

ENERJİ ETKİN KONUT YENİLEMELERİNDE ENERJİ TÜKETİMİ VE YAŞAM DÖNEMİ MALİYETLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ: İSTANBUL ÖRNEĞİ

İkbal ÇETİNER
Buket METİN

ÖZET

Çevresel problemlerin artışında binalardaki enerji tüketimi önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle mevcut konut stoku bu tüketimde büyük bir paya sahiptir. Ülkemizde mevcut konut binalarının enerji etkinliği arttıracak önlemlere sahip olmaması, mekan ısıtması amaçlı doğal gaz enerjisi tüketiminin ve bunun sonucunda açığa çıkan çevresel etkilerin artmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle yeni konutların enerji etkin tasarlanması ve inşa edilmesinin yanı sıra, mevcut konut stokunun enerji kullanımını azaltmak üzere iyileştirilmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda, bina elemanı ölçeğinde yapılan yenilemelerden ısı yalıtımı uygulaması ve pencere sistemi değiştirilmesi, mekan ısıtması amaçlı enerji kullanımının ve yaşam dönemi maliyetlerinin azaltılmasını amaçlamaktadır.

Bu çalışmada, TÜBİTAK tarafından desteklenen “İstanbul’daki Mevcut Konut Stokunun Bina Elemanları Ölçeğinde Kullanım Süreci Çevresel ve Ekonomik Sürdürülebilirliğinin Değerlendirilmesi ve İyileştirme Önerileri Geliştirilmesi” projesi kapsamında; İstanbul’daki mevcut konut stokunu enerji etkin iyileştirmek üzere öngörülen uygulamalar sonucunda enerji tüketiminin ve yaşam dönemi maliyetlerinin değerlendirilmesi yapılmaktadır. İlk olarak İstanbul’da seçilen bölgelerde yapılan alan ve belediye çalışmaları ile çalışmada kullanılacak parametreler ve mevcut konut stokunu en iyi temsil edeceği düşünülen bina tipleri belirlenmiştir. Çalışma kapsamında kullanılacak parametreler; saydamlık oranı, yönlenme, bina yaşı ile, pencere sistemi, bina elemanı ve yalıtım malzemesi tipi olarak belirlenmiştir. Mevcut konutların enerji etkin yenilenmesi için ısı kaybının gerçekleştiği bina elemanlarının yenilenmesi öngörülmüştür. Dış duvar, altı açık ve altı ısıtılmayan döşemeler ile çatı döşemesinin yalıtılması ve pencere sisteminin yenilenmesi için kullanılan malzemelere ve uygulama süreçlerine ilişkin maliyetler, üretici firmalarla yapılan görüşmelerle belirlenmiştir. Daha sonra her bir bina tipi için, öngörülen uygulamaları değerlendirmek üzere seçenekler oluşturulmuş ve EnergyPlus bina enerji benzetim programı kullanılarak doğal gaz enerjisi tüketim miktarları hesaplanmıştır. Yaşam dönemi maliyetinin farklı seçeneklere göre gösterdiği değişimi analiz etmek üzere, yaşam dönemi maliyet analizi tekniğinden yararlanılmıştır. Son olarak, seçeneklerin parametrelere bağlı olarak enerji tüketim miktarları ve yaşam dönemi maliyetleri karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Konut binası, enerji etkin yenileme, enerji tüketimi, yaşam dönemi maliyeti, benzetim.

ABSTRACT

Buildings have an important role in increase of environmental problems through energy consumption. Especially, existing building stocks have an important share on this consumption. In Turkey, existing building stocks do not have energy efficient solutions. Because of this, natural gas consumption used for heating energy and environmental impacts related to this consumption increase. Therefore, not only design and construction of new buildings by using energy efficient solutions, but also renovation of existing building stocks to reduce energy consumption is necessary. For this purpose, renovation of

building elements by applying heating insulation and renovating the window systems aim to reduce energy consumption used for heating energy and life cycle costs.

In this study, in the context of a research project named “Assessment of Post Construction Period Environmental and Economic Sustainability of Existing Residential Building Stock in Istanbul in the Scale of Building Elements and Developing Renovation Proposals”, which is supported by Scientific and Technological Research Council of Turkey, affects of proposed applications used for renovating existing residential building stock energy efficiently in Istanbul on energy consumption and life cycle cost were assessed. Firstly, case and municipality studies were conducted in the selected areas of Istanbul and parameters used in the study and building types representing the existing residential building stock were designated. Parameters were designated as window to wall ratio, direction, building age and, window system, building element and insulation material type. Renovation of building elements which cause heat loss was proposed to renovate existing residential buildings energy efficiently. Costs related to materials and applications used for insulating exterior walls, roof floors and open floors and renovating window systems were determined by the help of interviews conducted with the firms. Then, alternatives were constituted for each of the building types to assess the proposed applications and natural gas energy consumptions were calculated by using EnergyPlus building energy simulation program. Life cycle cost analysis method was used to analyze the change of life cycle costs according to different alternatives. Consequently, energy consumptions and life cycle costs of alternatives were compared and assessed according to the parameters.

Key Words: Residential building, energy efficient renovation, energy consumption, life cycle cost, simulation.

1. GİRİŞ

Çevresel problemlerin artışı ile birlikte küresel ölçekte önlemler alınması gerekliliği ile karşı karşıya kalınmıştır. Enerji kullanımı ve kaynakların tüketilmesi ile çevre üzerinde önemli etkilere sahip sektörler, gerekli önlemlerin alınması amacı ile çalışmalara ve araştırmalara başlamıştır. Yapı endüstrisinin ekonomiye katkısının payı, güçlü çevresel ve sosyal etkilere sahip olması; sürdürülebilir gelişme ile ilişkisinin önemini belirgin hale getirmektedir [1]. Sürdürülebilir gelişmenin gelişen sosyal, ekonomik ve çevresel göstergeleri, hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde yüksek derecede aktif ve küresel olarak gelişmekte olan yapı endüstrisine dikkatleri çekmektedir [2]. Yapı endüstrisi, bina yapım ve kullanımı açısından doğal kaynakların aşırı tüketiminden çevre kirliliğine kadar uzanan çevresel problemlere sebep olmaktadır [3]. Yapılar, enerji kullanımının %50’si, hammadde kullanımının %40’ı, ozon tabakasına zararlı kimyasal kullanımının %50’si, tarım alanları kayıplarının %80’i ve su kullanımının %50’sine sebep olmakla önemli çevresel etkilere sahiptir [4]. Özellikle de kullanım sürecinde ısıtma enerjisi elde etmek amacı ile harcanan enerji miktarı ve buna bağlı olarak ortaya çıkan çevresel etkiler üzerinde önemli pay sahibidir. Ekonomik İşbirliği ve Gelişme Organizasyonu (OECD: The Organisation for Economic Co-operation and Development) verilerine göre, yapı sektörünün enerji tüketimi, toplam enerji tüketiminin %25 ile %40’ı arasında gerçekleşmektedir [5].

Türkiye’de, konutlar, mevcut yapı stokunun %86’sını oluşturmaktadır [6]. Mevcut konutların büyük çoğunluğunun ısı yalıtımına sahip olmaması, konutların enerji tüketimindeki payını yükseltmektedir. Bu nedenle yeni konutların enerji etkin tasarlanması ve inşa edilmesinin yanı sıra, mevcut konut stokunun enerji kullanımını azaltmak üzere iyileştirilmesi gerekmektedir. Uluslararası düzeyde sürdürülebilirlik bağlamında yapılmış yenileme çalışmalarını araştıran birçok araştırma vardır. Sitar ve Krajnc, Slovenya’daki konut binalarının yenilenmesi amacı ile yaptıkları çalışmada, ısı yalıtımı uygulaması ile pencere ve kapıların yenilenmesini ve gölgeleme elemanı kullanımını önermektedirler. İki farklı gölgeleme elemanı kullanımı ile oluşturulan yenileme önerileri ile mevcut durumu karşılaştırarak enerji tüketiminin %72-78 oranında azaldığı sonucuna varmışlardır [7]. Sunikka, Hollanda’da bulunan beş katlı bir konut için gaz ve elektrikten tasarruf etmeye, CO₂ emisyonunu azaltmaya ve geri ödeme süresini kısaltmaya yönelik etkin yenileme çözümlerini araştırmıştır. Çalışmada, ısı yalıtımı uygulaması yapılan ve pencere sistemi yenilenen çözüm önerisinde, toplam gaz tüketiminde % 44 oranında

azalma sağlanacağı ve bu çözümün CO₂ emisyonunun azaltılması için en maliyet etkin çözüm önerisi olduğu sonucuna varılmıştır [8]. Erlandsson ve diğerleri, üç katlı bir konut binasının yenilenmesinde kullanılan ısı yalıtımı malzemelerinin üretim ve taşıma süreçlerinde oluşan emisyonlar ile ısı yalıtımı yapılması ile azalan ısıtma enerjisi tüketimine bağlı emisyon miktarını karşılaştıran bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada, araştırılan ısı yalıtım malzemelerinden cam yününün üretim ve taşıma süreçlerinde oluşan emisyonların, tasarruf ile azalan emisyonlara oranla oldukça düşük değerde oldukları belirlenmiştir [9].

Yapılacak yenilemelerin çevresel sürdürülebilirliğe katkısı kadar, ekonomik anlamda da sürdürülebilir olması önem kazanmaktadır. Enerji kaynaklarının etkin kullanıldığı, çevreye daha az zararlı yapılar oluşturmak üzere yapılan yenilemelerin maliyet analizlerinin yapılması gerekmektedir. Uluslararası düzeyde yenileme çalışmalarını ekonomik sürdürülebilirlik bağlamında araştıran birçok araştırma vardır. Wang, Huang ve Heng çalışmalarında, soğuk iklim bölgesindeki konut binalarının dış duvarlarına ısı yalıtımı uygulaması yapılmasının maliyet etkinliğini hesaplamışlardır [10]. Çetiner ve Edis, binaların enerji etkin yenilenmesinde kullanılacak dış duvar, zemine oturan döşeme, çatı ve merdiven duvarlarına yapılan ısı yalıtımı uygulamaları ile pencere sisteminin yenilenmesi sonucu oluşan maliyetlerin geri ödeme sürelerini hesaplamışlardır [11]. Halwatura ve Jayasinghe, tropik iklim bölgelerinde ısı yalıtımı uygulanmış çatı döşemelerinin havalandırılmış mekanlar üzerindeki etkisinin yaşam dönemi maliyetini hesaplamışlardır [12].

Çevresel problemlerin ciddiyetinin ve sürdürülebilirliğin sağlanmasının öneminin anlaşılması ile Türkiye’de de gerekli çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. ‘Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği’nin 2000 yılında yürürlüğe girmesi ile ‘TS 825 Isı Yalıtım Kuralları’ standardına uyulması zorunlu hale getirilmiştir [13]. ‘Binalarda Enerji Performansı (BEP) Yönetmeliği’nin 2008 yılında yürürlüğe girmesi ile mevcut yapıların enerji etkin iyileştirilmesi konusunda önemli zorunluluklar getirilmiştir [14]. Bu nedenle ülkemizdeki mevcut konut stokunun çevresel ve ekonomik sürdürülebilirliği sağlamak adına enerji etkin iyileştirilmesi için yapılacak çalışmalar önem kazanmaktadır. Bu doğrultuda geliştirilecek önerilerin çevresel sürdürülebilirliğe olan katkıları kadar, maliyetleri de kullanıcılar açısından önem taşımaktadır. Bu kapsamda, ‘İstanbul’daki Mevcut Konut Stokunun Bina Elemanları Ölçeğinde Kullanım Süreci Çevresel ve Ekonomik Sürdürülebilirliğinin Değerlendirilmesi ve İyileştirme Önerileri Geliştirilmesi’ isimli TÜBİTAK tarafından desteklenen bir araştırma projesi yürütülmektedir. Bu projenin bir bölümünü oluşturan bildiri kapsamında; İstanbul’daki mevcut konut stokunu bina elemanı ölçeğinde enerji etkin iyileştirmek üzere öngörülen uygulamalar açıklanmakta ve oluşturulan yenileme seçeneklerinin etki eden parametrelere bağlı olarak enerji tüketimlerinin ve yaşam dönemi maliyetlerinin değerlendirilmesi yapılmaktadır.

2. YÖNTEM

Çalışma kapsamında İstanbul’daki mevcut konut stokunu enerji etkin iyileştirmek üzere öngörülen uygulamaların, enerji tüketimi ve yaşam dönemi maliyetleri üzerindeki etkisi değerlendirilmektedir. Oluşturulan seçenekler için, enerji tüketiminin değerlendirilmesi için EnergyPlus benzetim programı kullanılarak ısıtma enerjisi tüketim miktarları ve yaşam dönemi maliyetlerinin değerlendirilmesi için yaşam dönemi maliyeti analizi tekniği kullanılarak maliyetler hesaplanmıştır.

Enerji tüketim miktarlarının hesaplanmasında kullanılan EnergyPlus benzetim programı, Amerika Birleşik Devletleri Enerji Birimi tarafından (DOE) geliştirilen bir programdır. BLAST (Building Loads Analysis and System Thermodynamics) ve DOE-2 programlarının çalışma prensipleri esas alınarak geliştirilen EnergyPlus, binalar için enerji analizi ve ısı yükü hesapları yapan bir benzetim programıdır. Program; kullanıcısı tarafından tanımlanan bina çevresine (iklimsel özellikler, çevre binalar, vb), binaya (yönlenme, boyutsal özellikler, vb), ve bina elemanlarına (katmanlaşma ve kullanılan malzemeler, vb.) göre, ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimlerini hesaplamaktadır [15].

Yaşam dönemi maliyetlerinin hesaplanması ile yapılan ekonomik sürdürülebilirlik analizi; mevcut durumun ve iyileştirme amacıyla bina elemanı düzeyinde yapılabilecek yenileme uygulamalarının ekonomik etkilerini belirlemeyi amaçlamaktadır. Bu amaçla üretim, yapım, kullanım, bakım/onarım,

yenileme, yok olma ve geri dönüşüm süreçlerini içeren bina yaşam döneminin birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu süreçte gerçekleşen tüm maliyetler yaşam dönemi maliyeti olarak tanımlanmaktadır [16]. Yaşam dönemi maliyetinin farklı seçeneklere göre gösterdiği değişimi analiz etmek üzere yaşam dönemi maliyet analizi tekniği geliştirilmiştir. Bu analiz yöntemine göre, şimdiki ve gelecekteki maliyetler kabul edilen bir sabit yıldaki değerlere dönüştürülmektedir. Bir diğer deyişle, paranın zaman değeri dikkate alınarak gelecekteki maliyetler daha düşük miktardaki şimdiki değerlere indirgenmektedir [17]. Böylelikle gelecekte yapılacak bir ödemenin bugünkü değerini, bugün yapılacak bir ödemenin gelecekteki değerini ya da her yıl tekrar eden ödemelerin bugünkü değerini bulmak mümkün olmaktadır. Dönüştürme için faiz oranı (interest rate) olarak da bilinen indirim oranı (discount rate) değeri kullanılabilir. Amerika Enerji Departmanı'nın Enerji Yönetimi ve Planlama Programı'na (Federal Energy Management and Planning Programs of Department of Energy) göre; gerçek indirim oranı, sabit dolar analizi yaklaşımı ile hazine bonolarının 12 aylık ortalamasından uzun vadeli enflasyon oranı ortalamasını çıkartarak bulunabilmektedir [18]. Hesap için; 2010 yılı TÜFE(Tüketici Fiyatları Endeksi) verilerine göre yıllık enflasyon oranı ortalaması %9.26 [19] ve Hazine Müsteşarlığı son 5 yıllık hazine bonusu ortalaması %15.97 olarak belirlenmiştir [20]. Böylelikle dönüştürmede kullanılacak gerçek indirim oranı %6.71 olarak hesaplanmıştır.

3. UYGULAMA

Proje kapsamında, enerji etkin konut yenilemelerinin enerji tüketimi ve yaşam dönemi maliyetlerini değerlendirmek üzere, parametreler, bina tipleri ve yapılması öngörülen bakım/onarım ve yenilemeler belirlenmekte ve bunlar doğrultusunda seçenekler oluşturulmaktadır.

3.1. Parametrelerin Belirlenmesi

Binaların enerji tüketimi ve yaşam dönemi maliyetlerini değerlendiren çalışmalarda farklı ölçeklerde bina çevresine, binaya ve bina elemanlarına ilişkin farklı parametreler kullanılmaktadır. Sekhar ve Toon, akıllı pencerelerin enerji performansı ve yaşam dönemi maliyetlerini değerlendiren çalışmalarında, soğutma enerjisi, güneş ışığı kazanımı, soğutma yükü ve enerji tüketimi ile gölgeleme katsayısının karşılaştırılması gibi parametreler kullanmışlardır [21]. Yu ve diğerleri, Çin'deki konut binalarının kabuklarının yaz ve kış mevsimlerindeki enerji ve ısı performanslarını değerlendiren çalışmalarında ısıtma ve soğutma sistemleri, iç hava koşulları, saatlik hava verileri gibi parametreler kullanmışlardır [22]. Erlandsson ve Levin, yenilemenin çevresel etkilerini olası performans gelişimlerini ulusal ölçekte değerlendirdikleri çalışmalarında, enerji kullanımı, enerji korunumu, atık su korunumu, çevresel performans gibi parametreler kullanmışlardır. Bu çalışmada, öngörülen yenilemelerin bina elemanı ölçeğinde enerji tüketimi ve yaşam dönemi maliyetlerini değerlendirmek için kullanılacak parametreler; saydamlık oranı, yönlenme, bina yaşı ile pencere sistemi, bina elemanı ve yalıtım malzemesi tipi olarak belirlenmiştir.

3.2. Bina Tiplerinin Belirlenmesi

Çalışmada kullanılacak bina tiplerinin belirlenmesi için İstanbul'daki mevcut konut stokunu en iyi temsil edebilecek konut tipleri analiz edilmiştir. Bu amaçla yapılan çalışmalar, konut yerleşim alanlarında yerinde tespit yapılması ve ilgili belediyelerde projelerin incelenmesi olmak üzere iki aşamalı olarak yürütülmüştür. Alan ve belediye çalışmalarının yürütüleceği mevcut konut alanlarının seçiminde ısıtma sistemi tipi, yerleşim düzeni, dış duvar yalıtımı, bina yaşı ve kat sayısı gibi ölçütler dikkate alınmıştır. Bu ölçütlerin seçim nedenleri aşağıda açıklanmaktadır:

- Bireysel ısıtma sistemi bulunan bir blokta, hem iç ortam konfor sıcaklığını hem de mutfak, banyo vb. alanlarda sıcak suyu sağlamak amacıyla tüketilen doğal gaz kullanım miktarı kullanıcıya bağlı olarak değişeceği için, mekan ısıtması amaçlı doğal gaz enerjisi tüketimi doğru olarak belirlenmemektedir. Merkezi ısıtma sistemi bulunan bloklarda ise, ısıtma

kazanına gelen doğal gaz miktarı kesin olarak belirlenebildiği için merkezi sistemli binaların analiz edilmesine karar verilmiştir.

- Gayrimenkul alım-satım ve kiralanmasına ilişkin internet sitelerinde yapılan incelemelere göre, bitişik nizamlı yapılarda bireysel ısıtmanın tercih edilmesi nedeniyle çalışmada ayrı nizamlı binaların incelenmesine karar verilmiştir.
- 08.05.2000 tarihinde yayınlanarak yürürlüğe giren 'Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği' ile 'TS 825 Isı Yalıtım Kuralları' standardına uyulması zorunlu hale getirilmiştir [13]. Bu nedenle 2000 tarihli yönetmeliğin yayınlanmasından sonra inşa edilen konut binalarında ısı yalıtımı uygulandığı veya duvar kalınlığı artırılarak gerekli ısı geçirgenlik direncinin sağlandığı düşünüldükçe, 2000 tarihinden sonra inşa edilen binalar çalışma kapsamına alınmamıştır.
- Yapılan alan çalışmaları bazı bölgelerde 30 yaş üstü binaya rastlanmamıştır. Daha yaşlı binaların bulunduğu bazı bölgelerde ise merkezi ısıtma sistemi bulunmadığı görülmüştür. Diğer taraftan 2000 tarihli yönetmeliğin yayınlanmasında sonra inşa edilen binalar çalışma kapsamına alınmamıştır. Böylelikle incelenmek üzere 15-30 yaş arası binalar seçilmiştir.
- Türkiye İstatistik Yıllığı'na göre, İstanbul'daki konutların büyük oranda 3-5 katlı binalar olduğu, 6 ve üzeri katlı binalar ile 2 kat altı binaların ise daha düşük oranda oldukları görülmektedir [23]. Bu nedenle ağırlıklı olarak 3-5 katlı binaların olduğu konut yerleşim alanları seçilmiştir.

Belirlenen ölçütler dikkate alınarak, İstanbul'da seçilen konut bölgelerinde ve ilgili bölgelerin belediyelerinde yapılan çalışmalarda; gözlem, ölçme ve anket teknikleri ile veri tespit formlarının doldurulması, dijital kamera ve çizim teknikleri ile görsel olarak belgeleme yöntemleri kullanılarak bina tipleri için gerekli veriler toplanmıştır. Elde edilen veriler dikkate alınarak proje kapsamında 4 tip bina belirlenmiştir. Bildiri kapsamında bu tiplerden dikdörtgen, her katında iki daire bulunan, 11x21 m plan boyutlarına sahip, zemin+4 kattan oluşan A1 ve A2 binaları değerlendirilmek üzere seçilmiştir. A1 binası kuzey-güney, A2 binası ise doğu-batı doğrultusunda yönlendirilmiştir.

3.3. Öngörülen Yenilemeler

Çalışma kapsamında, mevcut konutların enerji ve maliyet etkin iyileştirilmesi için 'TS 825 Isı Yalıtım Kuralları'na uygun olarak ısı kaybının gerçekleştiği bina elemanlarının yalıtılması ve pencere sisteminin ısı yalıtımlı özelliklere sahip doğrama ve cam bileşenleri ile değiştirilmesi öngörülmüştür. Bu amaçla, ısı yalıtımı ve pencere sistemi malzeme üreticisi ve uygulayıcı firmalarla yapılan görüşmeler sonucunda; mevcut konut binalarının yenilenmesinde kullanılan uygulamalara ve maliyetlerine ilişkin veriler elde edilmiştir. Proje kapsamında; bina elemanına göre kullanılacak malzeme ve özelliklerine, bakım/onarım/yenileme gerektiren durumlara ve maliyet hesaplamalarına ilişkin aşağıda açıklanan kabuller yapılmıştır:

- Isı yalıtımı uygulamasının; dış duvar, altı açık ve altı ısıtılmayan döşeme ile çatı döşemesinde gerçekleştirileceği öngörülmüştür. Dış duvar, altı açık ve altı ısıtılmayan döşemede çekme polistren (XPS), genişletilmiş polistren (EPS) ve taş yünü (TSY); çatı döşemesinde ise camyünü (CMY) ısı yalıtım malzemeleri kullanılmasına karar verilmiştir. Yenilemelerde kullanılmak üzere seçilen malzemeler ve fiziksel özellikleri Tablo 1'de özetlenmiştir.
- Dış duvar, altı açık ve altı ısıtılmayan döşemede yapıştırma ve mekanik tespit yöntemi; çatı döşemesinde ise serme yöntemi kullanımı öngörülmüştür.

Tablo 1. Bina Elemanlarına Göre Isı Yalıtımı Uygulaması İçin Önerilen Malzemeler ve Fiziksel Özellikleri.

Isı Yalıtımı Bina Elemanı	Çekme Polistren (XPS)	Genleştirilmiş Polistren (EPS)	Taş Yünü	Camyünü
Dış Duvar ve Altı Açık Döşeme	d: 5 cm λ : 0.030 W/m ² K μ : 30 kg/m ³	d: 5 cm λ : 0.035 W/m ² K μ : 16 kg/m ³	d: 5 cm λ : 0.035 W/m ² K μ : 150 kg/m ³	----
Altı Isıtılmayan Döşemeler	d: 4 cm λ : 0.030 W/m ² K μ : 30 kg/m ³	d: 4 cm λ : 0.035 W/m ² K μ : 16 kg/m ³	d: 4 cm λ : 0.035 W/m ² K μ : 150 kg/m ³	----
Çatı Döşemesi	----	----	----	d: 6 cm λ : 0.035 W/m ² K μ : 18 kg/m ³
Kisaltmalar	d: Kalınlık	λ : Isı geçirgenlik katsayısı	μ : Yoğunluk	

- Pencere sisteminin yenilenmesi uygulamasında; mevcut tek cam-ahşap doğrama pencere sisteminin, çift cam-ahşap doğrama veya çift cam-PVC doğrama pencere sistemi ile değiştirileceği öngörülmüştür. Uygulama için seçilen malzemeler ve fiziksel özellikleri Tablo 2'de özetlenmiştir.

Tablo 2. Pencere Sisteminin Yenilenmesi İçin Öngörülen Malzemeler ve Fiziksel Özellikleri.

Bileşenler Malzeme	Doğrama	Cam
Ahşap	Ağaç türü: Çam λ : 0.13 W/m ² K	6+12+6 mm cam ünitesi λ : 2.8 W/m ² K Boşluk gazı: Hava
PVC	Profil türü: 60/110mm - çift EPDM contalı λ : 1.8 W/m ² K	6+12+6 mm çift cam ünitesi λ : 2.8 W/m ² K Boşluk gazı: Hava
Kisaltmalar	λ : Isı geçirgenlik katsayısı	

- Mevcut durum ve önerilecek yenileme seçeneklerinin yaşam dönemi maliyetleri; mevcut durum için kullanım maliyeti ile, yenilemeler için ise yapılacak uygulamanın üretim, yapım ve kullanım süreçlerindeki toplam maliyeti ile ifade edilmektedir. Çalışmada; fabrikalardan veri elde edilemediği için üretim ve geri dönüşüm sürecine ilişkin maliyetler ihmal edilmiştir. Hesaplamalar uygulayıcı firma birim maliyet verileri dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.
- Yapım sürecine ilişkin maliyetlerin; uygulama maliyetinden ve oluşan atıkların kamyonla belediye atık alanına taşınması için harcanan enerji maliyetinden oluştuğu kabul edilmiştir. Bu doğrultuda, ısı yalıtımı ve pencere sistemi yenilenmesi uygulamalarının maliyetleri; malzeme ve işçilik maliyetlerini, kullanılan elektrikli aletler için harcanan enerji maliyetini, uygulama için gerekli su maliyetini ve malzemelerin uygulama alanına taşınması için harcanan enerji maliyetini içermektedir. Atık taşıma için harcanan enerji maliyeti ise; seçenekler için belirlenen atık miktarına bağlı olarak seçilen bir kamyonun, ortalama 50 km. uzaklıktaki bir atık alanına gittiği varsayılarak hesaplanmıştır.
- Kullanım sürecine ilişkin maliyetlerin; binanın yaşam dönemi boyunca tüketilen mekan ısıtması amaçlı doğal gaz enerjisi maliyetinden ve belli dönemlerde gerçekleştirilecek bakım/onarım maliyetlerinden oluştuğu kabul edilmiştir. Doğal gaz enerjisi maliyetleri birim enerji maliyetleri dikkate alınarak tüm seçenekler için hesaplanmıştır.
- Bakım/onarım maliyetlerinin ise; bina yaşam döneminin 50 yıl olduğu kabul edilerek 15, 20, 25 ve 30 yaşlarındaki binalarda belli aralıklarla gerçekleştirilecek iyileştirme maliyetlerinden oluştuğu kabul edilmiştir. Buna göre; 15 yaşındaki bina için, kalan bina ömrü içinde 3 kere dış cephenin boyanması, 3 kere ahşap doğramanın cilalanması ve 1 kere PVC doğramanın değiştirilmesi; 20 ve 25 yaşlarındaki binalar için 2 kere dış cephenin boyanması, 2 kere ahşap doğramanın cilalanması; 30 yaşındaki bina için 1 kere dış cephenin boyanması, 1 kere ahşap doğramanın cilalanması öngörülmüştür.

3.4. Seçeneklerin Oluşturulması

Tablo 3. Tip Seçeneklerin Enerji Tüketimi ve Yaşam Dönemi Maliyetleri.

SEÇENEKLER		BİNA YAŞI							
		15		20		25		30	
		Enerji Tüketimi (kWh/m ²)	Yaşam Dönemi Maliyeti (TL/Yıl)	Enerji Tüketimi (kWh/m ²)	Yaşam Dönemi Maliyeti (TL/Yıl)	Enerji Tüketimi (kWh/m ²)	Yaşam Dönemi Maliyeti (TL/Yıl)	Enerji Tüketimi (kWh/m ²)	Yaşam Dönemi Maliyeti (TL/Yıl)
Saydamlık Oranı	A1-T-10-PC	6423,13	245353,41	5505,54	206469,83	4587,95	194997,21	3670,36	165719,66
	A1-T-XPS-DD-10-PC	3552,27	193507,16	3044,80	158324,22	2537,33	151969,60	2029,87	129770,25
	A1-T-EPS-DD-10-PC	3682,14	195740,69	3156,12	160391,36	2630,10	153806,62	2104,08	131289,01
	A1-T-TSY-DD-10-PC	3681,23	218035,82	3155,34	182687,65	2629,45	176104,51	2103,56	153589,11
	A1-T-20-PC	6169,63	251331,83	5288,25	197103,56	4406,88	186080,14	3525,50	158589,98
	A1-T-XPS-DD-20-PC	3781,32	210740,80	3241,13	159594,91	2700,94	152834,42	2160,75	131239,87
	A1-T-EPS-DD-20-PC	3883,28	212297,71	3328,52	161021,19	2773,77	154080,03	2219,01	132235,63
	A1-T-TSY-DD-20-PC	3882,94	232668,45	3328,23	181392,35	2773,53	174451,79	2218,82	152608,21
	A1-T-30-PC	5952,24	258631,91	5101,92	188921,57	4251,60	178283,37	3401,28	152400,96
	A1-T-XPS-DD-30-PC	4055,91	229784,99	3476,50	162526,67	2897,08	155279,60	2317,67	134087,14
	A1-T-EPS-DD-30-PC	4136,22	230836,46	3545,33	163475,26	2954,44	156085,90	2363,55	134696,64
	A1-T-TSY-DD-30-PC	4136,83	249445,50	3545,86	182083,51	2954,88	174693,05	2363,90	153302,29
Yönlendirme	A1-T-20-PC	6169,63	251331,83	5288,25	197103,56	4406,88	186080,14	3525,50	158589,98
	A1-T-XPS-DD-20-PC	3781,32	210740,80	3241,13	159594,91	2700,94	152834,42	2160,75	131239,87
	A1-T-EPS-DD-20-PC	3883,28	212297,71	3328,52	161021,19	2773,77	154080,03	2219,01	132235,63
	A1-T-TSY-DD-20-PC	3882,94	232668,45	3328,23	181392,35	2773,53	174451,79	2218,82	152608,21
	A2-T-20-PC	6590,68	263554,25	5649,16	208786,51	4707,63	197017,00	3766,10	168494,99
	A2-T-XPS-DD-20-PC	4167,86	221961,38	3572,45	170320,24	2977,04	162874,81	2381,63	140333,00
	A2-T-EPS-DD-20-PC	4276,59	223714,86	3665,65	171934,41	3054,71	164296,32	2443,76	141488,05
A2-T-TSY-DD-20-PC	4277,22	244113,69	3666,19	192332,43	3055,16	184693,21	2444,13	161883,40	
Bina Yaşı	A1-T-TSY-TY-20-AC	2816,80	422307,31	2414,40	360562,17	2012,00	355510,77	1771,51	290432,04
	A1-T-TSY-TY-20-PC	2833,27	263922,63	2428,52	213991,43	2023,77	208910,84	1785,53	189639,61
Pencere Sistemi	A1-T-10-AT	6902,72	321568,44	5916,62	272757,36	4930,51	260434,93	3944,41	203491,86
	A1-T-10-AC	6425,76	352567,86	5507,79	304367,89	4589,83	292890,62	3671,86	237116,40
	A1-T-10-PC	6423,13	262532,07	5505,54	223648,49	4587,95	212175,87	3670,36	182898,33
	A1-T-20-AT	7118,38	382403,08	6101,47	315124,19	5084,55	302419,62	4067,64	226756,55
	A1-T-20-AC	6177,14	444428,43	5294,69	378355,50	4412,24	367318,78	3529,79	293962,34
	A1-T-20-PC	6169,63	285347,55	5288,25	231119,28	4406,88	220095,87	3525,50	192605,70
	A1-T-30-AT	7386,16	453455,23	6331,00	364740,31	5275,83	351561,23	4220,66	254148,99
	A1-T-30-AC	5961,00	545936,26	5109,43	459047,32	4257,86	448393,59	3406,28	354473,90
	A1-T-30-PC	5952,24	309484,69	5101,92	239774,36	4251,60	229136,15	3401,28	203253,74
Bina Elemanı	A1-T-20-PC	6169,63	251331,83	5288,25	197103,56	4406,88	186080,14	3525,50	158589,98
	A1-T-XPS-DD-20-PC	3781,32	210740,80	3241,13	159594,91	2700,94	152834,42	2160,75	131239,87
	A1-T-EPS-DD-20-PC	3883,28	212297,71	3328,52	161021,19	2773,77	154080,03	2219,01	132235,63
	A1-T-TSY-DD-20-PC	3882,94	232668,45	3328,23	181392,35	2773,53	174451,79	2218,82	152608,21
	A1-T-CMY-CD-20-PC	5397,39	230827,43	4626,33	177588,60	3855,28	167933,57	3084,22	142335,88
	A1-T-XPS-ID-20-PC	5968,40	251822,04	5115,77	197851,59	4263,15	187184,74	3410,52	160187,70
	A1-T-EPS-ID-20-PC	5979,06	251840,79	5124,91	197856,68	4270,76	187170,94	3416,61	160147,77
	A1-T-TSY-ID-20-PC	5983,71	256199,32	5128,89	202209,27	4274,08	191515,29	3419,26	164480,74
	A1-T-TY1-20-PC	2667,22	261100,25	2286,19	211381,80	1905,16	206595,46	1524,12	187731,16
	A1-T-TY2-20-PC	2792,72	262704,70	2393,76	212825,46	1994,80	207816,74	1595,84	188644,90
	A1-T-TY3-20-PC	2791,99	292301,80	2393,13	242423,49	1994,28	237416,06	1595,42	218246,01
Toplam Yalıtım	A1-T-20-PC	6169,63	251331,83	5288,25	197103,56	4406,88	186080,14	3525,50	158589,98
	A1-T-TY1-20-PC	2667,22	261100,25	2286,19	211381,80	1905,16	206595,46	1524,12	187731,16
	A1-T-TY2-20-PC	2792,72	262704,70	2393,76	212825,46	1994,80	207816,74	1595,84	188644,90
	A1-T-TY3-20-PC	2791,99	292301,80	2393,13	242423,49	1994,28	237416,06	1595,42	218246,01
	A2-T-20-PC	6590,68	263554,25	5649,16	208786,51	4707,63	197017,00	3766,10	168494,99
	A2-T-TY1-20-PC	3052,57	272286,35	2616,49	222074,17	2180,41	216604,99	1744,33	196796,34
	A2-T-TY2-20-PC	3181,79	273998,94	2727,25	223621,19	2272,71	217923,04	1818,17	197797,71
	A2-T-TY3-20-PC	3181,90	303620,45	2727,35	253242,56	2272,79	247544,20	1818,23	227418,60

Belirlenen parametre, bina tipleri ve öngörülen yenilemeler kullanılarak Tablo 3’de görülen tip seçenekler oluşturulmuş ve değerlendirme sırasında oluşabilecek karışıklıkları azaltmak amacıyla kodlanmıştır. Mevcut duruma ilişkin seçenek kodları; bina tipi, duvar çekirdek malzemesi, saydamlık oranı ve pencere sistem tipini ifade etmektedir. Yenilenmiş seçenek kodları ise; bina tipi, duvar çekirdek malzemesi, ısı yalıtımı malzemesi, ısı yalıtımı uygulanan bina elemanı tipi, saydamlık oranı ve pencere sistemi bilgisini vermektedir. Örneğin; A1-T-CMY-CD-20-PC kodu dış duvarı tuğla olan, çatı döşemesinde CMY’nin kullanıldığı, %20 saydamlık oranına ve pencere sistemi çift cam-PVC doğrama ile değiştirilen A1 binasını tanımlamaktadır. TY1, TY2, TY3 kodları, bina elemanlarının tamamının yalıtıldığı ‘toplam yalıtım’ durumunu ifade etmektedir. Bu seçeneklerde, hem dış duvar, altı açık ve altı ısıtılmayan döşemeler XPS, EPS ve TSY ile çatı döşemesi ise CMY ile yalıtılmakta hem de mevcut tek cam-ağaç doğrama pencere sistemi, çift cam-PVC doğrama pencere sistemi ile değiştirilmektedir.

4. DEĞERLENDİRME

EnergyPlus 4.0 programı ile benzetim çalışmaları kapsamında her bir seçenek için benzetim yapılarak, ısıtılan bölgeler için m² başına düşen doğal gaz enerjisi tüketimleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar 15, 20, 25 ve 30 yaşlarındaki binalar için, kalan bina ömrü ile çarpılmıştır. Yaşam dönemi maliyetleri ise; her yaş grubundaki tüm seçenekler için yaşam dönemi maliyet analizi tekniği kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen enerji tüketimi ve yaşam dönemi maliyeti miktarları saydamlık oranı, yönlenme ve bina yaşı ile, pencere sistemi, bina elemanları ve yalıtım malzemesi tipi parametrelerine bağlı olarak değerlendirilmiştir.

4.1. Enerji Tüketiminde ve Yaşam Dönemi Maliyetlerinde Saydamlık Oranının Etkisi

Enerji tüketiminde saydamlık oranının etkisi; A1 binası için, pencere sistemi çift cam-PVC doğrama olan, yalıtımsız ve dış duvarı XPS, EPS ve TSY yalıtımlı seçeneklerin %10, %20 ve %30 saydamlık oranlarına göre yapılan analiz sonucu değerlendirilmiştir (Tablo 3).

Saydamlık oranına göre en az enerji tüketimi; dış duvarı XPS yalıtımlı seçenekler için gerçekleşmektedir. Dış duvarın yalıtılması ile XPS, EPS ve TSY yalıtımlı seçeneklerde yalıtımsız olanlara göre tüm yaş gruplarında %10 saydamlık oranı için sırasıyla %45, %43 ve %43, %20 saydamlık oranı için %39, %37 ve %37 ve %30 saydamlık oranı için %32, %31 ve %31 oranlarında kazanç sağlanmaktadır. Sonuç olarak saydamlık oranı arttıkça elde edilen enerji kazancı azalmaktadır. Bu durum, yalıtımsız durumda saydamlık oranı artışı ile birlikte pencereden sağlanan enerji kazancı artışının toplam enerji tüketimi üzerinde yalıtımlı duruma göre daha etkili olduğunu; yalıtımlı durumda ise toplam enerji tüketimi üzerinde yalıtımlı dış duvar alanı azalması etkisinin pencere sistemi etkisine göre ön plana çıktığını göstermektedir.

Saydamlık oranına göre en düşük yaşam dönemi maliyeti; tüm saydamlık oranları için dış duvarı XPS yalıtımlı seçenekler için gerçekleşmektedir. Dış duvarın yalıtılması ile XPS, EPS ve TSY yalıtımlı seçeneklerde yalıtımsız olanlara göre tüm yaş gruplarında %10 saydamlık oranı için sırasıyla ortalama olarak %22, %21 ve %11, %20 saydamlık oranı için %18, %17 ve %6 ve %30 saydamlık oranı için %13, %12 ve %2 oranlarında kazanç sağlanmaktadır. Pencere sisteminin yenilenmesinin maliyeti, ısı yalıtımı uygulaması maliyetinden daha fazladır. Bu nedenle saydamlık oranı arttıkça, yenilenen pencere sistemi alanının artması sebebi ile yaşam dönemi maliyeti de artmaktadır.

4.2. Enerji Tüketiminde ve Yaşam Dönemi Maliyetlerinde Yönlenmenin Etkisi

Enerji tüketiminde bina yönelişinin etkisi; kuzey-güney doğrultusunda yönlendiği kabul edilen A1 binası ile doğu-batı doğrultusunda yönlendiği kabul edilen A2 binası için, pencere sistemi çift cam-PVC doğrama olan, yalıtımsız ve dış duvarı XPS, EPS ve TSY yalıtımlı seçeneklerin % 20 saydamlık oranına göre yapılan analizi sonucu değerlendirilmiştir (Tablo 3).

Bina yönelişine göre en az enerji tüketimi; kuzey-güney doğrultusunda yerleşmiş binalarda gerçekleşirken, en fazla enerji tüketimi doğu-batı doğrultusunda yerleşmiş binalarda gerçekleşmektedir. Her iki yöneliş biçiminde de; en az enerji tüketimi dış duvarı XPS yalıtımlı seçeneklerde gerçekleşirken, EPS ve TSY yalıtımlı seçeneklerde aynı miktarlarda enerji tüketimi gerçekleşmektedir. Dış duvarın yalıtıldığı XPS, EPS ve TSY yalıtımlı seçeneklerde yalıtımsız olanlara göre, tüm yaş gruplarında %20 saydamlık oranındaki kuzey-güney doğrultusunda yerleşmiş A1 binası için sırasıyla %39 ve %37; doğu-batı doğrultusunda yerleşmiş A2 binası için %37 ve %35 oranlarında kazanç sağlanmaktadır. Bu durumda dikdörtgen planlı bina tipleri için enerji tüketimi açısından en uygun yerleşim yönünün kuzey-güney doğrultusu olduğu söylenebilir.

Bina yönelişine göre en düşük yaşam dönemi maliyeti; kuzey-güney doğrultusunda yerleşmiş binalarda gerçekleşmektedir. Her iki yöneliş biçiminde de; en düşük yaşam dönemi maliyeti dış duvarı XPS ve EPS yalıtımlı seçeneklerde gerçekleşirken, en yüksek yaşam dönemi maliyeti TSY yalıtımlı seçenekler için hesaplanmıştır. Dış duvarın XPS ve EPS ile yalıtıldığı seçeneklerde yalıtımsız olanlara göre %20 saydamlık oranındaki kuzey-güney doğrultusunda yerleşmiş A1 binası için tüm yaş gruplarında sırasıyla ortalama %18 ve %13, TSY yalıtımlı seçeneklerde ise %6; doğu-batı doğrultusunda yerleşmiş A2 binası için XPS ve EPS yalıtımlı seçeneklerde sırasıyla %17 ve %17, TSY yalıtımlı seçeneklerde %6 oranlarında kazanç sağlanmaktadır. Bu durumda dikdörtgen planlı bina tipleri için yaşam dönemi maliyeti açısından en uygun yerleşim yönünün kuzey-güney doğrultusu olduğu söylenebilir.

4.3. Enerji Tüketiminde ve Yaşam Dönemi Maliyetlerinde Bina Yaşının Etkisi

Enerji tüketiminde bina yaşının etkisi; A1 binası için, pencere sistemi çift cam-ahşap doğrama ve çift cam-PVC doğrama olan, TSY toplam yalıtımlı seçeneklerin % 20 saydamlık oranında binanın tüm yaş gruplarındaki enerji tüketimi miktarlarının karşılaştırılması ile değerlendirilmiştir (Tablo 3).

Bina yaşına göre yapılan analize göre; her iki pencere sistemi için enerji tüketiminin bina yaşı arttıkça orantılı olarak azaldığı ve enerji tüketimi üzerindeki etkilerinin benzer olduğu görülmektedir.

Bina yaşına göre yaşam dönemi maliyetleri karşılaştırıldığında, bina yaşı arttıkça yaşam dönemi maliyetinin de azaldığı görülmektedir. Çift cam-ahşap doğrama pencere sistemi ile yenileme yapılması durumunda, çift cam-PVC doğrama pencere sistemi ile yenileme yapılması durumuna göre; 15, 20, 25 ve 30 yaşları için sırasıyla %38, %41, %41 ve %35 oranlarında yaşam dönemi maliyetinin arttığı belirlenmiştir. Bu sonuç, ahşap doğrama ilk yatırım maliyetinin PVC doğramaya oranla yüksek olduğundan kaynaklanmaktadır. Sonuç olarak bina yaşına bağlı olarak yapılacak yenileme sayılarının ve enerji tüketimi miktarının azalmasına bağlı olarak, yaşam dönemi maliyetlerinin bina yaşı arttıkça azaldığı söylenebilir.

4.4. Enerji Tüketiminde ve Yaşam Dönemi Maliyetlerinde Pencere Sisteminin Etkisi

Enerji tüketiminde pencere sisteminin etkisi; A1 binası için, pencere sistemi tek cam-ahşap doğrama, çift cam-ahşap doğrama ve çift cam-PVC doğrama olan seçeneklerin %10, %20 ve %30 saydamlık oranlarına göre karşılaştırılması ile değerlendirilmiştir (Tablo 3).

Pencere sistemine göre enerji tüketimi çift cam-ahşap doğrama ve çift cam-PVC doğrama pencere sistemleri için birbirine yakın değerlerde gerçekleşirken, en fazla enerji tüketimi tek cam-ahşap doğrama pencere sistemi için gerçekleşmektedir. Tek cam-ahşap doğrama pencere sistemi için saydamlık oranı arttıkça enerji tüketimi artarken, çift cam-ahşap doğrama ve çift cam-PVC doğrama pencere sistemleri için saydamlık oranı arttıkça enerji tüketimi miktarı azalmaktadır. Bunun nedeni, tek cam-ahşap doğrama pencere sistemi seçeneklerinin yalıtımsız dış duvarlarla, çift cam-ahşap ve çift cam-PVC doğrama pencere sistem seçeneklerinin ise yalıtımlı dış duvarlarla birlikte kullanılmasıdır. Pencere sistemlerinde gerçekleşen enerji tüketimi değişimleri, saydamlık oranına bağlı olarak dış duvarda gerçekleşen tüketimlerle benzerlik göstermektedir.

Pencere sistemine göre yaşam dönemi maliyetleri, tüm yaş grupları için en fazla çift cam-ahşap doğramaya sahip seçenekler için, en düşük çift cam-PVC doğramaya sahip seçenekler için hesaplanmıştır. Yalıtımsız duruma göre, çift cam-ahşap doğrama pencere sistemlerinde yaşam dönemi maliyeti 15, 20, 25 ve 30 yaşlarındaki binalar için %20 saydamlık oranına göre sırasıyla %14, %17, %18 ve %23 oranlarında artarken; çift cam-PVC doğrama pencere sistemlerinde sırasıyla %25, %27, %27 ve %15 oranlarında azalmaktadır. Sonuç olarak, çift cam-ahşap doğrama pencere sistemi ile yenileme yapılması durumu, çift cam-PVC doğrama pencere sistemi ile yenileme yapılması durumuna göre yaşam dönemi maliyetlerinde daha fazla artışa neden olmaktadır. Bunda, ahşap doğramalı pencere sistemlerinin ilk yatırım maliyetinin PVC doğramalı pencere sistemlerine göre daha fazla olması, bina ömrüne bağlı olarak 1-3 kere bakım/onarım (cilalama) yapılması gerekliliği etkili olmaktadır. PVC doğramalı pencere sistemlerinin ilk yatırım maliyetinin ahşap doğramalı sistemlere göre düşük olması ve bakım maliyeti olmamasına rağmen; 15 yaşındaki bina için kalan 35 yıllık ömrü içinde PVC doğramanın bir kere yenilenmesi gerekliliği sonucunda 15 yaşındaki binanın yaşam dönemi maliyeti diğer yaş gruplarına göre artmaktadır.

4.5. Enerji Tüketiminde ve Yaşam Dönemi Maliyetlerinde Bina Elemanı Etkisi

Enerji tüketiminde bina elemanı etkisi; A1 binası için, pencere sistemi çift cam-PVC doğrama olan dış duvar, altı açık ve altı ısıtılmayan döşemesi XPS, EPS ve TSY yalıtımlı, çatı döşemesi CMY yalıtımlı seçenekler ile dış duvar, altı açık ve altı ısıtılmayan döşemeleri XPS, EPS ve TSY, çatı döşemesi CMY olan toplam yalıtımlı seçeneklerin % 20 saydamlık oranına göre karşılaştırılması ile değerlendirilmiştir (Tablo 3).

Her bina elemanında farklı ısı yalıtım malzemesi kullanımı halinde oluşan enerji tüketimi analiz edildiğinde; A1 binasında m² başına enerji tüketiminin en az sadece dış duvar ve altı açık döşemenin yalıtılması halinde gerçekleştiği, sadece çatının ya da altı ısıtılmayan döşemenin yalıtılması halinde ise dış duvar ve altı açık döşemenin yalıtılmaması nedeniyle daha fazla enerji tüketimi olduğu görülmektedir. Kullanılan ısı yalıtım malzemesi türünün enerji tüketimi üzerindeki etkisine bakıldığında, önemli farklılıklar göstermediği belirlenmiştir. Yalıtımlı seçenekler yalıtımsız durumla karşılaştırıldığında; sadece dış duvar ve altı açık döşemenin yalıtılması ile %39, sadece çatı döşemesinin yalıtılması ile %13, sadece altı ısıtılmayan döşemenin yalıtılması ile %3, tüm elemanların yalıtılması ile de %57 oranında enerji tüketiminde azalma sağlanmaktadır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, dış duvar yalıtımının toplam enerji tüketiminin azaltılması amacıyla yapılabilecek uygulamalar arasında en fazla etkili olduğu görülmektedir.

Bina elemanlarında farklı ısı yalıtım malzemesi kullanımı halinde; en düşük maliyet sadece dış duvar ve altı açık döşemesi XPS yalıtımlı seçenek için hesaplanırken, en yüksek maliyet dış duvar, altı açık ve altı ısıtılmayan döşemesi TSY, çatı döşemesi CMY yalıtımlı toplam yalıtımlı seçenek için hesaplanmıştır. Dış duvar, altı açık ve altı ısıtılmayan döşemesi XPS veya EPS, çatı döşemesi CMY yalıtımlı seçenekler için yaşam dönemi maliyetlerinin önemli farklılıklar göstermediği, yalıtımsız durumla karşılaştırıldıklarında 15, 20, 25 ve 30 yaşlarındaki binalar için sırasıyla %4, %7, %10 ve %16 oranlarında yaşam dönemi maliyetinde azalma sağladıkları belirlenmiştir. Dış duvar, altı açık ve altı ısıtılmayan döşemesi TSY, çatı döşemesi CMY yalıtımlı seçenekler ise yalıtımsız durumla karşılaştırıldıklarında 15, 20, 25 ve 30 yaşlarındaki binalar için sırasıyla %14, %19, %22 ve %28 oranında yaşam dönemi maliyetinin artmasına sebep olmaktadır. TSY ile ısı yalıtımı uygulaması yapılmasının ilk yatırım maliyetinin, XPS ve EPS kullanılarak ısı yalıtımı uygulaması yapılmasının ilk yatırım maliyetinden fazla olması, bina elemanına göre yaşam dönemi maliyetlerinin TSY yalıtımlı seçenekler için diğer seçeneklere göre daha fazla olmasına neden olmaktadır.

4.6. Enerji Tüketiminde ve Yaşam Dönemi Maliyetlerinde Toplam Yalıtımın Etkisi

Enerji tüketiminde toplam yalıtımın etkisi; A1 ve A2 binaları için, pencere sistemi çift cam-PVC doğrama olan, yalıtımsız ve dış duvar, altı açık ve altı ısıtılmayan döşemeleri XPS, EPS ve TSY; çatı döşemeleri CMY olan toplam yalıtımlı seçeneklerin, %20 saydamlık oranına göre karşılaştırılması ile değerlendirilmiştir (Tablo 3).

Toplam yalıtıma göre en az enerji tüketimi dış duvar, altı açık ve altı ısıtılmayan döşeme XPS, çatı döşemesi CMY yalıtımlı seçenekler için gerçekleşirken, dış duvar, altı açık ve altı ısıtılmayan döşeme EPS ve çatı döşemesi CMY ile dış duvar, altı açık ve altı ısıtılmayan döşeme TSY, çatı döşemesi CMY yalıtımlı seçenekler için enerji tüketimi birbirine yakın değerlerde hesaplanmıştır. Yalıtımsız durumla karşılaştırıldığında, enerji tüketiminde A1 binası için %56, A2 binası için %53 oranında bir azalma sağlanmaktadır.

Tüm bina elemanlarının yalıtılması durumunda en düşük yaşam dönemi maliyeti dış duvar ve altı ısıtılmayan döşemesi XPS, çatı döşemesi CMY yalıtımlı toplam yalıtımlı seçenek için hesaplanırken, en yüksek maliyet dış duvar ve altı ısıtılmayan döşemesi TSY, çatı döşemesi CMY yalıtımlı seçenek için hesaplanmıştır.

5. SONUÇ

Çalışma kapsamında mevcut konut binalarında mekan ısıtması amaçlı doğal gaz enerjisi tüketimine dayalı çevresel etkileri azaltmak üzere, bina kullanım sürecinde yapılabilecek yenilemelerin enerji tüketimleri ve yaşam dönemi maliyetleri analiz edilmiş ve değerlendirilmiştir. Oluşturulan yenileme seçenekleri için elde edilen enerji tüketimi ve yaşam dönemi maliyeti analizi sonuçlarına göre;

- Mevcut duruma ilişkin seçeneklerde, saydamlık oranı arttıkça enerji tüketimi azalmakta, yenilenmiş seçeneklerde ise artmaktadır. Bu durum, yalıtımsız durumda saydamlık oranı artışı ile birlikte pencereden sağlanan enerji kazancı artışının toplam enerji tüketimi üzerinde yalıtımlı duruma göre daha etkili olduğunu; yalıtımlı durumda ise toplam enerji tüketimi üzerinde yalıtımlı dış duvar alanı azalması etkisinin pencere sistemi etkisine göre ön plana çıktığını göstermektedir. Yalıtımsız ve yalıtımlı tüm seçeneklerde saydamlık oranı arttıkça yaşam dönemi maliyeti de artmaktadır. Pencere sisteminin yenilenmesi maliyeti, ısı yalıtımı uygulaması maliyetinden daha fazladır. Bu nedenle saydamlık oranı arttıkça, yenilenen pencere sistemi alanının artması sebebi ile yaşam dönemi maliyeti de artmaktadır.
- Dikdörtgen planlı bina tipleri için enerji tüketimi ve yaşam dönemi maliyetleri açısından en uygun yerleşim yönü kuzey-güney doğrultusudur.
- Dış duvarı yalıtımsız ve tek cam-ahşap doğrama pencere sistemine sahip seçenek için; saydamlık oranı arttıkça enerji tüketimi artarken, dış duvarı yalıtımlı ve çift cam-ahşap doğrama ya da çift cam-PVC doğrama pencere sistemine sahip seçenek için; saydamlık oranı arttıkça enerji tüketimi miktarı azalmaktadır. Bu değişim, saydamlık oranına bağlı olarak dış duvarda gerçekleşen tüketimlerle benzerlik göstermektedir. Yenileme amacıyla kullanılan çift cam-ahşap doğrama ya da çift cam-PVC doğrama pencere sistemleri birbirine yakın enerji tüketimine neden olmaktadır. Ancak çift cam-ahşap doğrama pencere sistemi ile yenileme yapılması durumu, çift cam-PVC doğrama pencere sistemi ile yenileme yapılması durumuna göre, yaşam dönemi maliyetlerinde daha fazla artışa sebep olmaktadır. Buna, ahşap doğramalı pencere sistemlerinin ilk yatırım ve bakım maliyetlerinin PVC doğramalı sistemlere göre daha fazla olması neden olmaktadır. PVC doğramalı pencere sistemlerinin ilk yatırım maliyetinin ahşap doğramalı sistemlere göre düşük olması ve bakım maliyeti olmamasına rağmen; 15 yaşındaki bina için bina ömrü boyunca bir kere yenileme gerektirmesi, yaşam dönemi maliyetinin diğer yaş gruplarına göre artmasına neden olmaktadır.
- Isı yalıtımı uygulamalarında dış duvar, altı açık ve altı ısıtılmayan döşemelerde en az enerji tüketimi XPS kullanımı halinde gerçekleşmekte, EPS ve TSY kullanımı halinde birbirine yakın enerji tüketimleri oluşmaktadır. Diğer taraftan çatı döşemesinde camyünü kullanımı en az enerji tüketimi sağlayan uygulamadır. Isı yalıtımı uygulamalarında en az yaşam dönemi maliyeti dış duvar, altı açık ve altı ısıtılmayan döşemelerde XPS kullanımı halinde gerçekleşirken, en fazla yaşam dönemi maliyeti ilk yatırım maliyetinin yüksek olması nedeniyle TSY kullanımı halinde oluşmaktadır.
- Mevcut duruma ilişkin seçenekler yenilenmiş seçenekler ile karşılaştırıldığında; enerji tüketiminde en fazla kazanç tüm elemanların yalıtılması durumunda sağlanırken, en az kazanç sadece altı ısıtılmayan döşemenin yalıtılması ile elde edilmektedir.

- Bina yaşı arttıkça, mevcut duruma göre yaşam dönemi maliyetlerindeki artış da artmaktadır. Yaşam dönemi maliyetini oluşturan ilk yatırım maliyeti, yaşam dönemi enerji maliyeti ve yaşam dönemi bakım maliyeti karşılaştırıldığında, ilk yatırım maliyetinin tüm yaş grupları için eşit olduğu ve diğer maliyetlere göre daha yüksek olduğu hesaplanmıştır. Yaşam dönemi enerji maliyeti, bina yaşı azaldıkça artmaktadır. Bakım maliyetleri en fazla 15, en az 30 yaşlarındaki binalar için hesaplanırken, 20 ve 25 yaşlarındaki binalar için eşit bakım maliyetleri hesaplanmıştır. Sonuç olarak enerji ve bakım maliyetleri bina yaşı azaldıkça artarken, ilk yatırım maliyeti bina ömrü boyunca ikinci kez ısı yalıtımı uygulaması yapılmadığı için tüm yaş grupları için eşit olmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] SEV, A., How Can the Construction Industry Contribute to Sustainable Development? A Conceptual Framework, Sustainable Development, Vol. 17, pp. 161-173 2008.
- [2] ORTIZ, O., CASTELLS, F., SONNEMANN, G., Sustainability in The Construction Industry: A Review of Recent Developments Based On LCA, Construction and Building Materials, Vol. 23, Issue 1, pp. 28-39, 2009.
- [3] DING, G. K. C., Sustainable Construction – The Role of Environmental Assessment Tools, Journal of Environmental Management, Vol. 85, Issue 3, pp. 451-464, 2008.
- [4] EDWARDS, B., Sustainable Architecture: European Directives and Building Design, Architectural Press, UK, 1999.
- [5] RYGHAUG, M., SØRENSEN, K.H., How Energy Efficiency Fails in The Building Industry: Energy Policy, doi:10.1016/j.enpol.2008.11.001, 2008.
- [6] TÜİK, Türkiye İstatistik Yıllığı, Türkiye İstatistik Kurumu, Ankara, 2004.
- [7] SITAR, M., KRAJNC, K., Sustainable Housing Renewal, American Journal of Applied Sciences, 5(1), pp. 61-66, 2008.
- [8] SUNIKKA, M., CO₂ Reduction in the Renovation of Post-war Housing Areas: Feasibility Study, In Proceeding of the 4th Triennial International Conference Rethinking and Revitalizing Construction Safety, Health, Environment and Quality, pp. 496-507, 2005.
- [9] ERLANDSSON, M., LEVIN, P., MYHRE, L., Energy and Environmental Consequences of an Additional Wall Insulation of a Dwelling, Building and Environment, Vol. 32, No. 2, pp. 129-136, 1997.
- [10] WANG, Y., HUANG, Z., HENG, L., Cost-Effectiveness Assessment of Insulated Exterior Walls of Residential Buildings in Cold Climate, International Journal of Project Management, 25, 143-149, 2007.
- [11] ÇETİNER, İ., EDİS, E., Assessing The Effect of Building Elements on Post-Construction Period Environmental Sustainability of Residential Buildings for Renewal Decisions, CIB International Conference on Smart and Sustainable Built Environment-SASBE09, June 15-19, Delft, 2009.
- [12] HALWATURA, R.U., JAYASİNGHE, M.T.R., Influence of Insulated Roof Slabs on Air Conditioned Spaces in Tropical Climatic Conditions—A Life Cycle Cost Approach, Energy and Buildings, 41, 678-686, 2009.
- [13] Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği, Bayındırlık Bakanlığı, Ankara, 2000.
- [14] Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği, Bayındırlık Bakanlığı, Ankara, 2008.
- [15] EnergyPlus 4.0 Bina Benzetim Programı, Documentation, 2010.
- [16] BLEDSOE, J.D., Successful Estimating Methods from Concept to Bid, RS Means Construction Consultants & Publishers, Kingston, USA, 1992.
- [17] MITHRARATNE, N., VALE, R., Sustainable Living –The Role of Whole Life Costs and Values, Elsevier Limited, UK, 2007.
- [18] FULLER, S. K., RUSHING A. S., Energy Price Indices and Discount Factors for Life-Cycle Cost Analysis, NISTIR 85-3273-21, US Department of Commerce, USA, 2006.
- [19] Enflasyon Verileri, Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası, <<http://www.tcmb.gov.tr/>>, Erişilen tarih: 14.07.2010.
- [20] Kamu Finansmanı İstatistikleri, Türkiye Cumhuriyeti Başbakanlık Hazine Müsteşarlığı <<http://www.hazine.gov.tr/irj/portal/anonymous/lcBorc>>, Erişilen tarih: 14.07.2010.

- [21]SEKHAR, S.C., TOON, K. L. C., On The Study of Energy Performance and Life Cycle Cost of Smart Window, Energy and Buildings, 28, pp. 307-316, 1998.
- [22]YU, J., YANG, C., TIAN, L., L., D., Evaluation on Energy and Thermal Performance for Residential Envelopes in Hot Summer and Cold Winter Zone of China, Applied Energy, 86, pp. 1970-1985, 2009.
- [23]TÜİK, Türkiye İstatistik Yıllığı, Türkiye İstatistik Kurumu, Ankara, 2007.

ÖZGEÇMİŞ

İkbal ÇETİNER

1989 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Bölümü'nden mezun olduktan sonra 1993'de Mimarlık Bölümü Yapı Bilgisi Anabilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başlamıştır. Halen İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Bölümü'nde Yardımcı Doçent olarak görev yapmaktadır. Binalarda enerji etkinlik ve çevresel değerlendirme, Yapı elemanı performansı ve Sürdürülebilir yapı/yapım alanlarında çalışmaktadır.

Buket METİN

2008 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü'nden mezun olmuştur. 2010 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi yüksek lisans programını bitirmiştir. Halen, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı Yapı Bilimleri doktora programında eğitimine devam etmekte ve Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü Yapı Bilgisi Anabilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır. Yapım Teknikleri/Yapım Süreçleri ve Çevresel Sürdürülebilirlik, Binalarda Enerji Etkin Yenileme konularında çalışmaktadır.