; “TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” standardını ve Türkiye’nin son 20 yıllık meteorolojik verilerini esas almaktadır. Bu program kullanılarak, TS 825 “Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları” standardında tanımlanan özgül ısı kaybı ve yoğunlaşma tahkikine yönelik hesaplamalar yapılabilmekte ve hesaplanan değerlerle standartta tanımlanan sınır değerler karşılaştırılarak, tasarlanan binanın enerji verimliliği ile ilgili ulusal mevzuatlara uygunluğu değerlendirilmektedir. Programın temel olarak işleyişi TS 825 standardına paraleldir. Programda öncelikle standarda tabi yapı ile ilgili bilgi girişleri yapılmakta, yapının yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı ve yoğunlaşma hesapları yapılarak standartta belirtilen kriterlerin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir. Tanımlanan hesap metodunda, yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı ısıtma dönemini kapsayan aylık ısıtma enerjisi ihtiyaçlarının toplanması ile bulunur. Böylece binanın ısıl performansının gerçeğe daha yakın bir şekilde değerlendirilmesi mümkün olmaktadır. (www.izoder.org.tr)

Yıllık yakıt miktarlarının belirlenmesinden sonra; binalarda yakıt olarak doğalgaz tüketildiği kabul edilerek, yıllık ısıtma enerjisi maliyetleri belirlenmiştir. Isıtma enerjisi maliyetlerinin belirlenmesinde 2009 yılı Ocak ayı İstanbul doğalgaz fiyatları esas alınmıştır. Türkiye’de konu ile ilgili yapılmış olan çalışmalar, optimum yalıtım kalınlığının ve geri ödeme sürelerinin hesaplanmasına yöneliktir. Mevcut çalışmalarla elde edilen verilerin karşılaştırılabilmesi için çalışmada ele bina kabuk alternatiflerinin yaşam dönemi maliyetleri de hesaplanmıştır. Yapılan çalışmalarda yaşam dönemi maliyeti hesabında, beklenen ömrün genellikle 20 yıl olduğu görüldüğünden, 20 yıl ömür esas alınmıştır. Ekonomik değerlendirme yapılması öngörülen süre içinde maliyetlerin her zaman dilimi içerisinde maliyetin ne kadar artış göstereceğinin oran olarak belirlenmesi gerekmektedir. Bu oran, çalışma hangi sektör için yapılıyorsa o sektöre ait özel koşullara bağlı olduğu gibi, enflasyona göre veya çeşitli istatistik ve tahmin kuruluşlarının yapmış olduğu çalışmalara göre de belirlenebilir. İndirgeme oranı ise gelecekteki maliyetleri tespit edilmiş olan parametrelerin bugünkü güncel değerlerine dönüştürülmeleleri amacıyla çeşitli istatistik ve tahmin kuruluşlarınca hesaplanmış oranlar kullanılarak belirlenebilir. (İndirgeme oranı, ülke ve proje riskleri gözönünde bulundurularak, Uluslararası Finans Birliği’nin (IFC) Türkiye’deki projelere uyguladığı indirgeme oranı olan %15 esas alınmıştır. (Türkiye’nin \$ cinsinden çıkardığı tahviller %13 üzerinden işlem gördüğü ve %2’lik de risk payı eklendiği kabul edilecek) (Manioğlu, 2002).

Farklı kabuk alternatiflerine sahip binaların yaşam dönemi maliyetleri, 20 yıllık yaşam süresi ve %15 indirgeme oranı göz önüne alınarak net güncel değer yöntemi ile hesaplanmıştır.

4. DEĞERLENDİRME

Tablo V’te, çalışmada örnek olarak seçilmiş olan konutun Tablo IV’de belirlenmiş olan farklı kabuk alternatifleri açısından hesaplanmış yıllık ısıtma enerjisi maliyetleri görülmektedir. Tablo VI’da duvarda ve/ veya çatı arasında kullanılan yalıtım malzemelerinin ve kalınlıklarının değişimi ile yalıtımsız konutun yıllık ısıtma enerjisi maliyetlerinde meydana gelen değişimler yüzdelik bazda değerlendirilmiştir.

Tablo V. Farklı kabuk alternatiflerine sahip konutun yıllık ısıtma enerjisi maliyetleri (TL)

		Duvar gövde malzemesi- 19 cm gazbeton							
	Duvar yalıtım malzemesi	yalıtımsız	2 cm XPS	3 cm XPS	4 cm XPS	5 cm XPS	5 cm taş-yünü	5 cm EPS	6 cm XPS
çatı yalıtım malzemesi	yalıtımsız	27.303,15	20.062,47	19.297,78	18.796,53	18.406,55	18.670,83	18.670,83	18.137,91
	6 cm camyünü	19.604,10	12.642,07	11.950,50	11.449,25	11.098,66	11.323,55	11.323,55	10.840,69
	8 cm camyünü	19.340,49	12.391,15	11.662,04	11.185,56	10.847,14			10.589,20
	10 cm camyünü	19.157,59	12.218,96	11.505,41	11.028,93	10.674,94	10.915,32	10.915,32	10.429,47
		Duvar gövde malzemesi- 19 cm yatay delikli tuğla							
çatı yalıtım malzemesi	yalıtımsız	29.860,26	20.888,37	19.891,75	19.226,87	18.771,55	19.083,57	19.083,57	18.405,75
	6 cm camyünü	22.161,96	13.431,60	12.495,10	11.879,59	11.424,27	11.722,47	11.722,47	11.097,85
	8 cm camyünü	21.872,70	13.167,20	12.218,15	11.604,14	11.161,39			10.845,53
	10 cm camyünü	21.702,26	13.008,82	12.058,48	11.445,22	11.004,76	11.288,91	11.288,91	10.674,14

* Koyu yazılmış değerler, Türkiye'deki ikinci iklim bölgesi için TS 825 açısından gerekli konfor koşullarını sağlamamaktadır.

Tablo VI. Farklı kabuk alternatiflerinin yıllık ısıtma enerjisi maliyetlerinin, duvar ve çatı arasında yalıtım malzemesi kullanılmamış alternatifle yüzdeler bazda karşılaştırılması

		Duvar gövde malzemesi- 19 cm gazbeton							
	Duvar yalıtım malzemesi	yalıtımsız	2 cm XPS	3 cm XPS	4 cm XPS	5 cm XPS	5 cm taş-yünü	5 cm EPS	6 cm XPS
çatı yalıtım malzemesi	yalıtımsız	100,00	73,48	70,68	68,84	67,42	68,38	68,38	66,43
	6 cm camyünü		71,80	46,30	43,77	41,93	40,65	41,47	39,70
	8 cm camyünü		70,84	45,38	42,71	40,97	39,73		38,78
	10 cm camyünü		70,17	44,75	42,14	40,39	39,10	39,98	38,20
		duvar gövde malzemesi- 19 cm yatay delikli tuğla							
çatı yalıtım malzemesi	yalıtımsız	100,00	69,95	66,62	64,39	62,86	63,91	63,91	61,64
	6 cm camyünü		74,22	44,98	41,85	39,78	38,26	39,26	37,17
	8 cm camyünü		73,25	44,10	40,92	38,86	37,38		36,32
	10 cm camyünü		72,68	43,57	40,38	38,33	36,85	37,81	35,75

Tablo V, VI'da da görüldüğü gibi, binalarda ısı kaybının yaşandığı duvar ve çatılarda kullanılan yalıtım malzemeleri, binanın yıllık ısıtma enerjisi maliyetlerinde büyük ölçüde tasarrufa neden olmaktadır. Örnek olarak seçilmiş yalıtımsız konutta sadece 2 cm kalınlığında XPS duvar yalıtımı kullanımı, tuğla duvar gövde malzemesi kullanılan konutta %30,05'lik, gazbeton duvar gövde malzemesi kullanılan konutta %26,52'lik ısıtma enerjisi tasarrufu sağlamaktadır. 6 cm camyünü çatı arası yalıtımı ise, tuğla duvar gövde malzemesi kullanılan konutta %25,78, gazbeton duvar gövde malzemesi kullanılan konutta %28,20 ısıtma enerjisi tasarrufu sağlamaktadır. Yalıtım malzemesi kalınlığı arttıkça ısıtma enerjisi tasarrufu %50- %65'lere kadar yükselmektedir. Ancak tablolarda da görüldüğü gibi, ısıtma enerjisi tasarrufu, yalıtım kalınlığı artışı ile aynı oranda artmamaktadır. Yalıtım malzemesi kalınlığı arttıkça, yıllık yakıt giderlerindeki tasarruf, yalıtım kalınlığındaki artışa oranla daha az artmaktadır.

Tablo VII'de, çalışmada örnek olarak seçilmiş olan konutun farklı kabuk alternatifleri açısından hesaplanmış bina kabuğu maliyetleri görülmektedir. Tablo VIII'de duvarda ve/ veya çatı arasında kullanılan yalıtım malzemelerinin ve kalınlıklarının değişimi ile yalıtımsız konutun bina kabuğu maliyetlerinde meydana gelen değişimler yüzdeler bazda değerlendirilmiştir.

Tablo VII. Farklı kabuk alternatiflerine sahip konutun bina kabuğu maliyetleri (TL)

		duvar gövde malzemesi- 19 cm gazbeton							
	Duvar yalıtım malzemesi	yalıtımsız	2 cm XPS	3 cm XPS	4 cm XPS	5 cm XPS	5 cm taşıyıcı	5 cm EPS	6 cm XPS
çatı yalıtım malzemesi	yalıtımsız	72.760,93	90.499,79	93.071,14	95.633,80	98.213,84	108.125,71	90.525,85	100.759,13
	6 cm camyünü	75.400,93	93.139,79	95.711,14	98.273,80	100.853,84	110.765,71	93.165,85	103.399,13
	8 cm camyünü	76.576,93	94.315,79	96.887,14	99.449,80	102.029,84			104.575,13
	10 cm camyünü	77.276,93	95.015,79	97.587,14	100.149,80	102.729,84	112.641,71	91.041,85	105.275,13
		duvar gövde malzemesi- 19 cm tuğla							
çatı yalıtım malzemesi	yalıtımsız	65.240,62	82.979,48	85.550,83	88.113,50	90.693,53	100.605,40	83.005,54	93.238,83
	6 cm camyünü	67.880,62	85.619,48	88.190,83	90.753,50	93.333,53	103.245,40	85.645,54	95.878,83
	8 cm camyünü	69.056,62	86.795,48	89.366,83	91.929,50	94.509,53			97.054,83
	10 cm camyünü	69.756,62	87.495,48	90.066,83	92.629,50	95.209,53	105.121,40	87.521,54	97.754,83

*Koyu yazılmış değerler, Türkiye'deki ikinci iklim bölgesi için TS 825 açısından gerekli konfor koşullarını sağlamamaktadır.

Tablo VIII. Farklı kabuk alternatiflerinin bina kabuğu maliyetlerinin, duvar ve çatı arasında yalıtım malzemesi kullanılmaması alternatifle yüzdellik bazda karşılaştırılması

		duvar gövde malzemesi- 19 cm gazbeton							
	Duvar yalıtım malzemesi	yalıtımsız	2 cm XPS	3 cm XPS	4 cm XPS	5 cm XPS	5 cm taşıyıcı	5 cm EPS	6 cm XPS
çatı yalıtım malzemesi	yalıtımsız	100,00	124,38	127,91	131,44	134,98	148,60	124,42	138,48
	6 cm camyünü	103,63	128,01	131,54	135,06	138,61	152,23	128,04	142,11
	8 cm camyünü	105,24	129,62	133,16	136,68	140,23			143,72
	10 cm camyünü	106,21	130,59	134,12	137,64	141,19	154,81	125,12	144,69
		duvar gövde malzemesi- 19 cm tuğla							
çatı yalıtım malzemesi	yalıtımsız	100,00	127,19	131,13	135,06	139,01	154,21	127,23	142,92
	6 cm camyünü	104,05	131,24	135,18	139,11	143,06	158,25	131,28	146,96
	8 cm camyünü	105,85	133,04	136,98	140,91	144,86			148,76
	10 cm camyünü	106,92	134,11	138,05	141,98	145,94	161,13	134,15	149,84

Tablo VII, VIII'de de görüldüğü gibi, binalarda ısı kaybının yaşandığı duvar ve çatılarda kullanılan yalıtım malzemeleri, bina kabuğu maliyetlerinde artışlara neden olmaktadır. Örnek olarak seçilmiş yalıtımsız konutta 2 cm kalınlığında XPS duvar yalıtımı kullanımı, tuğla duvar gövde malzemesi kullanılan konutta %27,19'lük, gazbeton duvar gövde malzemesi kullanılan konutta %24,38'lik bina kabuğu maliyet artışı meydana getirmektedir. 6 cm camyünü çatı arası yalıtımı ise, tuğla duvar gövde malzemesi kullanılan konutta %4,05, gazbeton duvar gövde malzemesi kullanılan konutta %3,63 bina kabuğu maliyeti artışına neden olmaktadır. Yalıtım malzemesi kalınlığı arttıkça ilk yatırım maliyeti artışı %49,84'e kadar yükselmektedir.

Tablo IX'da, çalışmada örnek olarak seçilmiş olan konutun farklı kabuk alternatifleri açısından hesaplanmış yaşam dönemi maliyetleri görülmektedir. Tablo X'da, duvarda ve/veya çatı arasında kullanılan yalıtım malzemelerinin ve kalınlıklarının değişimi ile yalıtımsız konutun yaşam dönemi maliyetlerinde meydana gelen değişimler yüzdellik bazda değerlendirilmiştir. Tablo XI'de ise, bütün kabuk alternatifleri, en düşük yaşam dönemi maliyetine sahip alternatifle yüzdellik bazda karşılaştırılmıştır.

Tablo IX. Farklı kabuk alternatiflerine sahip konutun yaşam dönemi maliyetleri (TL)

		duvar gövde malzemesi- 19 cm gazbeton								
Duvar yalıtım malzemesi		yalıtımsız	2 cm XPS	3 cm XPS	4 cm XPS	4 cm EPS	5 cm XPS	5 cm taş-yünü	5 cm EPS	6 cm XPS
çatı yalıtım malzemesi	yalıtımsız	243.660,36	216.077,41	213.862,31	213.287,48		213.426,51	224.992,60	207.392,74	214.290,29
	6 cm camyünü	198.109,46	172.270,68	170.513,26	169.938,43	120.234,63	170.324,02	181.643,55	164.043,69	171.254,59
	8 cm camyünü	197.635,44	171.876,09	169.883,70	169.463,91		169.925,67			170.856,43
	10 cm camyünü	197.190,61	171.498,29	169.603,30	169.183,51	119.749,42	169.547,81	180.964,30	159.364,44	170.556,62
		duvar gövde malzemesi- 19 cm delikli tuğla								
çatı yalıtım malzemesi	yalıtımsız	252.145,84	213.726,68	210.059,86	208.460,82		208.190,86	220.055,76	202.455,90	208.446,51
	6 cm camyünü	206.599,64	169.692,30	166.401,78	165.111,77	110.017,88	164.841,81	176.620,21	159.020,35	165.343,94
	8 cm camyünü	205.965,07	169.213,33	165.844,26	164.563,64		164.372,35			164.940,58
	10 cm camyünü	205.598,23	168.921,98	165.544,84	164.268,91	109.609,47	164.091,95	175.782,41	158.182,55	164.567,79

* Koyu yazılmış değerler, Türkiye'deki ikinci iklim bölgesi için TS 825 açısından gerekli konfor koşullarını sağlamamaktadır.

Tablo X. Farklı kabuk alternatiflerinin yaşam dönemi maliyetlerinin, duvar ve çatı arasında yalıtım malzemesi kullanılmamış alternatifle yüzdellik bazda karşılaştırılması

		duvar gövde malzemesi- 19 cm gazbeton								
Duvar yalıtım malzemesi		yalıtımsız	2 cm XPS	3 cm XPS	4 cm XPS	4 cm EPS	5 cm XPS	5 cm taşyünü	5 cm EPS	6 cm XPS
çatı yalıtım malzemesi	yalıtımsız	100,00	88,68	87,77	87,53		87,59	92,34	85,12	87,95
	6 cm camyünü	81,31	70,70	69,98	69,74	49,35	69,90	74,55	67,32	70,28
	8 cm camyünü	81,11	70,54	69,72	69,55		69,74			70,12
	10 cm camyünü	80,93	70,38	69,61	69,43	49,15	69,58	74,27	65,40	70,00
		duvar gövde malzemesi- 19 cm yatay delikli tuğla								
çatı yalıtım malzemesi	yalıtımsız	100,00	84,76	83,31	82,67		82,57	87,27	80,29	82,67
	6 cm camyünü	81,94	67,30	65,99	65,48	43,63	65,38	70,05	63,07	65,57
	8 cm camyünü	81,68	67,11	65,77	65,27		65,19	0,00	0,00	65,41
	10 cm camyünü	81,54	66,99	65,65	65,15	43,47	65,08	69,71	62,73	65,27

Tablo XI. Farklı kabuk alternatiflerinin yaşam dönemi maliyetlerinin en yüksek yaşam dönemi maliyetine sahip alternatifle yüzdellik bazda karşılaştırılması

		duvar gövde malzemesi- 19 cm gazbeton								
Duvar yalıtım malzemesi		yalıtımsız	2 cm XPS	3 cm XPS	4 cm XPS	4 cm EPS	5 cm XPS	5 cm taşyünü	5 cm EPS	6 cm XPS
çatı yalıtım malzemesi	yalıtımsız	96,63	85,70	84,82	84,59		84,64	89,23	82,25	84,99
	6 cm camyünü	78,57	68,32	67,62	67,40	47,68	67,55	72,04	65,06	67,92
	8 cm camyünü	78,38	68,17	67,38	67,21		67,39			67,76
	10 cm camyünü	78,20	68,02	67,26	67,10	47,49	67,24	71,77	63,20	67,64
		duvar gövde malzemesi- 19 cm yatay delikli tuğla								
çatı yalıtım malzemesi	yalıtımsız	100,00	84,76	83,31	82,67		82,57	87,27	80,29	82,67
	6 cm camyünü	81,94	67,30	65,99	65,48	43,63	65,38	70,05	63,07	65,57
	8 cm camyünü	81,68	67,11	65,77	65,27		65,19			65,41
	10 cm camyünü	81,54	66,99	65,65	65,15	43,47	65,08	69,71	62,73	65,27

Literatürde yapılmış olan çalışmalarda, duvar gövde malzemesi olarak tuğla kullanımı durumunda yaşam dönemi maliyetleri üzerinden, optimum yalıtım kalınlıkları ve geri ödeme süreleri belirlenmiştir. Yapılan çalışmada elde edilen verilerin mevcut çalışmalardaki verilerle karşılaştırılabilmesi için, Tablo X'da duvar gövde malzemesi olarak tuğla kullanılan alternatiflerin yaşam dönemi maliyetleri kendi aralarında, gazbeton kullanılan alternatiflerinki kendi aralarında değerlendirilmiştir. Tablo

XI’de ise, bütün kabuk alternatiflerinin yaşam dönemi maliyetleri bir arada değerlendirilmiştir. Çalışmada ele alınan konutun Tablo IV’te belirlenen kabuk alternatifleri açısından hesaplanan yaşam dönemi maliyetleri değerlendirildiğinde, tuğla duvar gövde malzemesi kullanılan alternatifler arasında da, gazbeton duvar gövde malzemesi kullanılan alternatifler arasında da, en düşük yaşam dönemi maliyetine sahip alternatiflerin 5 cm EPS duvar yalıtım malzemesi ile, 10 cm camyünü çatı arası yalıtımı kullanılan alternatifler olduğu görülmüştür. Bunun yanı sıra, 5 cm XPS, taşıyünü ve EPS duvar yalıtımı kullanılan alternatifler birbirleri ile karşılaştırıldığında en düşük yaşam dönemi maliyetine sahip alternatifin EPS duvar yalıtımı kullanılan, en yüksek yaşam dönemi maliyetine sahip alternatifin ise taşıyünü duvar yalıtımı kullanılan alternatifler olduğu çalışma sonucunda elde edilmiştir. Farklı kalınlıklarda XPS duvar yalıtımı kullanılan alternatifler kendi aralarında karşılaştırıldığında ise, tuğla duvar gövde malzemesi kullanılan alternatifler arasında 5 cm XPS duvar yalıtımı, 10 cm camyünü çatı yalıtımı kullanılan alternatif en düşük yaşam dönemi maliyetine sahip olmuştur. Gazbeton duvar gövde malzemesi kullanılan alternatifler arasında da, en düşük yaşam dönemi maliyetine sahip alternatif, 4 cm XPS duvar yalıtımı ve 10 cm camyünü çatı arası yalıtımı kullanılan alternatif olmuştur. Bundan dolayı, yaşam dönemi maliyetlerinin hesaplanmasında, Tablo IV’teki kabuk alternatifleri içinde yer almasına rağmen, duvar yalıtım malzemesi olarak 3 cm ve 4 cm EPS kullanılan alternatifler için de yaşam dönemi maliyetleri hesaplanmıştır. Çünkü duvar yalıtımı olarak EPS kullanımında, daha düşük yaşam dönemi maliyetlerine erişildiği görülmüştür. Tablo XI’de de görüldüğü gibi, Türkiye’nin ikinci iklim bölgesinde TS 825 açısından gerekli konfor koşullarını sağlayan kabuk alternatifleri arasında, gazbeton duvar gövde, 4 cm EPS duvar yalıtım ve 10 cm camyünü çatı arası yalıtım malzemesine sahip alternatif, en düşük yaşam dönemi maliyetine sahiptir. Tuğla duvar gövde, 4 cm EPS duvar yalıtım ve 10 cm camyünü çatı arası yalıtım malzemesine sahip alternatif, değerlendirilen tüm alternatifler arasında en düşük yaşam dönemi maliyetine sahip olmasına rağmen, TS 825 açısından gerekli konfor koşullarını sağlamamaktadır.

5. SONUÇLAR

Konutların kullanıcılar için gerekli konfor koşullarını sağlayarak, minimum enerji tüketecek şekilde üretilmesi ve işletilmesini sağlamanın yollarından biri, bina kabuğu tasarımıdır. Bu amaçla; dış ortama açık bina kabuğunu oluşturan yapı bileşenleri olan duvarda ve/veya çatıda kullanılan yalıtım malzemesinin, yalıtımsız binaya getirdiği bina kabuğu maliyeti artışı ve yıllık ısıtma enerjisi maliyeti tasarrufu; duvar ve çatı yalıtım malzemesi kalınlığının artışının bina kabuğu, ısıtma enerjisi ve yaşam dönemi maliyetlerinde meydana getirdiği değişimler değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak bina kabuğunda kullanılan yalıtım malzemeleri, ısıtma enerjisi maliyetleri üzerinde önemli ölçüde tasarruf sağlamaktadır. Literatürde yapılan çalışmalarda tuğla duvar gövde malzemesi kullanılan duvarlarda optimum yalıtım kalınlıkları ve geri ödeme süreleri belirlenmiştir. İkinci iklim bölgesinde yapılan çalışmalara bakıldığında; bir çalışmada 3,2- 3,8 cm XPS duvar yalıtımı optimum yalıtım kalınlığı olarak belirlenirken, diğer çalışmada 5,3 -12,4 cm XPS duvar yalıtımı optimum yalıtım kalınlığı olarak belirlenmiştir. Taşıyününün duvar yalıtımı olarak kullanıldığı çalışmalarda, optimum kalınlık bir çalışmada 4,7 cm, diğer çalışmada 4,8 cm (ithal kömür için), 8,2 cm (fuel oil için), başka bir çalışmada 3,2 cm (doğal gaz için) olarak belirlenmiştir. Ekspande polistren köpüğün (EPS) duvar yalıtımı olarak kullanıldığı çalışmada ise, 7,6 cm (doğalgaz için) optimum yalıtım kalınlığı olarak bulunmuştur. Yapılan çalışmada ise, tuğla gövde malzemesi kullanılan alternatiflerde 5 cm duvar yalıtımı hem XPS, hem de EPS açısından optimum yalıtım kalınlığı olarak belirlenmiştir. 4 cm EPS duvar yalıtımına sahip alternatifin yaşam dönemi maliyeti, 5 cm yalıtıma sahip olandan daha düşük değere sahip olmasına rağmen TS 825 açısından gerekli konfor koşullarını sağlamamaktadır. Isıtma enerjisi tasarrufu yalıtım kalınlığı artışı ile aynı oranda artmamaktadır. Yalıtım malzemesi kalınlığı arttıkça, yıllık yakıt giderlerindeki tasarruf, yalıtım kalınlığındaki artışa oranla daha az artmaktadır.

Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlardan da görüldüğü gibi, dış ortama açık yapı kabuğu elemanlarından duvarlar; özellikle kat adedi arttıkça, çatıya göre daha fazla alan kaplamaktadır ve daha büyük bir alandan ısı kaybedilmektedir. Dolayısıyla duvarlarda yapılan yalıtımlar, yıllık ısıtma enerjisi ve yaşam dönemi maliyetleri üzerinde çok fazla etkili olmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Aksoy, U.T., Keleşoğlu, Ö. (2007) Bina Kabuğu Yüzey Alanı ve Yalıtım Kalınlığının Isıtma Maliyeti Üzerindeki Etkileri, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(1), 103-109.
2. Anon., (1992) *Kalorifer Tesisatı Proje Hazırlama Teknik Esasları*, TMMOB Makina Mühendisleri Odası Yayınları, 9. Baskı, İstanbul.
3. Aytaç, A., Aksoy, U.T. (2006) Enerji tasarrufu için dış duvarlarda optimum yalıtım kalınlığı ve ısıtma maliyeti ilişkisi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(4), 753-758.
4. Bakos, G.C. (2000) Insulation protection studies for energy saving in residential and tertiary sector, *Energy Buildings*, 31, 251-259.
5. Berköz, E., Küçükdoğu, M.Ş., ve diğ. (1995) *Enerji Etkin Konut ve Yerleşme Tasarımı*, Ankara, TÜBİTAK-INTAG 201, Araştırma Raporu.
6. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, (2009) *2009 Yılı İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları*, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Yüksek Fen Kurulu Başkanlığı, Sayı:20, Ankara.
7. Bolattürk, A. (2008) 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.
8. 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, 1301-1309.
9. Cengel, Y.A. (1998) *Heat Transfer: A Practical Approach*, McGraw Hill, Highstown.
10. Chwieduk, D. (2003) Towards sustainable-energy buildings, *Applied Energy*, 76, 211-217.
11. Çomaklı, K., Yüksel, B. (2003) Optimum insulation thickness of external walls for energy saving, *Applied Thermal Engineering*, 23(4), 473-479.
12. Dombaycı, Ö.A., Gölcü, M., Pancar, Y. (2006) Optimization of insulation thickness for external walls using different energy-sources, *Applied Energy*, 83(9), 921-928.
13. Environment 2010: Our Future, Our Choice A Sixth Environment Action Programme of the European Community 2001-2010. (http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/6eapbooklet_en.pdf)
14. Gölcü, M., Dombaycı, Ö.A., Abalı, S. (2006) Denizli için optimum yalıtım kalınlığının enerji tasarrufuna etkisi ve sonuçları, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(4), 639-644.
15. Isı, Su, Ses ve Yangın Yalıtımcıları Derneği (İZODER) web sitesi, <http://www.izoder.org.tr>.
16. Karagöz, N. (2004) *Konutlarda Çift Duvar Arası Isı Yalıtım Uygulamalarının İncelenmesi ve Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
17. Kaynaklı, O. (2008) A study on residential heating energy requirement and optimum insulation thickness, *Renewable Energy*, 33(6), 1164-1172.
18. Kaynaklı, O., Yamankaradeniz, R. (2007) Isıtma Süreci ve Optimum Yalıtım Kalınlığı Hesabı, *VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 187-195.
19. Kaynaklı, O., Yamankaradeniz, R. (2007) Isıtma Süreci ve Optimum Yalıtım Kalınlığı Hesabı, *TMMOB Makina Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 104, 22-28. (<http://www.mmo.istanbul.org/yayin/tesisat/104/3>)
20. Manioğlu, G., (2002) Isıtma Enerjisi Ekonomisi ve Yaşam Dönemi Maliyeti, *Yayınlanmamış*
21. *Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.*
22. Özel, M., Pıhtılı, K. (2005) Bina Duvarlarına Uygulanan Yalıtımın Farklı Konumlarının Isı Kazanç ve Kayıplarına Olan Etkisinin Araştırılması, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 7(1), 87-97.
23. Sezer, F.Ş. (2005) Türkiye’de Isı Yalıtımının Gelişimi ve Konutlarda Uygulanan Dış Duvar Isı Yalıtım Sistemleri, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 10(2), 79-85.
24. Şişman, N., Kahya, E., Aras, N., Aras, H. (2007) Determination of optimum insulation thicknesses of the external walls and roof (ceiling) for Turkey’s different degree-day regions, *Energy Policy*, 35(10), 5151-5155.
25. Türk Standardı (TS 825) (2008), Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, Ankara.
26. Yılmaz, Z. (2006), Akıllı Binalar ve Yenilenebilir Enerji, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 91, 7-15.