

MUĞLA İLİ KOŞULLARINDA BETONARME VE AHŞAP İSKELETLİ BİNALARA AİT YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ

Burak Hozatlı*

Dr.,
Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara
burak.hozatli@csb.gov.tr

Hüseyin Günerhan

Doç. Dr.,
Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği Bölümü,
Termodinamik Anabilim Dalı, İzmir
huseyungunerhan@gmail.com

ÖZET

Bu çalışmada, öncelikli olarak binalarda yaşam döngüsü değerlendirmesi (YDD) ve yaşam döngüsü enerjisi hesaplama yöntemleri araştırılmış ve geleneksel yöntemlerle tasarlanmış betonarme bina ile ekolojik malzemelerin kullanıldığı ahşap iskeletli binaya ait hesaplama sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda, yaşam döngüsü aşamaları ve unsurlarının enerji tüketimleri incelenmiş ve en az miktarda kullanılan malzemelerin bile, binanın toplam enerji tüketimleri üzerinde kayda değer tesiri olduğu görülmüştür. Yaşam döngüsü enerji tüketimleri açısından yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması ile binaların işletim enerjisi miktarlarında %85-88 oranlarında tasarruf sağlanmışken, yaşam döngüsü enerjilerinde bu oran %27-32 seviyelerinde gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Betonarme bina, ahşap iskeletli bina, yaşam döngüsü değerlendirmesi, yaşam döngüsü enerji analizi, fotovoltaik

LIFE CYCLE ASSESSMENT OF BUILDINGS CONSTRUCTED WITH REINFORCED CONCRETE AND WOOD MATERIAL IN TERMS OF MUGLA PROVINCE

ABSTRACT

In this study, life cycle assessment of buildings and life cycle energy calculation methods are initially researched, and calculation results of the reinforced concrete buildings designed with traditional methods and timber-framed buildings made using with ecological materials were compared. As a result of this study, life-cycle stages, energy consumption of elements of them and environmental impacts were examined. It was observed that, small amounts of materials used in the building construction have a significant influence on the total energy consumption and environmental impacts. In terms of life-cycle energy consumption of buildings, the use of renewable energy sources caused to save of the amounts of operating energy rate of 85-88% and save of the levels of energy of the life cycle with rate of 27-32%.

Keywords: Reinforced concrete building, wooden-framed building, life cycle assessment, life cycle energy analysis, photovoltaics.

* İletişim Yazarı

Geliş tarihi : 17.04.2014

Kabul tarihi : 05.12.2014

Hozatlı, B., Günerhan, H. 2015. "Muğla İli Koşullarında Betonarme ve Ahşap İskeletli Binalara Ait Yaşam Döngüsü Analizi," Mühendis ve Makina, cilt 56, sayı 660, s. 52-60.

1. GİRİŞ

Enerji üretimi ve kullanımı ile yerel ve küresel çevre arasındaki ilişki dünya çapında artan endişelere neden olmaktadır. Aynı şekilde, gelişmekte olan ülkelerde yaşayan insanlar barınma problemleri de yaşamaktadır. Daha iyi konut standartlarının sağlanmasında, dayanıklı yapı malzemelerinin maliyetlerinin yüksek olması ve az oluşu ana engellerden biri olarak tanımlanabilir. Olumsuz çevresel etkilerin hissedilmeye başlanmasıyla, inşaat sektöründe de bilinçlenme oranı yükselmiş ve duyarlılık seviyesi de artmıştır. Bu sayede inşaat sektöründe, daha çevreci bina tasarımı, yapımı ve işletme yaklaşımlarının oluşması sağlanmıştır. Çevresel etkilerin yanı sıra, sosyal, kültürel ve ekonomik etkiler daha sürdürülebilir konutların yapılabilmesi için önemli faktörler olarak değerlendirilmektedir. Çevresel sorunlar, binalarda bulunan insanlardan kaynaklı enerji kullanımının yanı sıra, inşaat malzemelerinin üretimini, enerji kullanımı nedenli salımları, kaynak tüketimini ve atık üretimini de içermektedir. Dünya genelinde kullanılan birincil enerjinin %30-40 oranındaki miktarı binalarda kullanılmaktadır. Bu durum, sera gazı salımlarının %40-50 kadarını oluşturmaktadır [1].

Binaların yaşamları boyunca harcadıkları toplam enerji miktarının hesaplanması enerji tasarrufu açısından da önemlidir. Bir binanın yaşam döngüsü kavramından, yapı malzemelerinin üretilmesinden binanın yıkılmasına kadar geçen aşamalar anlaşılmalıdır. Bu aşamaların her birinin gerçekleşmesi için enerji kullanımı gereklidir [2-3].

Binalar üzerinde yapılan çalışmalar, kullanılan yapı malzemelerinin binaların enerji tüketimleri ve sera gazı salımları üzerinde etkileri olduğunu göstermektedir. Cole ve Kernan [4], ahşap, çelik ve betonarme binaların toplam yaşam döngüsü enerji kullanımlarını inceleyerek, çelik ve betonarme yapıların ahşap bir yapıya göre daha fazla enerji kullanıldığını bulmuşlardır. Adalberth [5], 3 farklı, tek katlı binanın yaşam döngüsü enerjilerini hesaplamıştır. Binaların işletilmesi aşamasında kullanılan enerji miktarının en yüksek olduğunu ve kullanılan malzeme miktarından ziyade malzemelerin üretimleri için harcanan enerji miktarlarının önemini vurgulamıştır. Gerilla ve arkadaşları [6], ahşap ve betonarme binaların yaşam döngüsü enerjileri ve çevresel etkilerini inceleyerek, betonarme binaların ahşap binalara göre daha fazla olumsuz etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir. Ramesh ve arkadaşları [7], Hindistan'da bulunan, yaklaşık 85,5 m² taban alanına sahip bir konutta farklı bina kabuğu bileşenleri ve iklim koşulları altındaki yaşam döngüsü enerjisi ihtiyacını incelemişlerdir. Sonuçta, yalıtım kullanılmadan alternatif duvar malzemeleri ile yaşam döngüsü enerji tüketimlerinde %1,5-5 oranlarında azalma sağlandığı, binada yalıtım kullanılması durumunda enerji tasarruf oranlarının %10-30 seviyelerinde gerçekleştiği belirtilmiştir. Citherlet ve arkadaşları [8], aynı strüktürdeki bir binada farklı yalıtım malzemeleri ile ve yenilenebilir enerji

kaynaklarını kullanan sistemlerin bulunduğu durumlar için binanın net enerji kullanımını incelemişlerdir. Farklı yalıtım malzemesi kullanımı ile binanın ısı kayıplarının azaldığı belirtilmiştir. Bribián ve arkadaşları [9], en sık kullanılan yapı malzemeleri ile bazı ekolojik yapı malzemelerinin çevresel etkilerini karşılaştırmışlardır. Sonuçta, yapı malzemelerinin etkisinin, yeni tasarım tekniklerinin teşvik edilmesi, üretim tesislerinde ekolojik yeniliklerin kullanılması ve üretim süreçlerinde atıkların sınırlı doğal kaynaklar yerine kullanımı ile azaltılacağını vurgulamışlardır.

2. YÖNTEM

Türkiye'de enerjinin büyük bir kısmı binaların ısıtılmasında kullanılmakta ve binalardaki enerji akış hesaplamaları genellikle enerji analizine bağlı olarak yapılmaktadır. Enerji analizinde, tüm süreç için gerekli temel enerji ihtiyacı hesaplanır ve ısıtma sistemi gücü belirlenir. Fakat enerji analizi tek başına enerji kullanım süreçlerinin bütün davranışlarını incelemek için yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle, binalardaki enerji akışını daha iyi tanımlayabilmek için, kullanılan malzemelerin üretim işlem ağacında belirlenen aşamaların dikkate alındığı yaşam döngüsü süresince tüketimler değerlendirilmelidir. Bu çalışmada, binalarda enerji verimliliğinin sağlanmasında etkili yolun, binaların enerji etkin sistemler olarak tasarlanması olduğu vurgulanmakta ve yüksek enerji tüketimlerinin nerelerde gerçekleştiğini göstermek amacıyla her bir bileşen üzerinde yaşam döngüsü değerlendirmesi ve enerji analizleri yapılarak tüketim değerleri hesaplanmıştır.

Yapıların tüm yaşam döngüleri boyunca enerji tüketimi aktif olarak devam etmektedir. Yapının yaşam döngüsü, yapıyı oluşturan hammaddenin doğadan elde edilmesiyle başlayarak, yapının kullanımının sona ermesi sonucu yok edilmesiyle biten, değiştirilemez bir sıra ile birbirini takip eden ve birbiri ile ilişkili süreçler bütünüdür. Yaşam döngüsü değerlendirme yöntemi, doğal kaynak tüketimini azaltmak ve olumsuz çevresel etkileri belirlemek amacıyla inşaat sektöründe sürdürülebilirliğin sağlanması ve geliştirilmesinde kullanılmaktadır. Şekil 1'de yapılarda yaşam döngüsü aşamaları gösterilmektedir.

Binaların yaşamları boyunca harcadıkları toplam enerji miktarının hesaplanması enerji tasarrufu açısından da önemlidir.

1	Hammadde Üretimi
2	Üretim Aşaması
3	Yapım Aşaması
4	Kullanım Aşaması
5	Yıkım Aşaması
6	Geri Dönüşüm Aşaması

Şekil 1. Yapılarda Yaşam Döngüsü Aşamaları

Bu sayede, binanın yaşam döngüsü aşamalarının tümü enerji kullanımı açısından değerlendirilmiş olacak ve hangi aşamada daha yüksek oranlarda enerji kullanımının gerçekleştiği belirlenerek iyileştirmeye yönelik kararlar geliştirilecektir. Bina yaşam döngüsü enerji analizi binanın tüm ömrü içerisindeki tüm enerji girdilerini değerlendirmeye alındığı bir yaklaşımdır. Bu aşamaların her birinin gerçekleşmesi sürecinde enerji kullanımı gereklidir [1].

Bu çalışmanın amacı, aynı strüktürde, fakat farklı yapısal tasarımlar ve yalıtım malzemeleri kullanılan bir binanın, kullanım ömrü boyunca tükettiği enerjinin belirlenmesi, karşılaştırılması ve proje düzeyinde verilecek kararlar açısından desteklenmesidir.

Hesaplamaların yapıldığı model bina, aynı mimari formda betonarme iskeletli ve ahşap iskeletli olmak üzere iki farklı yapıda tasarlanmıştır. Bina, 59,5 m² taban alanına sahip tek katlı bir yapı şeklinde tasarlanmış ve enerji ihtiyacı hesaplamaları Mayıs 2008'de yayımlanan TS 825 Isı Yalıtım Kuralları standardında belirtilen hesap metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Binada, kış şartlarında 19 °C, yaz şartlarında ise 24 °C iç ortam tasarım sıcaklığı olarak belirlenerek hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Binanın yaşam ömrü 50 yıl olarak belirlenmiştir. Binada kullanılan yapı malzemelerinin hesaplamalarda dikkate alınan kullanım ömürleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Bazı Yapı Malzemelerinin Kullanım Ömürleri [10]

Malzeme Adı	Yaşam Ömrü (Yıl)	Malzeme Adı	Yaşam Ömrü (Yıl)
Beton	50	Fotovoltaik Paneller	30
Demir	50	Kablolar	15
Ahşap, OSB ve Betonarme Kalıbı	50	Lambalar	20
Kapılar ve Kasası	30	Isıtma Soğutma Boruları	20
Tuğla	50	Boru Yalıtımları	20
İç ve Dış Sıvalar	50	Boyeler	20
XPS	50	Fan-coil	20
Taş Yünü	50	Sirkülasyon Pompaları	20
Taş	50	Hava Kaynaklı Isı Pompası	20
Kum	50	Eviye, Lavabo, Klozet vb.	20
Cam	50	Temiz ve Pis Su Boruları	20

Betonarme bina tasarımında, duvarları oluşturmak üzere yata delikli tuğla kullanılması öngörülmüş, yalıtım malzemesi olarak da XPS ve doğal bir malzeme olan taş yünü kullanımı arasındaki farklılıkların karşılaştırılması planlanmıştır. Bina iç ve dış ortamında, son kat olarak sıva ve boya uygulaması gerçekleştirilerek dış duvar imalatları tamamlanacaktır. Ayrıca binanın teras çatısına ulaşılması için doğal taştan yapılacak merdiven kullanılacaktır. Binada daha fazla yalıtım sağlanabilmesi amacıyla, binanın zeminini oluşturmak için yapılan

kazı sonrası elde edilen toprak dolgu, doğal zemin seviyesinden itibaren dış duvar etrafında bulunan doğal taş malzemeli duvar yüksekliklerince kullanılacaktır.

Ahşap bina tasarımında iskelet yapı, ahşap dikmeler kullanılarak sağlanmış; dış duvar iskeletin OSB ile kaplanması, ahşap dikmeler ile OSB kaplaması arasında oluşan boşluğun, bor içeren selülozik veya taş yünü yalıtım malzemeleri ile doldurulmasından sonra sıva ve boya imalatlarının yapılması ile sonlanacaktır.

Tablo 2. Ahşap Binanın Yapı Bileşenlerinde Kullanılan Malzemeler ile Bunlara ait Isıl Özellikler [11]

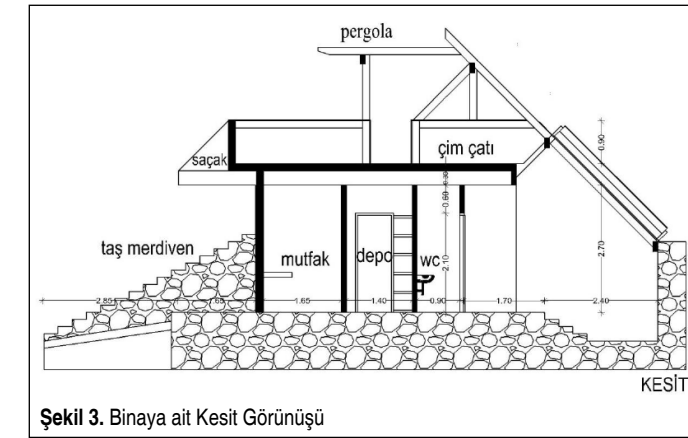
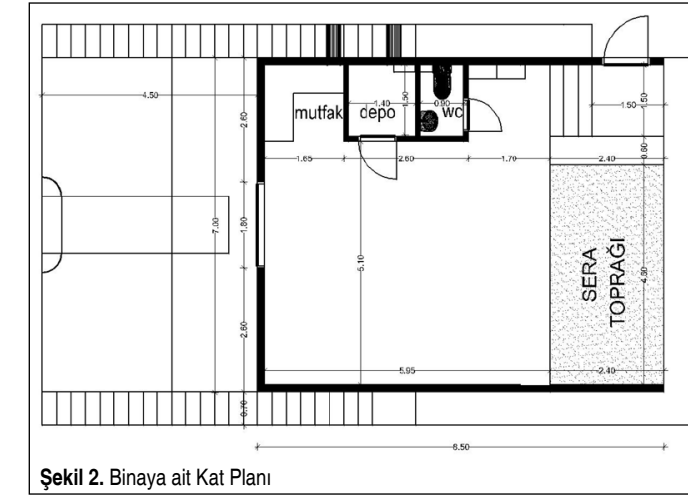
Yapı Bileşeni Adı	Ahşap Bina	
	Selülozik Yalıtım Malzemeli (W/m ² K)	Taş Yünü Yalıtımlı (W/m ² K)
Dış Duvar (Hava Temaslı)	0,246	0,27
Ahşap İskelet	0,508	0,508
Taş Merdiven+Dış Duvar (Hava Temaslı)	0,215	0,232
Taş Merdiven+Dış Duvar (Toprak Temaslı)	0,216	0,235
Taş Dış Duvar (Toprak Temaslı)	1,364	1,364
Taban (Sera)	0,648	0,648
Taban	0,755	0,755

Tablo 3. Betonarme Binanın Yapı Bileşenlerinde Kullanılan Malzemeler ile Bunlara ait Isıl Özellikler [11]

Yapı Bileşeni Adı	Betonarme Bina	
	XPS Yalıtımlı (W/m ² K)	Taş Yünü Yalıtımlı (W/m ² K)
Dış Duvar (Hava Temaslı)	0,553	0,558
Taş Merdiven+Dış Duvar (Hava Temaslı)	0,415	0,417
Kirişler (Hava Temaslı)	0,751	0,759
Kirişler (Hava Temaslı)	0,517	0,521
Taş Merdiven+Dış Duvar (Toprak Temaslı)	0,422	0,424
Perde Duvar (Toprak Temaslı)	0,786	0,796
Kolonlar (Hava Temaslı)	0,751	0,759
Taş Merdiven+Kolonlar (Hava Temaslı)	0,517	0,521
Taş Merdiven+Kolonlar (Toprak Temaslı)	0,528	0,532
Tavan	0,479	0,604
Taban (Sera)	1,447	1,447
Taban	0,446	0,549

Çatıya erişim betonarme bina ile aynı formda sağlanacaktır. Bina formu betonarme bina ile aynı olup, kullanılan yapı malzemelerinde farklılıklar bulunmaktadır. Binanın yapı bileşenlerinde kullanılan malzemeler ile bunlara ait ısıl özellikler Tablo 2 ve Tablo 3'te gösterilmektedir.

Binalar, kurulacak hava kaynaklı ısı pompası cihazı ile iklimlendirilecektir. Isıtma ve soğutma için fan-coil cihazlarından elde edilen hava kullanılacaktır. Ayrıca binada sıcak su ihtiyacının karşılanması için kış aylarında ısı pompası cihazı, yaz aylarında ise güneş kolektörünün kullanılması öngörülmüştür. Elde edilecek sıcak su, 300 lt kapasiteli boyler kullanılarak depolanacaktır. Binada led ışıktan faydalanılarak aydınlatma sağlanacaktır. Şekil 2 ve Şekil 3'te binaya ait plan ve kesit görünüşleri verilmiştir.



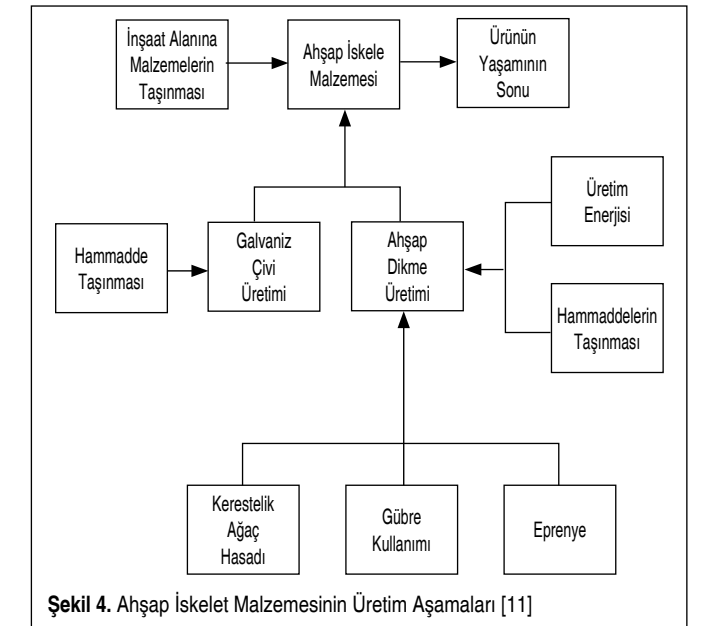
Yaşam döngüsü değerlendirmesi, ürünlerin yaşamları boyunca geçirdikleri tüm aşamalarda çevresel etkilerinin değerlendirilmesi için kullanılan bir yöntemdir. YDD uygulamaları ürün bilgi ve yeniliklerini ve yönetim düzenlemelerini içerir. Elde edilen bilgiler alternatif ürünler arasında seçim yapılması noktasında destek sağlarken, yenilik daha çevre dostu ürünlerin geliştirilmesini ve düzenleme ise ekolojik etiketleme gibi olumlu onayları içermektedir.

Ürün ve sistemlerin veya belirli bir birimin çevresel etkilerinin yaşam ömürleri boyunca değerlendirilmesine yönelik ortaya çıkan YDD yöntemi, zamanla inşaat sektörü tarafından da benimsenmiştir. Bu nedenle YDD, bir ürün için hammadde çıkarımı, ürünün yapımı ve kullanım ömrü sonunda atılması ya da tekrar kullanım için geri dönüşüm işleminin uygulanması gibi, ömrü boyunca geçirdiği tüm aşamaların çevresel yüklerinin analizi için bir araç olarak kullanılmaktadır.

YDD yönteminde ürün veya hizmet sisteminin, yukarı doğru işlem (hammadde çıkarımı, üretim, nakliye ve yapım) süreçleri, kullanım ve aşağı doğru işlem (yıkım ve atık) süreçlerinin incelenmesi neticesinde elde edilen sonuçlar yardımıyla çevresel etkilerin, enerji tüketim ve atık oluşum miktarlarının ve birçok etki sınıfı üzerindeki sonuçları hesaplanabilmektedir [11].

Binada kullanılan yapı malzemelerinin üretimi için gerekli olan üretim enerjisinin belirlenebilmesi için kullanılan yapı malzemeleri miktarlarının hesaplanması gereklidir. Malzemelerin üretim enerjileri hesaplanırken, malzemelerin üretim aşamalarında hammaddelerin geçirdikleri süreçler dikkate alınmalıdır. Üretim için gerçekleşen her işlem için harcanan enerji miktarı, toplam üretim enerjisinin hesaplanmasında etkili olacaktır. Bu nedenle, kullanılacak malzemelerin üretim akış şemalarının hazırlanması üretim enerjilerinin hesaplanması için gereklidir. Yapıda kullanılan ahşap iskelet malzemesinin üretim aşamaları Şekil 4'te gösterilmektedir.

Binanın yaşam döngüsü enerjisi hesaplamaları, fotovoltaik paneller ve güneş enerjisi kolektörlerinin binalarda kurulu olmadığı (1. durum) ve kurulu ve çalışır olduğu (2. durum) haller için gerçekleştirilmiştir. Tablo 4 ve 5'te sırası ile betonarme ve ahşap iskeletli binalarda kullanılan yapı malzemesi miktarları ve üretim enerjileri miktarları verilmektedir.



Tablo 4. Betonarme Binalarda Kullanılan Yapı Malzemesi ve Üretim Enerji Miktarları

Malzeme Adı	Üretim Enerjisi (MJ/kg)	Betonarme Bina			
		XPS Yalıtım Malzemesi	Taş Yünü Yalıtım Malzemesi	XPS Yalıtım Malzemesi	Taş Yünü Yalıtım Malzemesi
		Ağırlık (kg)	Ağırlık (kg)	Enerji Miktarı (MJ)	Enerji Miktarı (MJ)
Beton	1,30	150.089	150.089	195.116	195.116
Demir	8,90	3.762	3.762	33.482	33.482
Sıva	6,10	12.672	12.058	77.299	73.554
Tuğla	2,88	9.580	9.580	27.590	27.590
Taş	0,79	51.507	51.507	40.691	40.691
Toprak	0,10	239.079	239.079	23.908	23.908
Yalıtım	---	225	648	26.325	14.401
Cam	16,30	2.800	2.800	45.640	45.640
Ahşap	2,37	1.305	1.305	3.903	3.903
Toplam		471.019	470.828	473.143	457.474

Tablo 5. Ahşap İskeletli Binalarda Kullanılan Yapı Malzemesi ve Üretim Enerji Miktarları

Malzeme Adı	Üretim Enerjisi (MJ/kg)	Ahşap İskeletli Bina			
		Selülozik Yalıtım Malzemesi	Taş Yünü Yalıtım Malzemesi	Selülozik Yalıtım Malzemesi	Taş Yünü Yalıtım Malzemesi
		Ağırlık (kg)	Ağırlık (kg)	Enerji Miktarı (MJ)	Enerji Miktarı (MJ)
Sıva	6,1	665	665	4.057	4.057
Ahşap ¹	2,37	4.759	4.759	11.279	11.279
OSB	0,6	1.900	1.900	1.140	1.140
Yalıtım	---	230	351	138	7.803
Taş	0,79	179.616	179.616	141.897	141.897
Toprak ²	0,10	216.592	216.592	21.659	21.659
Cam	16,3	2.800	2.800	45.640	45.640
Toplam		406.562	406.683	225.809	233.474

2.1 Binanın Yapım Enerjisi

Bu enerji miktarları, yapı malzemelerinin üretimi esnasında harcanan enerjiler ile malzemelerin yapı alanına taşınması ve binanın yapımı süresince harcanan enerjileri içermektedir. Ayrıca binada kurulu herhangi bir sistem (mekanik ya da elektrik sistemi) hesaplamaya dâhil edilmemiştir.

Yapı malzemelerinin üretiminin her aşamasında enerji gereklidir. Yapı malzemelerinin üretimi için gerekli olan enerji miktarı eşitlik (1) kullanılarak bulunabilir [5].

$$Q_{\text{üretim}} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot (1 + w_i / 100) \cdot M_i \quad (1)$$

Burada n malzeme sayısını, i hesaplanan malzemeyi, m_i yapı malzemesinin ağırlığını (kg), w_i binanın yapımı süresince

oluşan atık miktarını, M_i ise yapı malzemesinin üretimi için gerekli enerji miktarını göstermektedir.

2.2 Binaların Bakım, Onarım ve Yenileme Aşamasında Harcanan Enerji

Binaların bakım, onarım ve yenileme sürecinde Tablo 1'de belirtilen kullanım süreleri göz önüne alınarak, bakım-onarım ve değişim yapılması gerekli olan malzeme ve cihazlar yenileri ile değiştirilmelidir. Yapı malzemelerinin bakım ve onarımlarda değiştirilme sayısı aşağıda verilen eşitliğe göre hesaplanmaktadır [5].

$$\text{Değiştirilme Sayısı} = \frac{\text{binanın ömrü}}{\text{malzemenin kullanım ömrü}} - 1$$

Yapı malzemelerinin yenilenmesi için kullanılan enerji miktarı ise (2) eşitliği ile hesaplanabilir.

$$Q_{\text{üretim, yenileme}} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot (1 + w_i / 100) \cdot M_i \left(\frac{\text{binanın ömrü}}{\text{malzemenin kullanım ömrü}} - 1 \right) \quad (2)$$

2.3 Binaların İşletilmesi Aşamasında Harcanan Enerji

İşletim süreci, binanın yapımının tamamlanarak kullanıma açılmasıyla başlayan ve kullanım ömrünü tamamlamasına kadar geçen süre olarak tanımlanır. Binanın kullanıma açılmasıyla, yıllar boyunca, ısıtma, soğutma, sıhhi sıcak su ve elektrik ihtiyaçlarının karşılanabilmesi için enerji kullanımı gereklidir. Binanın kullanımına ilişkin çalışma zamanları Tablo 6 ile verilmiştir. Hafta içi 08.00-19.00 saatleri ile haf-

ta sonu ve tatil günlerinde ise 08.00-14.00 saatleri arasında binanın kullanımda olduğu öngörülmüştür. Bu aşamadaki hesaplamalar, aydınlatma, cihazların çalıştırılması ve ısıtma-soğutma için harcanan enerjiler için yapılmıştır. Cihazların çalıştırılması için harcanan enerji hesaplamalarında ısıtma-soğutma tesisatında bulunan sirkülasyon pompaları, fan-coil cihazları ve binada bulunan beyaz eşyalar dikkate alınacaktır. Sıhhi sıcak su, ısı pompasından sağlanacaktır. Dolayısıyla, sıhhi sıcak su eldesi için harcanan enerji miktarı ısıtma-soğutma ihtiyacının karşılanması için harcanan enerji miktarına dâhil edilmiştir.

2.4 Binaların Yıkımı Aşamasında Harcanan Enerji

Binanın kullanım ömrünü tamamlamasıyla yıkım işlemleri gerçekleştirilir. Bu aşamada, yıkım işlemi sonucunda oluşan

Tablo 6. İşletim Enerjisi İçin Çalışma Zamanları

Saat	Kişilerin Kullanımında		Aydınlatma		Isıtma-Soğutma			
	Kullanım Faktörü		Kullanım Faktörü		Isıtma Sıcaklığı (19 °C)		Soğutma Sıcaklığı (24 °C)	
	Hİ	HS/T	Hİ	HS/T	Hİ	HS/T	Hİ	HS/T
00:00-01:00	0	0	0	0	0	0	0	0
01:00-02:00	0	0	0	0	0	0	0	0
02:00-03:00	0	0	0	0	0	0	0	0
03:00-04:00	0	0	0	0	0	0	0	0
04:00-05:00	0	0	0	0	0	0	0	0
05:00-06:00	0	0	0	0	0	0	0	0
06:00-07:00	0	0	0	0	0	0	0	0
07:00-08:00	0	0	0	0	0	0	0	0
08:00-09:00	Dolu	Dolu	1	1	1	1	1	1
09:00-10:00	Dolu	Dolu	1	1	1	1	1	1
10:00-11:00	Dolu	Dolu	1	1	1	1	1	1
11:00-12:00	Dolu	Dolu	1	1	1	1	1	1
12:00-13:00	Dolu	Dolu	1	1	1	1	1	1
13:00-14:00	Dolu	Dolu	1	1	1	1	1	1
14:00-15:00	Dolu	0	1	0	1	0	1	0
15:00-16:00	Dolu	0	1	0	1	0	1	0
16:00-17:00	Dolu	0	1	0	1	0	1	0
17:00-18:00	Dolu	0	1	0	1	0	1	0
18:00-19:00	Dolu	0	1	0	1	0	1	0
19:00-20:00	0	0	0	0	0	0	0	0
20:00-21:00	0	0	0	0	0	0	0	0
21:00-22:00	0	0	0	0	0	0	0	0
22:00-23:00	0	0	0	0	0	0	0	0
23:00-00:00	0	0	0	0	0	0	0	0

Hİ: Hafta İçi, HS/T: Hafta Sonu/Tatiller

katı atıkların taşınarak uzaklaştırılması, geri dönüşüm ve tekrar kullanım işlemlerinin dikkate alınması gerekmektedir. Bu çalışmada, binanın yıkımı neticesinde oluşacak katı atıkların binanın bulunduğu alandan yaklaşık olarak 20 km uzakta bulunan Belediye sınırlarındaki atık sahasına taşınacağı varsayılmıştır. Bu aşamada çoğunlukla iş makineleri ve insan gücü kullanılmaktadır. Bu süreçte harcanan enerji tüketimleri, kullanılan iş makinesinin çalışma süresi ve saatlik yakıt tüketimleri ile atıkların taşınması için kullanılan araçların atık sahasına ulaşımı süresince harcadıkları yakıt tüketimleri belirlenerek hesaplanmıştır. Hesaplamalarda yıkım için kullanılan iş makinesinin yakıt tüketimi 36,3 L/h olarak alınmıştır. Atıkların taşınması için kullanılan araçların ise 20 km mesafede yaklaşık 11 litre yakıt tükettikleri ölçülmüştür.

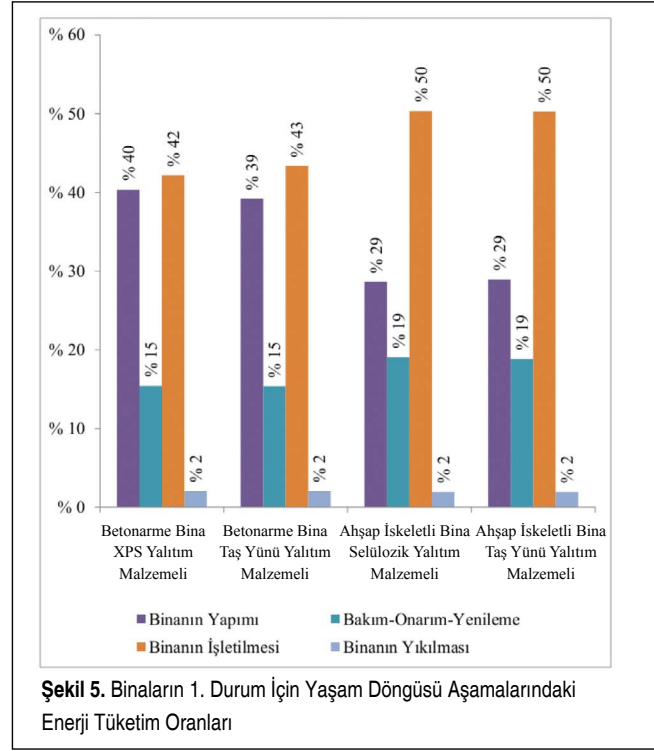
3. BİNANIN YAŞAM DÖNGÜSÜ ENERJİ TÜKETİMLERİ

Binaların yaşamları süresince harcadığı enerji miktarı; binanın yapımı, bakım-onarım-yenilenmesi, işletilmesi ve kullanım ömrünün tamamlanmasıyla, yıkılarak atıkların uzaklaştırılması aşamalarındaki enerji miktarlarının toplamından oluşmaktadır. Binaların 1. durum için yaşam döngüsü aşamalarında harcanan enerji miktarları ve oranları Tablo 7 ve Şekil 4 ile gösterilmiştir.

Tablo 7. Binaların 1. Durum İçin Yaşam Döngüsü Aşamalarındaki Enerji Tüketim Miktarları

Yaşam Döngüsü Aşamaları	Betonarme Bina		Ahşap İskeletli	
	XPS Yalıtım Malzemeli (MJ)	Taş Yünü Yalıtım Malzemeli (MJ)	Selülozik Yalıtım Malzemeli (MJ)	Taş Yünü Yalıtım Malzemeli (MJ)
Binanın Yapımı	582.107	566.442	334.773	342.437
Bakım-Onarım-Yenileme	222.530	222.530	222.530	222.530
Binanın İşletilmesi	608.950	626.950	587.900	594.200
Binanın Yıkılması	29.887	29.878	22.984	22.990
Toplam	1.443.474	1.445.800	1.168.187	1.182.157

Tablo 7 ve Şekil 5'ten görüldüğü üzere, en yüksek enerji tüketiminin taş yünü yalıtım malzemeli betonarme binada gerçekleştiği görülmektedir. Bunun yanında, binanın yapımı için harcanan enerji miktarlarına bakılacak olduğunda, ahşap iskeletli binaların betonarme binalara göre daha üstün olduğu görülmektedir. Bu oran, betonarme binalarda %39-40 seviyelerinde gerçekleşirken, ahşap iskeletli binalarda %29 seviyelerinde olduğu görülmektedir. Binada yapılan bakım-onarım-yenileme işlemlerinde sadece malzeme değişimleri dikkate alındığından, bu aşamadaki enerji tüketimleri eşit alınmış ve



Şekil 5. Binaların 1. Durum İçin Yaşam Döngüsü Aşamalarındaki Enerji Tüketim Oranları

bu süreçteki enerji tüketimlerinin toplam tüketim içerisindeki oranı betonarme binalarda %15, ahşap iskeletli binalarda ise %19 olarak gerçekleşmiştir. Binaların kullanımları süresince enerji tüketimleri daha yoğun olarak gerçekleştiğinden dolayı, betonarme binalar için enerji tüketiminin %42-43 oranındaki kısmı ve ahşap iskeletli binalarda ise %50 oranındaki kısmı bu yaşam döngüsü aşamasında gerçekleşmiştir. Yıkım ve atıkların taşınması aşamasındaki enerji tüketimi ise tüm binalar için %2 seviyesinde gerçekleşmiştir.

1. durum için, binaların gömülü enerjileri XPS ve taş yünü yalıtım malzemeli betonarme binalar için sırası ile 14,02 GJ/m² ve 13,76 GJ/m² olarak gerçekleşirken, selülozik ve taş yünü yalıtım malzemeli ahşap iskeletli binalar için sırası ile 9,75 GJ/m² ve 9,88 GJ/m² olarak hesaplanmıştır. Binaların yıllık işletme enerjileri XPS ve taş yünü yalıtım malzemeli betonarme binalar için sırası ile 0,205 GJ/m² ve 0,211 GJ/m² olarak gerçekleşirken, selülozik ve taş yünü yalıtım malzemeli ahşap iskeletli binalar için sırası ile 0,198 GJ/m² ve 0,199 GJ/m² olarak hesaplanmıştır. Binaların 50 yıllık kullanım süresi boyunca harcadıkları enerji miktarı oranları Tablo 8 ile verilmektedir.

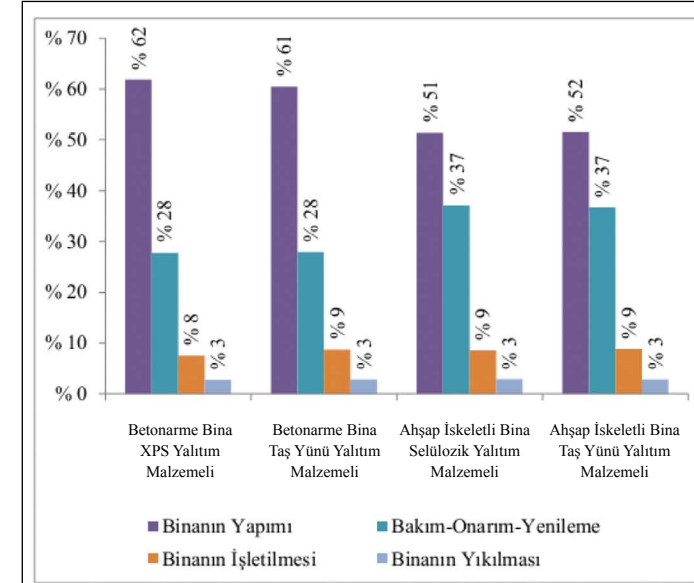
Tablo 9 ve Şekil 6 ile binaların 2. durum için yaşam döngüsü aşamalarında harcanan enerji miktarları ve oranları gösterilmiştir. Bu değerlere bakılacak olduğunda, taş yünü yalıtım malzemeli betonarme bina ile XPS yalıtım malzemeli betonarme binanın enerji tüketimleri birbirine çok yakın olmakla birlikte, XPS yalıtım malzemeli betonarme binanın enerji tüketiminin en yüksek olduğu görülecektir.

Tablo 8. 1. Durum İçin Binaların Yaşam Ömrü Süresince Birim Alan Başına Enerji Tüketim Miktarları

Yaşam Döngüsü Aşamaları	Betonarme Bina		Ahşap İskeletli Bina	
	XPS Yalıtım Malzemeli (MJ/m ²)	Taş Yünü Yalıtım Malzemeli (MJ/m ²)	Selülozik Yalıtım Malzemeli (MJ/m ²)	Taş Yünü Yalıtım Malzemeli (MJ/m ²)
Binanın Yapımı	9.783	9.520	5.626	5.755
Bakım-Onarım-Yenileme	3.740	3.740	3.740	3.740
Binanın İşletilmesi	10.234	10.537	9.881	9.987
Binanın Yıkılması	502	502	386	386

Tablo 9. Binaların 2. Durum İçin Yaşam Döngüsü Aşamalarındaki Enerji Tüketim Miktarları

Yaşam Döngüsü Aşamaları	Betonarme Bina		Ahşap İskeletli Bina	
	XPS Yalıtım Malzemeli (MJ)	Taş Yünü Yalıtım Malzemeli (MJ)	Selülozik Yalıtım Malzemeli (MJ)	Taş Yünü Yalıtım Malzemeli (MJ)
Binanın Yapımı	652.927	637.262	405.593	413.257
Bakım-Onarım-Yenileme	293.350	293.350	293.350	293.350
Binanın İşletilmesi	79.550	91.250	67.700	70.900
Binanın Yıkılması	29.888	29.879	22.985	22.991
Toplam	1.055.715	1.051.741	789.628	800.498



Şekil 6. Binaların 2. Durum İçin Yaşam Döngüsü Aşamalarındaki Enerji Tüketim Oranları

Binalara fotovoltaik paneller ve güneş kolektörlerinin kurulu olduğu 2. durumda, binanın en yüksek enerji tüketiminin gerçekleştiği işletme aşamasındaki tüketim miktarı tüm binalar için ise %8-9 seviyelerine gerilemektedir. Ancak binalarda yeni kurulan sistemler, binanın yapımı ve bakım-onarım-yenileme aşamasındaki enerji tüketimlerinin yükselmesine neden olmuştur. 2. durumda, binaların gömülü enerji miktarları XPS ve taş yünü yalıtım malzemeli betonarme binalar için sırası

Tablo 10. 2. Durum İçin Binaların Yaşam Ömrü Süresince Birim Alan Başına Enerji Tüketim Miktarları

Yaşam Döngüsü Aşamaları	Betonarme Bina		Ahşap İskeletli Bina	
	XPS Yalıtım Malzemeli (MJ/m ²)	Taş Yünü Yalıtım Malzemeli (MJ/m ²)	Selülozik Yalıtım Malzemeli (MJ/m ²)	Taş Yünü Yalıtım Malzemeli (MJ/m ²)
Binanın Yapımı	10.974	10.710	6.817	6.945
Bakım-Onarım-Yenileme	4.930	4.930	4.930	4.930
Binanın İşletilmesi	1.337	1.534	1.138	1.192
Binanın Yıkılması	502	502	386	386

ile 16,41 GJ/m² ve 16,14 GJ/m² olarak gerçekleşirken, selülozik ve taş yünü yalıtım malzemeli ahşap iskeletli binalar için sırası ile 12,13 GJ/m² ve 12,26 GJ/m² olarak hesaplanmıştır.

Binaların 50 yıllık kullanım süresi boyunca harcadıkları enerji miktarı oranları Tablo 10 ile verilmektedir.

Bunun yanında, binanın yapımı için harcanan enerji miktarlarına bakılacak olduğunda, ahşap iskeletli binaların betonarme binalara göre ilk durumdaki gibi daha üstün olduğu görülmektedir. Bu oran, betonarme binalarda %60-62 seviyelerinde gerçekleşirken, ahşap iskeletli binalarda ise ilk duruma göre %51-52 seviyelerine yükseldiği görülmektedir. Binada yapılan bakım-onarım-yenileme işlemlerinde sadece malzeme

me değişimleri dikkate alındığından, bu aşamadaki enerji tüketimleri eşit alınmıştır.

Binaların kullanımları süresince enerji tüketimleri daha yoğun olmasına rağmen, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmış olması nedeniyle, betonarme binalar için enerji tüketimi %8-9 oranlarına ve ahşap iskeletli binalarda ise %9 oranına kadar düştüğü görülecektir. Bu durum, diğer aşamalardaki enerji kullanım oranının yükselmesine neden olacaktır. Yıkım ve atıkların taşınması aşamasındaki enerji tüketimi ise tüm binalar için %3 seviyelerinde gerçekleşmiştir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, XPS ve taş yünü yalıtım malzemeli betonarme bina ile selülozik ve taş yünü yalıtım malzemeli ahşap iskeletli bina tasarımlarının yaşam döngüsü aşamalarındaki enerji tüketimleri incelenerek karşılaştırılmıştır.

Karşılaştırmada, fotovoltaik paneller ve güneş kolektörlerinin kurulu olmadığı 1. durum ile yenilenebilir enerji kaynağı olarak güneşi kullanan bu sistemlerin kurulu ve çalışır olduğu 2. durum arasındaki değişimler incelenmiştir.

Binaların enerji tüketim hesaplamaları, binanın yapımı, bakım-onarım-yenileme, işletilmesi ve yıkımı aşamaları için gerçekleştirilmiştir.

Buna göre 1. durumda, betonarme binaların yapımı aşamasında en yüksek enerji tüketimi XPS yalıtım malzemeli betonarme binada görülürken, en düşük enerji tüketimi bor içeren selülozik yalıtım malzemeli ahşap iskeletli binada görülmektedir. Tüm binalarda aynı bakım-onarım-yenileme işlemlerinin yapılması nedeniyle, eşit miktarda enerji harcanmış ve bu aşamadaki enerji tüketimleri de aynı miktarda gerçekleşmiştir. İşletim sürecinde taş yünü yalıtım malzemeli betonarme binanın yıllık enerji tüketimi en yüksek enerji tüketimine sahiptir. Binaların yıkımı aşamasında ise betonarme binaların enerji tüketimi ahşap iskeletli binalara göre daha fazla miktarlarda gerçekleşmiştir.

Bu çalışmanın sonucunda, yaşam döngüsü aşamaları ve unsurlarının enerji tüketimleri incelenmiş ve en az miktarlarda kullanılan malzemelerin bile, binanın toplam enerji tüketimleri üzerinde kayda değer tesiri olduğu görülmüştür. Binalarda yaşam döngüsü enerji miktarlarının en aza indirilmesi için, hem gömülü enerjilerin hem de ısıtma, soğutma sıcak su ihtiyacının karşılanması için harcanan enerjiler gibi, binalarda tüketilen enerjilerin göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Binalarda yenilenebilir enerji kaynağı olarak güneşi kullanan sistemlerin kurulmasıyla binaların gömülü enerji miktarlarında artışlar meydana gelmiştir. Ancak bu durum, binaların işletme enerjilerinde %87 oranında azalma sağlamıştır. Daha önce yapılan çalışmalarda da yaşam döngüsü aşamaları içerisinde en yüksek enerji tüketimi binaların işletilmesi aşama-

sında gerçekleştiği doğrulanmıştır. Yenilenebilir enerji kullanımının da bu aşamadaki enerji tüketimlerinin azaltılması için uygun bir yol olacağı görülmektedir. Ayrıca binaların enerji tüketimlerinin düşürülmesi için kullanılan sistemler binaların yapım aşamasındaki maliyetlerinde artış göstermektedir. Ancak bu artış, binanın yaşam döngüsü maliyetlerinde azalmalar olarak karşımıza çıkmaktadır.

KAYNAKÇA

1. **Ramesh, T., Prakash, R., Shukla, K. K.** 2010. "Life Cycle Energy Analysis of Buildings: An Overview," Energy and Buildings, vol. 42, p. 1592-1600.
2. **Çamur, C.** 2010. "Isı Yalıtım Malzemelerinin Yaşam Döngüsü Değerlendirme Yöntemiyle Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi," Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
3. **Çetiner, İ., Metin, B.** 2011. "Enerji Etkin Konut Yenilemelerinde Enerji Tüketimi ve Yaşam Dönemi Maliyetlerinin Değerlendirilmesi: İstanbul Örneği," X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 13-16 Nisan 2011, İzmir.
4. **Cole, R. J., Kernan, P. C.** 1996. "Life-Cycle Energy Use in Office Buildings," Building and Environment, vol. 31, p. 307-317.
5. **Adalberth, K.** 1997. "Energy Use During the Life Cycle of Buildings: A Method," Building and Environment, vol. 32, p. 317-320.
6. **Gerilla, G. P., Teknomo K., Hokao, K.** 2007. "An Environmental Assessment of Wood and Steel Reinforced Concrete Housing Construction," Building and Environment, vol. 42, p. 2778-2784.
7. **Ramesh, T., Prakash, R., Shukla, K. K.** 2012. "Life Cycle Energy Analysis of a Residential Building with Different Envelopes and Climates in Indian Context," Applied Energy, vol. 89, p. 193-202.
8. **Citherlet, S., Defaux, T.** 2007. "Energy and Environmental Comparison of Three Variants of a Family House during Its Whole Life Span," Building and Environment, vol. 42, p. 591-598.
9. **Bribián, I. Z., Capilla, A. V., Uson, A. A.** 2011. "Life Cycle Assessment of Building Materials: Comparative Analysis of Energy and Environmental Impacts and Evaluation of the Eco-Efficiency Improvement Potential," Building and Environment, vol. 46, p. 1133-1140.
10. **EMSD,** 2006. Consultancy Study in Life Cycle Energy Analysis of Building Construction: Final Report, Electrical and Mechanical Services Department, Hong Kong.
11. **Taygun, G. T.** 2005. "Yapı Ürünlerinin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesine Yönelik Bir Model Önerisi," Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
12. **Lippiatt, B. C.** 1998, "BEES 1.0 Building for Environmental and Economic Sustainability Technical Manual and User Guide," <http://fire.nist.gov/bfrlpubs/build98/PDF/b98062.pdf>, son erişim tarihi: 08 Ekim 2014.