



**Bu bir MMO
yayıdır**

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

KONUT BİNALARININ YAŞAM DÖNEMİNDEKİ ENERJİ TÜKETİMİ VE YAŞAM DÖNEMİ MALİYETİNİN HESAPLANMASI

K. FERİT ÇETİNTAŞ
İSTANBUL AREL ÜNİVERSİTESİ

ZERRİN YILMAZ
İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ



KONUT BİNALARININ YAŞAM DÖNEMİNDEKİ ENERJİ TÜKETİMİ VE YAŞAM DÖNEMİ MALİYETİNİN HESAPLANMASI

Kemal Ferit ÇETİNTAŞ
Zerrin YILMAZ

ÖZET

Bilindiği gibi, dünya üzerinde yer alan binaların önemli bir kısmını konut binaları oluşturmaktadır. Konut binaları enerji tüketimleri, kaynak kullanımı ve bunlara bağlı olarak neden oldukları karbon salımları nedeniyle küresel ısınma gibi önemli bir çevre sorununda etkin rol oynamaktadır. Binalar inşa edildikleri malzemelerin ham madde olarak çıkarılmasından itibaren, üretilmesini, taşınmasını, inşa edilmesini, kullanılmasını ve hizmet ömrü bittikten sonra yıkılıp atık haline gelmesini içeren yaşam dönemi sürecinin farklı safhalarında farklı miktarda enerji tüketerek karbon salımına neden olmaktadır. Bu nedenle günümüzde binaların yaşam dönemi boyunca enerji etkin olarak tasarlanması büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada referans olarak seçilen TOKİ'nin C tipi konut bloğunun yaşam dönemindeki enerji tüketimi hesaplanarak oluşturulan alternatifler ile karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışma sayesinde tasarım aşamasında alınan kararların binaların yaşam dönemindeki enerji tüketimi ve buna bağlı olarak gerçekleşen karbon salınımı üzerindeki etkisi irdelenmiştir. Referans bina ve oluşturulan alternatiflerin yaşam dönemi maliyet hesaplamaları da yapılarak enerji tüketimi ve yaşam dönemi maliyetleri karşılaştırılarak enerji tüketimi ve maliyet açısından etkin alternatifler belirlenmeye çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yaşam enerji tüketimi, Yaşam dönemi maliyeti, Karbon salınımı.

ABSTRACT

As it is known most of the buildings in the world are dwellings. Energy consumption in dwellings and carbon emission which is formed of energy consumption, play a major role in environmental and economical problems. Buildings consume different amount of energy and cause carbon emissions in their life cycle which formed of raw materials extraction, transportation to construction site, building usage and demolition. Therefore, energy efficient building design is a major goal in architectural design. In this study, C type housing block of TOKİ building application has chosen as a reference building life cycle energy consumption and life cycle cost are calculated and compared to other alternatives. Some design alternatives are calculated in life cycle energy consumption and life cycle cost too. Effects of decisions which have taken during design stage, on energy consumption and carbon emissions are examined in this study. Relationship between life cycle energy consumption and life cycle cost has studied in reference building and design alternatives. Therefore, life cycle energy and cost optimised design alternatives try to be determined.

Key Words: Life cycle energy consumption; Life cycle cost, Carbon foot print.

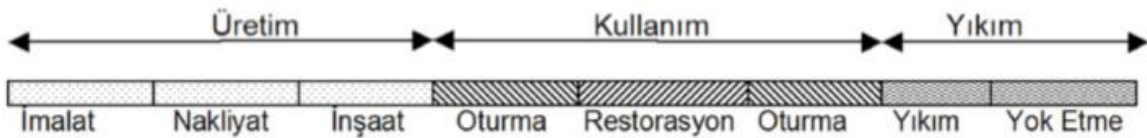
1. GİRİŞ

Enerji tüketimi hem neden olduğu karbon salınımı nedeniyle ciddi çevresel sorunlara hem de tüketimin getirdiği ekonomik sorunlara neden olmaktadır. Bahsedilen bu sorunlar günümüzün en önemli sorunları içerisinde üst sıralarda yer almaktadır. Enerji tüketiminin büyük bir kısmı konutlarda gerçekleşmektedir. Konutlarda tüketilen enerjinin büyük bir kısmı ise ısıtma ve soğutma gereksinimleri için ihtiyaç duyulan enerji miktarı oluşturmaktadır. Bu nedenlerden dolayı enerji etkin bina tasarımı günümüzde mimari tasarım açısından önemli bir hedef haline gelmiştir. Enerji etkin bina tasarımı, mimari tasarımdan, malzeme seçimi ve mekanik sistem tasarımına kadar geniş bir alanı kapsamaktadır. Son yıllarda tasarıma farklı disiplinleri de katarak tasarım problemini bütüncül bir bakış açısı ile irdeleyen yöntemler ön plana çıkmaktadır. Binaların yaşam dönemi sürecinde enerji etkin olarak tasarlanması enerji verimliliğinin sağlanması açısından önemlidir. Binalar, binayı oluşturan malzemelerin üretimi, şantiyeye nakliyesi, binanın inşası, binanın kullanım dönemi ve yıkım sürecini kapsayan yaşam döneminin farklı safhaların farklı miktarlarda enerji tüketmektedir. Bir binanın enerji etkin olarak tasarlanabilmesi için sadece kullanım döneminde enerji verimli olarak değil üretim ve yıkım aşamalarında da enerji etkin performans göstermesi gerekmektedir. Binalarda enerji verimliliğini sağlamaya yönelik üretilen çözümler çevresel açıdan önemli de olsa bu çözüm alternatiflerinin ekonomik açıdan da incelenmesi esastır.

Bu çalışmada binaların yaşam dönemindeki enerji tüketimini hesaplamasını sağlayan yöntem anlatılarak bu yöntem ile Türkiye’de bir konut binası ve alternatif önerilerin yaşam dönemi enerji tüketimleri ve buna bağlı olarak değişen yaşam dönemi maliyetleri irdelenmiştir.

2. YAŞAM DÖNEMİ ENERJİ TÜKETİMİNİN HESAPLANMASI

Yaşam dönemi enerji analizi binaların yaşam dönemi sürecinde tükettiği enerji miktarını analiz etmek için yaşam dönemi değerlendirme yönteminden yola çıkılarak oluşturulmuş bir yöntemdir. Bu yöntemde yaşam dönemi diye tanımlanan dönem, üretim, kullanım ve yıkım olmak üzere üç farklı dönemden oluşmaktadır (Şekil 1) [1]. Üretim evresi, yapıyı oluşturan malzemelerin ham maddelerinin çıkartılması, fabrikaya getirilmesi, üretilmesi, şantiye ortamına nakliyesi ve yapının inşa edilmesi sürecini kapsamaktadır. Kullanım evresi, yapının kullanım dönemi ve bu dönemde ihtiyaç duyduğu yenileme, bakım ve onarım çalışmalarını kapsamaktadır. Yıkım evresi ise, yapının hizmet ömrü dolduktan sonra yıkılması ve oluşan atıkların geri dönüşümü ve/veya bertaraf edilmesi sürecini kapsamaktadır.



Şekil 1. Yapının yaşam dönemi sürecinde geçirdiği evreler [1].

Binalar yaşam dönemi olarak tanımlanan bu sürecin farklı safhalarında farklı miktarda enerji tüketmekte ve bu tüketime bağlı karbon salınımına neden olmaktadır. Bu nedenle binalarda enerji verimliliği ve enerji tüketiminin neden olduğu çevresel sorunlar üzerine çalışılırken binanın yaşam dönemi dikkate alınmalıdır. CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation) tarafından yapılan bir araştırmada bir konutun üretim sürecindeki enerji tüketimi konutun yaşam dönemi enerji tüketimi toplamının yaklaşık %10'undan fazla olduğu görülmüştür [2]. Bu değer konutun kullanım döneminde yaklaşık 15 yıllık enerji tüketimine eş değerdir. Binaların yaşam döneminde enerji tüketimini 1996 yılında K. Adalberth'in çalışmasında ortaya koyduğu eşitlik yardımı ile hesaplanabilir. Buna göre bir binanın yaşam dönemi sürecindeki enerji tüketimi,

$$YDET = Q_{\text{üretim}} + Q_{\text{nakliye}} + Q_{\text{inşaat}} + Q_{\text{kullanım}} + Q_{\text{yenileme}} + Q_{\text{yıkım}} \quad (1)$$

YDET : Yaşam dönemi enerji tüketimi (GJ)

$Q_{\text{üretim}}$: Yapı malzemesinin üretimi için tüketilen toplam enerji miktarı (GJ)

Q_{nakliye} : Yapı malzemesinin fabrikadan şantiyeye nakliyesinde tüketilen toplam enerji miktarı (GJ)

$Q_{\text{inşaat}}$: Binanın inşası esnasında için tüketilen toplam enerji miktarı (GJ)

$Q_{\text{kullanım}}$: Binanın kullanım döneminde tükettiği toplam enerji miktarı (GJ)

Q_{yenileme} : Binanın kullanım döneminde ihtiyaç duyduğu bakım, onarım ve yenileme için tüketilen toplam enerji miktarı (GJ)

$Q_{\text{yıkım}}$: Bina hizmet ömrünü tamamladıktan sonra yıkımı için tüketilen toplam enerji miktarı (GJ)

2.1. Üretim Dönemi Enerji Tüketiminin Hesaplanması:

Bir binanın üretim döneminde tükettiği enerji yapı malzemelerinin üretimi için gerekli enerji miktarı, malzemelerin şantiye ortamına nakliyesi için tüketilen enerji miktarı ve binanın inşası için ihtiyaç duyulan enerji miktarının toplamına eşittir. Bu dönemde yapı malzemelerinin üretimi için gerekli enerji miktarı, hammaddenin çıkartılması, fabrikaya getirilmesi ve üretildiği süreçte ihtiyaç duyulan enerji miktarı gibi karmaşık bir sürecin sonunda tüketilen net enerji miktarını ifade etmektedir. Bu hesaplamalar bireysel olarak yapılamayacak kadar karmaşık ve zor olmakla birlikte yüksek miktarda veri ve karmaşık yöntemlere ihtiyaç duymaktadır. Ancak bu hesaplamalar dünyada çeşitli kuruluşlar tarafından yapılarak bazı malzemelerin üretimi için tüketilen net enerji miktarı tablolar halinde kamuoyunun bilgisine sunulmaktadır [3,4]. Tablo 1’de bazı yapı malzemelerinin üretimi için ihtiyaç duyulan net enerji miktarı görülmektedir [3]. Tablodan da görüldüğü gibi yapı malzemesi üretiminde kullanılan hammadde ve üretim tekniği yapı malzemesinin üretim enerjisini etkilemektedir. Yapıda enerji tasarrufu doğru malzeme seçimi ile başlamaktadır. Üretim enerjisi yüksek malzemelerin seçilmesi yapının üretim safhasında enerji tüketimi ve karbon salımını arttıracığından enerji verimliliği açısından istenmeyen sonuçların oluşmasına neden olacaktır. Bir binadaki yapı malzemelerine bağlı üretim enerjisi aşağıdaki eşitlik yardımı ile hesaplanabilir [1].

$$Q_{\text{üretim}} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot \left(1 + \frac{w_i}{100} \right) \cdot M_i \quad (2)$$

Bu formülde n = yapı malzemelerinin sayısı, i = ilgili yapı malzemeleri, m_i = yapı malzemesinin miktarı i (ton), w_i = yapının inşası sırasında kullanılan malzeme fire faktörü (%), ve M_i = inşaat malzemesinin üretimi için kullanılan enerjiyi kWh/ton cinsinden ifade etmektedir [1].

Tablo 1. Çeşitli yapı malzemelerinin üretim enerjisi değerleri [3].

| Malzeme | Net enerji MJ/Kg | Karbon Salımı kg CO ² /kg |
|----------------------|------------------|--------------------------------------|
| Agrega | 0,08 | 0,00 |
| Donatılı beton | 1,11 | 0,16 |
| Tuğla (Genel) | 3,00 | 0,24 |
| Gazbeton blok | 3,50 | 0,30 |
| Çelik | 56,70 | 6,15 |
| PVC (Genel) | 77,20 | 28,10 |
| Cam | 15 | 0,85 |
| Cam yünü | 28 | 12.785 |
| Taş yünü | 16,80 | 40.644 |
| Poliüretan izolasyon | 101,50 | 17.593 |
| Çimento harcı | 1,33 | 0,21 |
| Mermer | 2,00 | 0,12 |
| Ahşap | 10 | 0,72 |

Üretim döneminin bir başka safhasını ise yapı malzemelerinin üretildikleri fabrikadan şantiye ortamına nakliyesidir. Bu süreç içerisinde tüketilecek net enerji miktarı nakliye mesafesi ve seçilecek nakliye tipine göre değişkenlik göstermektedir. Nakliyelerde tüketilecek enerji miktarının hesaplanmasında da çeşitli kuruluşların yaptığı çalışmalardan elde edilen ortalama verilerden yararlanılabilir [1,3,4]. Tablo 2'de çeşitli nakliyat tiplerine göre enerji tüketim miktarları görülmektedir. Binalarda enerji verimliliği açısından yapı malzemelerinin mümkün olduğu kadar yakın çevreden temin edilmesi gerekmektedir. Yapı malzemelerinin yapının inşa edileceği yerden uzak bölgelerden temin edilmesi nakliye enerjisi, üretim enerjisi ve bunlara bağlı olarak karbon salımlarının da artmasına neden olacaktır.

Tablo 2. Nakliyat tipine göre birincil enerji tüketim değerleri [1].

| Nakliyat Şekli | Nakliye Enerjisi (kWh/ton km) |
|-----------------------------------|-------------------------------|
| Karayolu, uzun mesafe >50 km | 0,28 |
| Karayolu, kısa mesafe < 50 km | 0,75 |
| Denizyolu kıyı taşımacılığı | 0,13 |
| Denizyolu deniz aşırı taşımacılık | 0,06 |

Binanın inşası sürecinde yapılan işlemlere göre tüketilen enerji miktarı, üretim sürecinin son safhasını oluşturmaktadır. İnşaat sürecinde yapılan işe ve kullanılan iş makinelerine göre tüketilen enerji miktarı değişkenlik göstermektedir. Ancak bu tüketimi hesaplamak çeşitli varsayımlara dayalı olduğundan hem karmaşık hem de hataya açık bir süreçtir. Yapılan literatür taramasında çeşitli çalışmalarda gözleme ve hesaplamalara dayalı çalışmalarda bazı inşaat işlemleri için ortalama değerler elde edilmiştir (Tablo 3) [1,4]. Bu konuya yapılan çalışmalar incelendiğinde binaların inşa edildiği süreçte tüketilen enerji miktarı hem tüm süreç içerisinde çok küçük bir düzeyde olduğundan hem de bu sürecin hesaplanmasının karmaşık ve güç olduğundan dolayı ihmal edildiği görülmüştür [8].

Tablo 3. Binaların yapım sırasında çeşitli işlemlerde kullanılan enerji tüketim değerleri [1].

| İşlemin cinsi | Enerji Miktarı |
|-------------------------------------|-----------------------------------|
| İnşaat standart betonun kurutulması | 44 kWh/ton |
| Betonun elemanın kurutulması | 25 kWh/ton |
| Temel kazılması ve hafriyat | 32 kWh/ton |
| Toprağın düzeltilmesi | 3 kWh/ton |
| Vinçle kaldırma | 2 kWh/ton |
| İnşaatın ışıklandırılması | 26 kWh/m ² taban alanı |
| İnşaatın ısıtılması | 26 kWh/m ² taban alanı |
| Şantiyenin ısıtılması | 14 Wh/m ² taban alanı |

2.2. Kullanım Dönemi Enerji Tüketiminin Hesaplanması:

Binanın kullanım dönemindeki enerji tüketimi, binanın hizmet ömrü süresince ısıtma, soğutma, havalandırma, aydınlatma ve sıcak su hazırlama gibi sistemlerinin tükettiği net enerji miktarı ile yine bu süreçte binanın ihtiyaç duyduğu bakım, onarım ve yenileme çalışmaları için tüketilecek enerji miktarının toplamına eşittir.

$$Q_{\text{kullanım}} = Q_{\text{kullanım yıllık}} \times \text{Bina hizmet ömrü} + Q_{\text{yenileme}} \quad (3)$$

$Q_{\text{kullanım}}$: Bina kullanım dönemi operasyonel enerji tüketimi (GJ)

$Q_{\text{kullanım yıllık}}$: Bina yıllık operasyonel enerji tüketimi (GJ)

Bina hizmet ömrü : Binanın hizmet süresi (Yıl)

Q_{yenileme} : Binanın bakım, onarım ve yenilme gibi ihtiyaçları için tüketilecek enerji miktarı (GJ)

Bina yaşam dönemi süreci içerisinde binanın kullanım dönemindeki enerji tüketimi en büyük payı almaktadır. Bu nedenle enerji verimliliği açısından binaların asgari düzeyde enerji tüketen şekilde tasarlanması büyük önem taşımaktadır. Binalar enerji tüketimi açısından birbiri ile çelişen

gereksinimleri (ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma) karşılamak zorunda olduğundan dolayı bu gereksinimler arasında optimum çözümün bulunması gerekmektedir. Binaların kullanım dönemindeki ısıtma, soğutma, aydınlatma, havalandırma ve sıcak su ihtiyacı için gerekli olan enerji miktarının hesaplanmasında çeşitli enerji simülasyon programlarından faydalanıla bilinir.

Binanın kullanım süreci içerisinde enerji tüketimine neden olan bir diğer safha ise bu süreçte binanın ihtiyaç duyabileceği bakım, onarım ve yenileme çalışmaları için tüketilecek enerji miktarıdır. Binaların kullanım döneminde ihtiyaç duyacağı bakım, onarım ve yenileme çalışmaları çok fazla parametreye bağlı olduğundan binanın ne türde ve hangi miktarda bir çalışmadan geçebileceğini tahmin edebilmek oldukça güçtür. Bu aşamada temel yaklaşım malzeme ya da yapı elemanlarının hizmet ömründen hareket ederek hizmet ömrü dolan yapı malzemesi ya da elemanının değişeceği kabulüne göre yapılmaktadır [1]. Bu konuda daha önce yapılmış çalışmalar neticesinde oluşturulan tablolardan yararlanıla bilinir[1,5]. Bu çalışmadan EN 15459 nolu Avrupa standardında yer alan bina elemanlarına ilişkin hizmet ömürleri dikkate alınmıştır [5]. Tablo 4’de bazı yapı malzemesi ve elemanlarına ait hizmet süreleri yer almaktadır [1]. Yapılan kabullere göre binanın yaşam döneminde geçireceği bakım onarım türüne göre ihtiyaç duyulan yapı malzemesi miktarı belirlenerek 2 nolu eşitlik yardımı malzemeye bağlı üretim enerjisi ile nakliye enerjisi hesaplanarak binanın yenileme için ihtiyaç duyacağı enerji miktarı hesaplanır. Dayanıklılığı yüksek yapı malzemelerinin seçimi binanın daha az bakım, onarım ve yenilemeye ihtiyaç duymasını sağlayacağından dolayı enerji tasarrufu açısından önemli bir kriterdir.

Tablo 4. Bazı yapı elemanı ve malzemelerinin ömrü [1,5].

| Yapı Elemanı / Yapı Malzemesi | Ömür (Yıl) |
|---|------------|
| Yapı çerçevesinin ömrü (dış ve iç Duvarlar, Hatıllar, Temel, yalıtım) | 50 |
| Yer döşemeleri | 50 |
| Su Boruları ve Elektrik Kabloları | 30 |
| Havalandırma Kanalları | 30 |
| Ahşap paneller | 30 |
| Kapı ve Pencereleler | 30 |
| Dolaplar ve Mutfak Dolapları | 30 |
| Kiremitler ve yağmur olukları | 30 |
| Halılar | 17 |
| Su ısıtıcısı | 16 |
| Beyaz Eşya | 12 |
| Boya ve Duvar kâğıdı | 10 |
| Mekanik sistem (ortalama) | 25 |

2.3. Yıkım Dönemi Enerji Tüketiminin Hesaplanması:

Yıkım dönemi, binanın hizmet ömrünü tamamladıktan sonra yıkılması ve elde edilen inşaat atıklarının hammaddeye geri dönüştürülmesi ve/veya bertaraf edilmesi sürecini kapsamaktadır. Bir binanın yıkımı için tüketilecek enerji miktarı binanın büyüklüğü ve binanın yıkımında kullanılacak tekniğe göre değişkenlik göstermektedir. Binanın yıkımı için tüketilecek enerji miktarını hesaplamak için yapılmış çeşitli çalışmalardan elde edilen ortalama veriler binanın alanı ile çarpılarak tüketilecek enerji miktarı yaklaşık olarak hesaplanabilir [6,7]. Elde edilen atıkların geri dönüşümü ya da bertaraf edilmesi konusunda malzemelerin üretim enerjilerinde yararlanılan veri tabanlarından yararlanılabilir. Diğer süreçlerde olduğu gibi bu süreçte de hesaplamalar belirli kabullere dayanarak yapılmaktadır. Binanın yıkım döneminde tüketilen enerji miktarı tüm süreç içerisinde oldukça düşük bir paya sahip olduğundan dolayı bu alanda yapılan çalışmada bu safha ihmal edilmektedir [8]. Binalarda enerji verimliliği söz konusu olduğunda enerji verimliliği salt kullanım döneminde önem verilmemeli, üretim ve yıkım dönemleri de ayrıca düşünülmelidir. Binaların mümkün olduğunca üretim enerjisi düşük ve az atık üretecek ya da geri dönüştürülebilecek malzemelerden inşa edilmesi binaların yaşam dönemi sürecinde çevreye olan etkilerinin en aza indirgenebilmesi için önem arz etmektedir.

3. YAŞAM DÖNEMİ MALİYETİNİN VE OPTİMUM MALİYETİN HESAPLANMASI:

Binalarda enerji verimliliğinin sağlanmasının önemli olduğu kadar bu verimliliğin ekonomik olarak da kabul edilebilir sınırların içerisinde olması ekonomik sürdürülebilirlik açısından önemlidir. Bu nedenle binalarda enerji verimliliğini sağlamak adına yapılan işlemlerin ekonomik yönden de incelenmesi gerekmektedir. Binaların enerji tüketimi binanın yaşam dönemi sürecinde incelenebildiği gibi binanın maliyeti de binanın yaşam dönemi sürecinde incelenebilmektedir. Yaşam dönemi maliyeti analizi bir binanın yaşam dönemi sürecindeki maliyetinin analiz edilmesi esasına dayanır ve günümüzde bina projelerinde önemli bir karar verme aracı olarak kullanılmaktadır. Yaşam dönemi maliyeti temel olarak binanın ilk yatırım maliyeti, işletim maliyeti ve ömrü sonunda hurda değerinin toplamına eşittir. Bu eşitliğin hesaplanmasına yönelik çeşitli yöntemler mevcuttur.

Enerji verimliliği ve maliyet arasındaki ilişki incelendiğinde karar alınabilmesi için iki veri arasındaki optimum çözüm aralığının bulunması gerekmektedir. Bu alanda yapılmış en önemli çalışma Avrupa Birliği tarafından yayınlanan ve 2010 yılında revize edilen Binalarda Enerji Performansı Direktifidir (EPBD) [9]. EPBD'nin 2010 yılında revize edilmiş haline binalarda enerji verimliliğinin maliyet etkin bir şekilde gerçekleştirilmesi zorunlu kılınmakta ve bu konuda başvurulacak bir metot önerilmektedir. Temel olarak bu metot referans bina belirlenerek enerji verimliliğini sağlamak adına üretilen alternatiflerin hem enerji performansı hem de yaşam dönemi maliyeti hesaplamalarının yapılması ve sonuçların referans bina sonuçları ile karşılaştırılarak optimum çözüm yada çözüm aralığının bulunması amaçlanmaktadır. EPBD önerilen metot bir tavsiye niteliğinde olup AB'ye üye ülkelerin kendi koşullarına göre metodu revize ederek kullanmaları beklenmektedir.

Bu çalışmadaki optimum maliyet hesaplamaları EPBD'de önerilen metot kullanarak yapılmıştır [9]. Optimum maliyet analizlerinin yapılabilmesi için yaşam dönemi maliyet analizinin yapılması gerekmektedir. Yaşam dönemi maliyet analizleri ise EPBD'de belirtilen net bugünkü değer yöntemi ile yapılmaktadır. Net bugünkü değer yöntemi, gelecek yıllar için hesaplanmış olan kazanç ve maliyetlerin buldukları yıla ait indirim faktörü ile çarpılarak gelecekteki bu maliyetlerin hesaplamasının başladığı yıla ait değeri bulunur ve değerlendirme bugünkü değer üzerinden yapılır [9]. Optimum maliyet analizleri kapsamında gerçekleştirilen maliyet hesaplarında, değerlendirilen her bir enerji verimliliği alternatifi için sabit olan maliyetler ile binanın enerji performansına etki etmeyen bina elemanlarına ait maliyetler hesaba katılmaz, diğer tüm maliyetler değerlendirmeye alınır [9].

EPBD'de optimum maliyet hesaplamaları için yaşam dönemi süresi konut işlevli binalar ile kamu binaları için 20 yıl, diğer binalar için 30 yıl olarak kabul edilmektedir [9]. Hesaplama için ise, iki farklı hesap şekli sunulmaktadır. Bunlardan biri kişisel harcamaları dikkate alan finansal hesaplama iken, diğeri makroekonomik hesaplama. Finansal hesaplama, ilk yatırım maliyetleri, işletim maliyetleri, enerji giderleri ve binanın ömrünün sona ermesiyle oluşan bertaraf bedeli hesaplamalara dahil edilir. Bu hesaplamada vergiler de hesaplamada kullanılır ve aşağıdaki eşitlik yardımı ile hesaplanır [9].

$$C_g(\tau) = C_1 + \sum_j \left[\sum_{i=1}^{\tau} (C_{a,i}(j) \times R_d(i)) - V_{f,\tau}(j) \right] \quad (4)$$

τ : hesaplama süresi

$C_g(\tau)$: toplam maliyet

C_1 : İlk yatırım maliyeti

$C_{a,i}(j)$: Yıllık giderler

$V_{f,\tau}(j)$: binanın, hesaplama süresi sonunda kalan bedeli

$R_d(i)$: i yılı için indirim oranı, eşitlik 2 ile hesaplanır.

$$R_d(p) = \left(\frac{1}{1 + r/100} \right)^p$$

(5)

r : reel indirim oranı

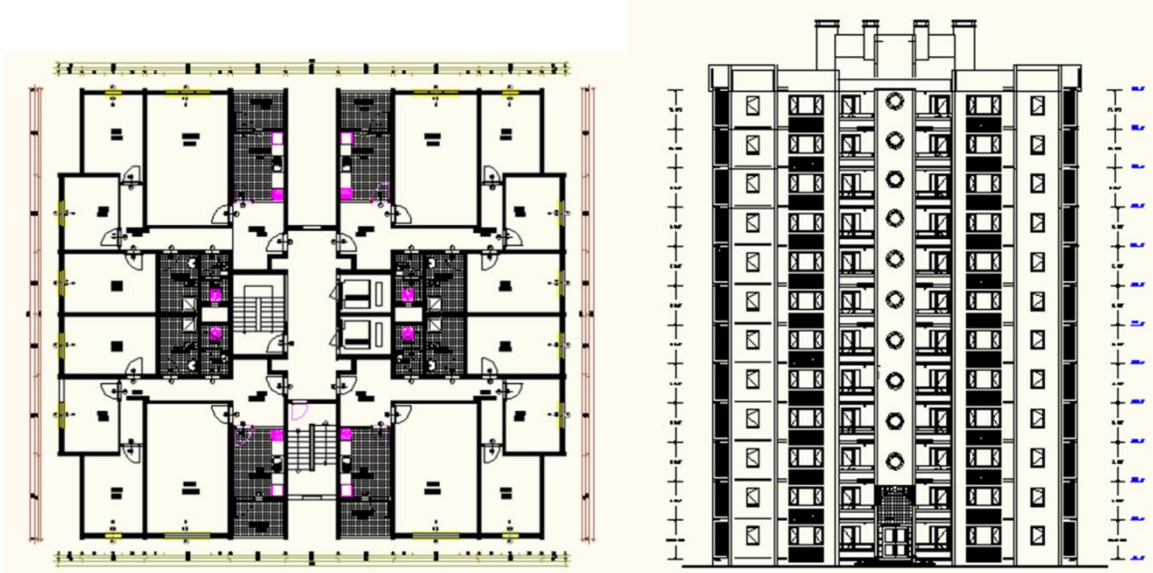
p : hesaplama başlangıç yılından itibaren geçen yıl sayısı

4. YAŞAM DÖNEMİ ENERJİ TÜKETİMİ BELİRLENMESİ VE OPTİMUM MALİYET ANALİZİ YÖNTEMLERİNİN TÜRKİYEDE BİR KONUT BİNASINA UYGULANMASI:

İkinci bölümde anlatılan yöntemler Türkiye’de bir konut binasına uygulanarak bir konut binasının yaşam dönemi sürecinde enerji verimliliği ve maliyet açısından etkin seçeneklerin elde edilmesine çalışılmıştır.

4.1. Referans Binanın Belirlenmesi:

EPBD direktifinde belirtildiği üzere optimum maliyet analizlerinin yapılabilmesinin ilk adımını referans binanın belirlenmesidir. Referans bina belirlenmesi konusu Türkiye’de hala çalışmaları devam eden bir konu olduğu ve kapsamlı çalışmalar gerektiğinden dolayı bu çalışmada kullanılacak referans bina için BEP-TR’de kullanılan referans bina yönteminden faydalanarak sanal bir referans binası oluşturulmaya çalışılmıştır. Bu bağlamda çalışmanın konut binaları ile kısıtlanmasından yola çıkılarak önemli bir konut üreticisi olan TOKİ’nin çoğu ilde çoğunlukla uyguladığı tip konut projelerinden C tipi konut bloğu projesi referans bina olarak belirlenmiştir. Belirlenen referans bina, yaklaşık 560 m² taban alanına sahip 10 katlı, her katta brüt 120 m² lik 4 adet 3 oda ve bir salondan oluşan dairelere sahip bir konut bloğudur (Şekil 2) [10].



Şekil 2. C Tipi Konut bloğu plan ve görünüşleri [10].

4.2. Hesaplamalara İlişkin Yöntemlerin Seçilmesi ve Kabullerin Yapılması:

Yaşam dönemi enerji tüketiminin ve optimum maliyet analizlerinin yapılmasında kullanılacak yöntem ve araçların belirlenerek bu yöntemlerde ihtiyaç duyulan kabullerin yapılması gerekmektedir. Yaşam

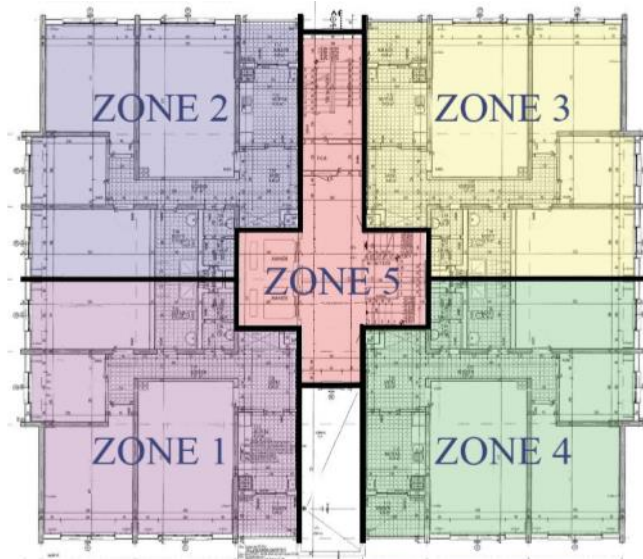
dönemi enerji tüketiminin belirlenmesinde K. Adalberth tarafından yapılan ve ikinci bölümde anlatılan yöntem kullanılmıştır [1]. Bu yöntemle ilişkin yapılan kabuller ve sınırlamalar bir sonraki bölümde detayları ile anlatılmıştır. Optimum maliyet analizlerinin yapılması için EPBD’de önerilen yöntem kullanılmıştır [9].

4.2.1. Yaşam Dönemi Enerji Tüketimi Hesaplamasında Üretim Safhasına İlişkin Kabuller:

Üretim safhası yapıyı ortaya çıkartmakta kullanılan malzemelerin hammaddelerinin çıkartılması, fabrikaya taşınması, üretilmesi ve şantiye alanına taşınması sürecini kapsamaktadır. Bu süreçte malzemelerin oluşum enerjileri ve şantiye alanına getirilene kadar olan nakliye işine ilişkin enerji tüketimi değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Yapılan literatür taramasında inşaat malzemelerinin oluşum enerji değerlerini içeren uluslararası kabul görmüş çeşitli veri tabanları bulunmasına karşın Türkiye’de üretilen yapı malzemeleri için bu değerlere ilişkin bir veri tabanı bulunmamakta, malzeme üreticilerinin herhangi bir çalışması bulunmamaktadır. Hesaplamaların yapılabilmesi için bu verilerin gerekliliği büyük önem arz ettiğinden dolayı uluslararası kabul görmüş veri tabanlarındaki değerler hesaplamalar için referans değer olarak kabul edilmiştir. Bu hesaplamalar için Eco Invent ve Green Spec veri tabanları referans alınmıştır [3,4]. Malzemelerin fabrikadan şantiye ortamına getirilirken ihtiyaç duyulan enerji miktarlarının hesaplanmasında da yine bu veri tabanlarındaki nakliye araçlarının enerji tüketimleri referans alınmış, mesafeler için ise en yakın fabrika ile referans binanın lokasyonuna ilişkin yapılan Halkalı kabulü dikkate alınmıştır.

4.2.2. Yaşam Dönemi Enerji Tüketimi Hesaplamasında Kullanım Safhasına İlişkin Kabuller:

Kullanım safhası binanın kullanımda olduğu süreç içerisinde ihtiyaç duyulan yapısal bakım ve onarımları ve mekanik sistemlerinin tükettiği enerji miktarını kapsar. Kullanım safhasına ilişkin ihtiyaç duyulan ilk kabul binanın hizmet ömrüdür. Yapılan literatür taramasında uluslararası ölçekte ve Türkiye’de de kabul gören konut binaları için 60 yıl hizmet ömrü referans alınmıştır. Binanın yıllık enerji tüketimini hesaplamak için dinamik hesaplama metodunu kullanan Design Builder isimli simülasyon yazılımı kullanılmıştır. Hesaplamaların yapılabilmesi için ihtiyaç duyulan iklimsel veriler yazılımın içerisinde bulunan İstanbul’a ait iklimsel verilerin yer aldığı dosyadan yararlanılmıştır. Binanın ısıtma, soğutma ve aydınlatma yüklerinin belirlenmesine yönelik ihtiyaç duyulan iç ortam ve konfor koşullarına ilişkin kabullerin yapılmasında TS 825 ve BEP standartlarından yararlanılmıştır [11,12]. Binanın kabuğu ve yapısal özelliklerine ilişkin ihtiyaç duyulan veriler için binanın teknik verilerinden yararlanılmıştır. Binada her daire bir ısıl bölge olarak kabul edilmiştir (Şekil 3). Binanın ısıtma ve soğutma sistemi için binanın ısıtma ve sıcak suyunun doğal gaz yakıtlı kazanı olan merkezi ısıtma sistemi ile soğutmanın ise elektrikli bireysel tip klimalar olduğu kabulü yapılmıştır.



Şekil 3. Tip kat planında ısıl bölgeler.

Binanın hizmet ömrü boyunca ihtiyaç duyduğu bakım onarım miktarı ve bu bakım onarımında kullanılan malzemelerin oluşum enerjisi giderlerinin hesaplanabilmesi için binaya ilişkin bakım onarım gereksinimine dair kabullerin yapılması gerekmektedir. Bu aşama için yapılan çoğunluk kabul malzemelerin hizmet ömrü göz önüne alınarak binada değiştirilmesi gereken malzeme ya da elemanların saptanması ilkesine dayanmaktadır. Bu aşamaya ilişkin kabullerde EN 15459 standardı referans alınmıştır. Bu standartta yapılan örnek hesaplamada binanın hizmet ömrü süresince ihtiyaç duyduğu bakım ve onarıma ilişkin kabuller ise, mekanik sistemin yıllık periyodik bakımı ve standartta yer alan referans tabloya göre mekanik sistemlerin ve ekipmanlarının hizmet ömürlerine göre değiştirildiği kabulü yapılmıştır [5]. Ayrıca binaya ilişkin, kapı ve pencerelerin hizmet ömürlerinin 25-30 yıl kabul edilerek yapı ömrü boyunca 1 kez değiştirildiği kabulü yapılmıştır. Türkiye’de bu aşamaya ilişkin referans alınabilecek bir standart ya da yönetmelik bulunmamaktadır. Yürürlükte olan kamuya ait konutların kullanımı, bakım ve onarımına ilişkin yönergelerde ise referans alınabilecek binaların dış cephe boyalarının 10 yılda bir yenilenme zorunluluğu dışında bir maddeye rastlanmamıştır [13].

4.2.3. Yaşam Dönemi Enerji Tüketimi Hesaplamasında Yıkım Safhasına İlişkin Kabuller:

Önceki bölümde belirtildiği üzere yıkım safhası tüm süreç içerisinde ihmal edilebilecek bir ağırlığa sahip olduğundan dolayı da bu çalışma içerisinde de yıkım safhası ihmal edilmiştir.

4.2.4. Yaşam Dönemi Maliyeti ve Optimum Maliyet Analizlerine İlişkin Kabuller:

EPBD direktifinde belirtildiği üzere optimum maliyetin belirlenmesine yönelik yapılan maliyet analiz çalışmaları 30 yıllık süre için yapılmıştır. Yaşam dönemi maliyeti ve optimum maliyet analizine ilişkin yapılan hesaplamalarda ihtiyaç duyulan ekonomik veriler için T.C. Merkez Bankasının yayınladığı ekonomik verilerden yararlanılmıştır [14]. Bina maliyetinin hesaplanmasında ihtiyaç duyulan birim fiyatlar için Çevre ve Şehircilik Bakanlığının inşaat birim fiyatlarından yararlanılmıştır [15]. Enerji tüketim bedellerinin belirlenmesine elektrik tüketimi için BEDAŞ, doğalgaz tüketim bedelinin hesaplanmasında ise İGDAŞ’ın verilerin yararlanılmıştır [16,17].

4.2.5. Yaşam Dönemi Enerji Tüketimi ve Optimum Maliyet Analizi Yapılacak Senaryoların Belirlenmesi:

Çalışma kapsamında belirlenen referans bina ve belirlenen alternatiflerin yaşam dönemi enerji tüketimleri ve optimum maliyet seviyeleri belirlenerek seçenekler içerisinde optimum çözümü veren seçenekler elde edilmeye çalışılmıştır. Senaryolar binanın enerji tüketimi etkileyecek kabuğun ısı iletkenliği ve form üzerinden çeşitlendirilerek oluşturulmuştur (Tablo 5). Seçilen parametrelerde oluşturulan alternatiflerin listesi tablo 6’da görülmektedir.

Tablo 5. Senaryo sayısı

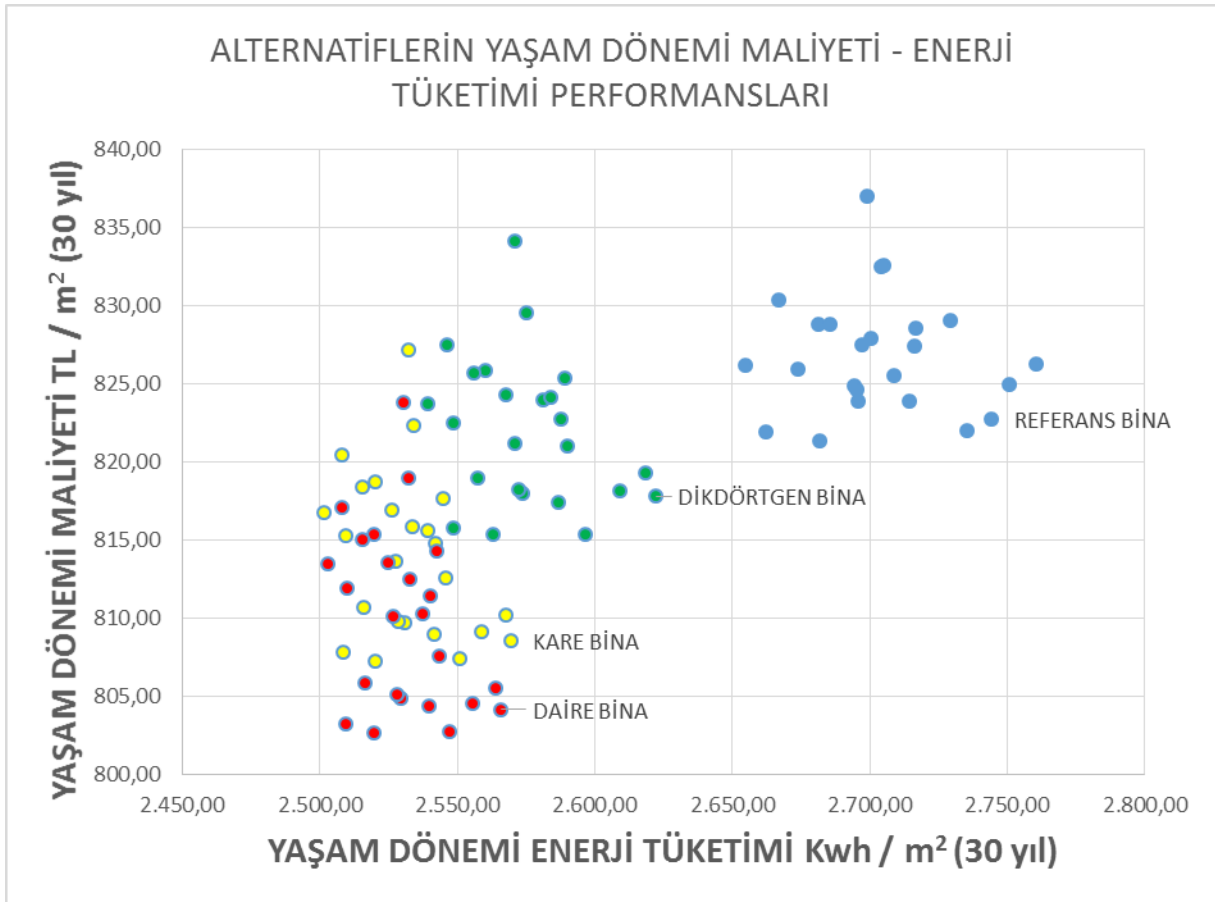
| | FORM | YALITIM MALZEMESİ | YALITIM KALINLIĞI | DUVAR GÖVDE MALZEMESİ | TOPLAM KOMBİNASYON SAYISI |
|-----------------------|------|-------------------|-------------------|-----------------------|---------------------------|
| SENARYO SAYISI | 4 | 4 | 3 | 2 | 96 |

Tablo 6. Senaryoları oluşturan parametrelerin alternatifleri

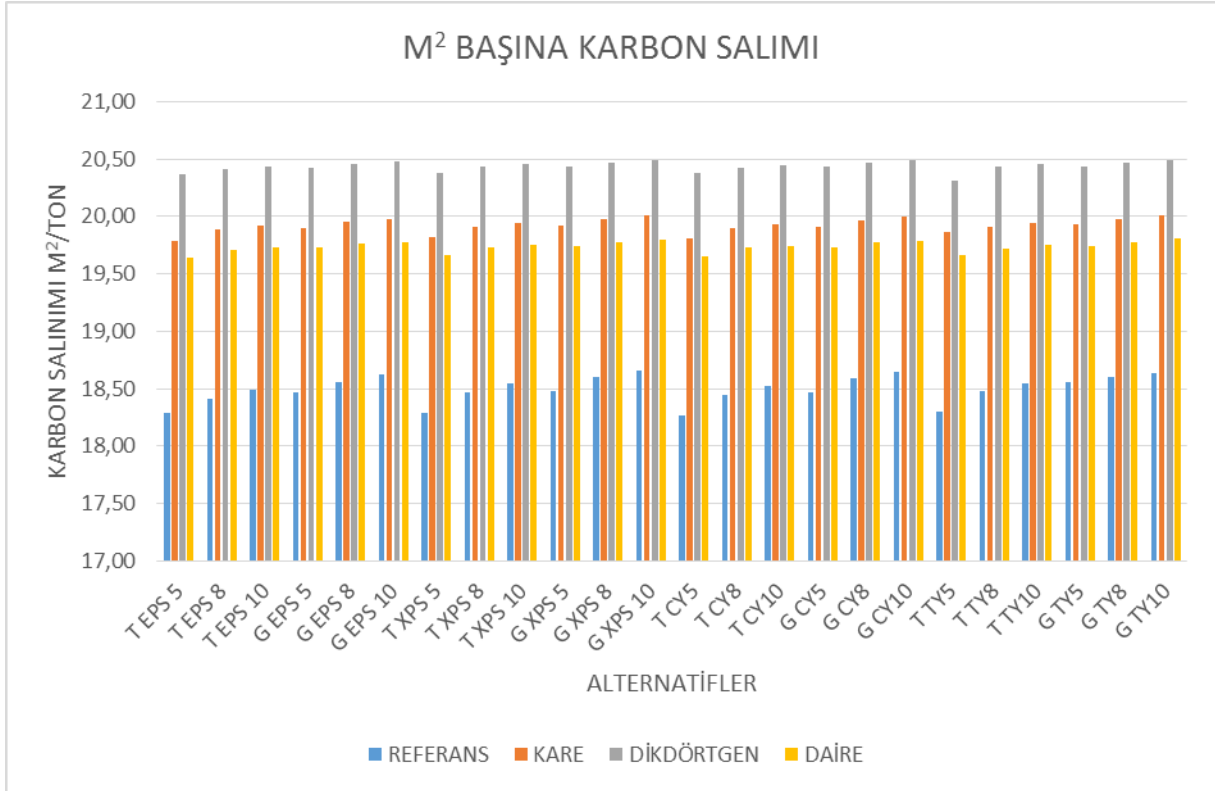
| PARAMETRELER | FORM | YALITIM MALZEMESİ | YALITIM KALINLIĞI | DUVAR GÖVDE MALZEMESİ |
|---------------|---|---|---|--|
| ALTERNATİFLER | <ul style="list-style-type: none">Referans BinaKareDaireDikdörtgen | <ul style="list-style-type: none">EPSXPSCam yünüTaş Yünü | <ul style="list-style-type: none">5 cm8 cm10 cm | <ul style="list-style-type: none">TuğlaGazbeton |

5. SONUÇLAR:

Alternatiflerin genel performansına bakıldığında kompakt forma sahip alternatiflerin yaşam dönemi enerji tüketimi ve yaşam dönemi maliyeti açısından en iyi sonuçları verdiği görülmektedir. Yapı kabuğu alanı arttıkça alternatiflerin sonuçlarının da daha geniş bir aralığa yayıldığı görülmektedir. Kare ve daire forma sahip bina alternatiflerinin enerji tüketimi açısından % 2'lik bir dilim içerisinde dağılım gösterdiği yaşam dönemi maliyeti açısından da yaklaşık %2,5'luk bir dilim içerisinde dağılım gösterdiği görülmektedir. Yapı kabuğu alanı daha büyük olan referans bina ve dikdörtgen bina formuna sahip alternatiflerde ise yaklaşık %5'lik bir dilim içerisinde dağılım gösterdiği görülmektedir.

**Şekil 4.** Alternatiflerin Yaşam Dönemi Enerji Tüketimi – Yaşam Dönemi Maliyeti Performansı.

Yapılan çalışmada da binalarda enerji tüketimi açısından bina formunun önemi ortaya konulmuştur. Bina tasarımında kompakt form seçimi hem binanın enerji tüketimi üzerinde ciddi bir tasarrufa neden olmakta hem de binanın yaşam dönemi maliyeti açısından da önemli tasarruf sağlamaktadır. Şekil 4'de görüldüğü gibi alternatifler içerisinde enerji tüketimi ve maliyeti düşük olanların kompakt forma sahip alternatiflerdir. Alternatifler içerisinde 34 adedinin yaşam dönemi maliyeti açısından 805-820 TL/m², enerji tüketimi açısından da 2.500-2.550 Kwh/m² yıl değerleri arasında toplandığı görülmüştür. Performansları değerlendirilen alternatiflerden maliyet ve enerji tüketimi bağlamında optimum çözüm aralığının bu değerler aralığında olduğu sonucuna varılmıştır. Yalıtım kalınlığı %100 arttırıldığında bunun binanın yaşam dönemi enerji tüketimine etkisi ortalama 35 Kwh/m² dir.

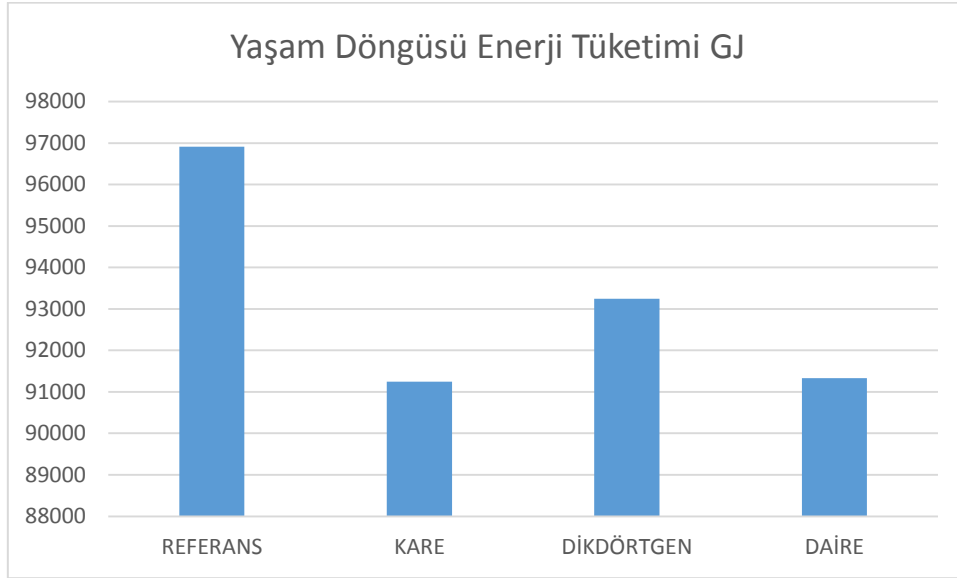


Şekil 5. Alternatiflerin karbon salımı performansı.

Yalıtım kalınlığının arttırılması ısıtma enerjisi ekonomisi açısından olumlu sonuçlar vermesine karşın soğutma enerjisi ihtiyacı açısından önemli artışa neden olmakta ve burum binanın toplam enerji tüketimi üzerinde istenilen tasarrufun gerçekleştirilememesine neden olmaktadır. Soğutma enerjisi ihtiyacında artış binada elektrik tüketiminden kaynaklı karbon salımlarının da önemli derecede artmasına neden olmaktadır (Şekil 5). Binalarda enerji tüketiminin büyük bir kısmını ısıtma, soğutma, havalandırma, aydınlatma ve sıcak su ihtiyacının karşılanmasını sağlayan sistemler oluşturmaktadır. Bu sistemlerin binanın toplam enerji tüketimi üzerindeki etkisi ise birbirleri ile tersinir olarak çalışmaktadır. Isıtma enerjisi açısından uygun çözümü veren alternatifler aydınlatma ve soğutma enerjisi açısından yüksek maliyetli sonuçları verebilmektedir. Bu nedenle binanın toplam enerji tüketimini azaltmaya yönelik yapılan çalışmalarda enerji tüketimini oluşturan bu sistemlerde tüketim açısından optimum noktaların bulunması önem arz etmektedir.

Alternatif senaryoların oluşturulması için seçilen parametrelerin başında bina formu gelmektedir. Referans bina formu (yaklaşık H formunda) dikkate alınarak ve referans bina taban alanına eşit büyüklükte kare, daire ve dikdörtgen formlar oluşturulmuştur. Oluşturulan formların ortak kabuller (kabuk özellikleri, saydamlık oranı vs.) altında yaşam dönemi enerji tüketimleri hesaplanmıştır. Şekil 6'da görüldüğü gibi referans bina formu form bazında en yüksek enerji tüketimine sahipken en düşük enerji tüketimine sahip form seçeneği ise dairesel formdur. Yapı kabuğunun kompakt boyutlara

indirgenmesi yapı kabuğu alanını azaltması ve dolayısıyla yapının oluşum enerjisinin daha düşük seviyede olması ile sonuçlanmaktadır. Ayrıca yapı kabuğu alanının azaltılması yapı kabuğundan kaynaklanan ısı kayıplarını azalttığından dolayı kullanım dönemi enerji tüketimi açısından da ciddi fark yaratmaktadır. Uygulamadan form bazında çıkartılan sonuç ise yapıda kompakt formların kullanılması, cephede gereksiz girinti ve çıkıntılardan kaçınılması hem yapı öncesi evre hem de yapı evresinde enerji tüketimi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Ayrıca yapı sonrası evre düşünüldüğünde yapının kompakt forma sahip olması yapının hizmet ömrünü tamamlayıp yıkıldığı zaman yapının neden olacağı inşaat atıklarının asgariye indirgenmesi açısından da önemlidir.



Şekil 6. Farklı bina formlarının yaşam dönemi enerji tüketimi (GJ).

Binaların yıllık enerji tüketimleri üzerinde etken unsurlardan biri de yapı kabuğunun termofiziksel özelliğidir. Yapı kabuğunda kullanılan yalıtım malzemesi türü ve kalınlığı yapı kabuğundan gerçekleşen ısı kayıplarının azaltılması yoluyla yapının enerji tüketimi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu bağlamda referans bina dört farklı yalıtım malzemesi (EPS, XPS, Cam Yünü ve Taş Yünü) kullanıldığı varsayılarak yapı öncesi evreye ve yapı evresine ilişkin enerji tüketimi giderleri hesaplanmıştır. Seçilen dört farklı yalıtım malzemesi Türkiye’de temin edilebilme ve inşaat pratikleri düşünüldükçe seçilmiştir. Seçilen yalıtım malzemelerinin ısı iletkenlik kat sayıları hemen hemen birbirine yakın olsa da oluşum enerjileri açısından incelendiği aralarında ciddi farklar olduğu bilinmektedir. Tablo 7’de bu malzemelerin referans binanın enerji tüketimi üzerindeki etkisi görülmektedir. En yüksek oluşum enerjisine sahip yalıtım malzemesi XPS, en düşük oluşum enerjisine sahip yalıtım malzemeli seçenek ise taş yünüdür. Oluşum enerjisi açısından incelendiğinde iki malzeme arasındaki fark 287 GJ yani 79.499 kWh’tir. Bu fark yaklaşık olarak yapının bir yıllık soğutma yükünden fazla bir yıllık ısıtma yükünün ise yarısı kadardır. Aynı malzemelerin binanın 60 yıllık ömrü süresince enerji tüketimi üzerindeki etkisi de aynı şekildedir. Sonuçlar kullanım dönemi enerji tüketimi açısından incelendiğinde ise XPS ve taş yünü seçenekleri arasındaki fark 60 yıllık hizmet ömrü süresince toplam 84GJ dır. 60 yıllık hizmet ömrü düşünüldüğünde bu ciddi bir fark değildir. Her iki malzemenin ısı iletim katsayısının birbirine yakın oluşu bu sonucu doğurmaktadır. Ancak oluşum enerjisi dikkate alındığında ciddi bir fark söz konusudur. Her iki malzemenin oluşum ve kullanım dönemine ait farklar toplandığında ortaya çıkan rakam ise yapı öncesi evrede malzemelerin nakliyesi için tüketilecek enerji ya da yapının kullanım döneminde bakım onarım için ihtiyaç duyulan enerjiye denktir. Aşağıdaki tablodan da görüldüğü gibi oluşum enerjisi binanın hizmet ömrü boyunca tüketileceği enerjini yaklaşık 1/7 si kadardır. Bu sonuçlardan görebildiğimiz gibi yapıda malzeme seçiminin yapının enerji tüketimi üzerinde etkisi büyüktür. Yapı malzemelerinin oluşum enerjileri yapının ömrü göz önüne alındığında sadece çevresel etkilerden dolayı değil aynı zamanda yaşam dönemi enerji tüketimi açısından da önemlidir. Bir önceki başlık ile birlikte düşünüldüğünde yapının hem kompakt forma

sahip olması hem de yapı kabuğunu oluşturan malzemelerin azami ölçüde oluşum enerjisi düşük malzemelerden seçilmesi yapının yaşam döngüsü enerjisi tüketimi açısından daha etkin bir performans göstermesini sağlayacaktır.

Tablo 7. Referans binanın yalıtım malzemeleri açısından yaşam dönemi enerji tüketimi performansı.

| | OLUŞUM ENERJİSİ GJ | KULLANIM ENERJİSİ GJ |
|----------|--------------------|----------------------|
| EPS | 12.047,25 | 79.280,72 |
| XPS | 12.231,75 | 78.822,52 |
| CAM YÜNÜ | 11.985,75 | 78.982,45 |
| TAŞ YÜNÜ | 11.944,75 | 78.738,56 |

Yapılan çalışmada elde edilen tüm sonuçlar tablo 8’de verilmiştir. Çalışmanın geneline bakıldığında binalarda enerji verimliliği söz konusu olduğunda konuya bütüncül bir bakış açısı ile yaklaşmanın önemli olduğu çoğu çalışma gibi bu çalışmada da görülmektedir. Bu nedenle enerji ve maliyet etkinliğine sahip bina tasarımında binanın yaşam dönemi süreci ele alınmalıdır. Binalar yaşam döneminin farklı safhalarında farklı miktarlarda enerji tüketmekte ve farklı miktarlar maliyete sahip olmaktadır. Bina tasarımında oluşturulan alternatiflerin hepsi hem maliyet hem de enerji verimliliği açısından irdelenmeli ve bu irdeleme ülke koşullarına göre geliştirilen yöntem ve kabullerle yapılmalıdır. Bina tasarımında alternatiflerin fazla olması bu alternatiflerin hepsinin kısa sürede hem maliyet hem de enerji verimliliği açısından irdelenmesini olanaksız kılmaktadır. Bu nedenle duyarlılık analizlerinin yapılarak enerji verimliliği ve maliyet üzerindeki etkili olan parametrelerin belirlenerek tasarım alternatiflerinin bu parametreler üzerinden üretilmesi çalışmaların daha verimli olmasını sağlayacaktır. Binalarda enerji verimliliğinin sağlanması enerji tüketim alanları arasında optimizasyon yapılması ile elde edilebilir. Bu nedenle binaların ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma gibi birbiri ile çelişen enerji tüketim alanları optimum değerlerin elde edilmesi gerekmektedir. Çalışma sonuçlarından da görüldüğü gibi enerji verimliliğinin sağlanmasında ısıtma enerjisi ekonomisi kadar soğutma enerjisi ekonomisi de önemlidir. Isıtma enerjisi ekonomisi sağlayan alternatiflerin soğutma enerjisi açısından verimsiz sonuçlar vererek binanın karbon salımlarının artmasına neden olduğu görülmüştür. Türkiye açısından binalarda ısı yalıtım kuralları yönetmeliği gibi soğutma enerjisi ekonomisine dair çalışmaların yapılması enerji ekonomisi açısından önemlidir.

Tablo 8. Tüm alternatiflerin yaşam dönemi enerji tüketimi ve yaşam dönem maliyeti sonuçları.

| | | REFERANS FORM | | KARE FORM | | DAİRE FORM | | DİKDÖRTGEN FORM | |
|----|---------|--------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|--------------------------|
| | | YDET Kwh/m ² 30 yıl | YDM TL/m ² | YDET Kwh/m ² 30 yıl | YDM TL/m ² | YDET Kwh/m ² 30 yıl | YDM TL/m ² | YDET Kwh/m ² 30 yıl | YDM TL/m ² |
| 1 | T EPS 5 | 2.744,66 | 822,71 | 2.569,78 | 808,50 | 2.565,92 | 804,11 | 2.622,54 | 817,77 |
| 2 | T EPS 8 | 2.714,62 | 823,82 | 2.541,66 | 808,89 | 2.539,79 | 804,33 | 2.587,11 | 817,38 |
| 3 | TEPS 10 | 2.695,49 | 824,63 | 2.531,15 | 809,68 | 2.529,29 | 804,86 | 2.573,73 | 817,91 |
| 4 | G EPS 5 | 2.695,90 | 823,88 | 2.542,13 | 814,73 | 2.540,33 | 811,42 | 2.587,96 | 822,67 |
| 5 | G EPS 8 | 2.697,44 | 827,49 | 2.526,37 | 816,89 | 2.524,99 | 813,52 | 2.567,66 | 824,25 |
| 6 | GEPS10 | 2.685,65 | 828,82 | 2.520,43 | 818,64 | 2.519,63 | 815,33 | 2.560,24 | 825,84 |
| 7 | T XPS 5 | 2.761,02 | 826,27 | 2.567,89 | 810,17 | 2.563,71 | 805,53 | 2.618,46 | 819,24 |
| 8 | T XPS 8 | 2.717,04 | 828,52 | 2.546,17 | 812,51 | 2.543,52 | 807,55 | 2.590,23 | 820,99 |
| 9 | TXPS 10 | 2.704,60 | 832,44 | 2.539,69 | 815,56 | 2.537,45 | 810,29 | 2.581,53 | 823,98 |
| 10 | G XPS 5 | 2.729,76 | 829,01 | 2.545,13 | 817,65 | 2.542,46 | 814,25 | 2.589,52 | 825,32 |
| 11 | G XPS 8 | 2.705,37 | 832,57 | 2.534,47 | 822,31 | 2.532,30 | 818,98 | 2.575,27 | 829,56 |
| 12 | GXPS10 | 2.699,05 | 836,96 | 2.532,36 | 827,14 | 2.530,19 | 823,80 | 2.571,38 | 834,12 |
| 13 | T CY5 | 2.751,10 | 824,94 | 2.558,82 | 809,06 | 2.555,46 | 804,53 | 2.609,52 | 818,13 |
| 14 | T CY8 | 2.694,63 | 824,81 | 2.528,82 | 809,75 | 2.528,01 | 805,09 | 2.572,61 | 818,16 |
| 15 | T CY10 | 2.673,94 | 825,87 | 2.516,23 | 810,62 | 2.516,23 | 805,83 | 2.557,57 | 818,90 |
| 16 | G CY5 | 2.716,70 | 827,42 | 2.534,04 | 815,84 | 2.532,70 | 812,49 | 2.584,07 | 824,10 |
| 17 | G CY8 | 2.681,38 | 828,79 | 2.515,80 | 818,38 | 2.515,43 | 815,05 | 2.556,17 | 825,70 |
| 18 | G CY10 | 2.667,08 | 830,30 | 2.508,02 | 820,39 | 2.508,18 | 817,04 | 2.546,31 | 827,45 |
| 19 | T TY5 | 2.735,78 | 822,00 | 2.551,34 | 807,36 | 2.547,38 | 802,68 | 2.596,89 | 815,35 |
| 20 | T TY8 | 2.682,03 | 821,30 | 2.520,58 | 807,15 | 2.519,89 | 802,61 | 2.563,06 | 815,33 |
| 21 | T TY10 | 2.662,42 | 821,92 | 2.508,66 | 807,75 | 2.509,26 | 803,20 | 2.548,62 | 815,74 |
| 22 | G TY5 | 2.709,11 | 825,46 | 2.528,06 | 813,56 | 2.526,82 | 810,13 | 2.571,29 | 821,18 |
| 23 | G TY8 | 2.700,67 | 827,88 | 2.509,42 | 815,21 | 2.509,65 | 811,89 | 2.548,86 | 822,43 |
| 24 | G TY10 | 2.655,06 | 826,13 | 2.501,85 | 816,74 | 2.502,79 | 813,46 | 2.539,26 | 823,71 |

KAYNAKLAR

- [1] ADALBERTH, K. “Energy Use During Life Cycle of Building : A Method”, Building and Environment 1997 Vol 32 No:4 pp317-320
- [2] LIPPKE, B., WILSON, J., BOWYER, J., MEIL, J. “CORRIM: Life-Cycle Environmental Performance of Renewable Building Materials, Forest Products Journal, Vol 54 No:6 June 2004.
- [3] GreenSpec ‘[http://www.greenspec.co.uk/building-design/embodied-energy/?\\$](http://www.greenspec.co.uk/building-design/embodied-energy/?$)’ Erişim tarihi Aralık 2014.
- [4] Ecoinvent “<http://www.ecoinvent.org/database/>”, Erişim tarihi Aralık 2014.
- [5] EN 15459, Energy performance of buildings - Economic evaluation procedure for energy systems in buildings (EN 15459:2008), Mayıs, 2007.
- [6] GORDON, M., “Demolition Energy Analysis of Office Building Structural Systems” Report Athena Sustainable Material Institute 1997.



- [7] KUIKKA, S., “LCA of the Demolition of A Building” Msc Thesis Chalmers University of Technology Sweden 2012.
- [8] YUNG, P., LAM,K.,C., YU, C., “An Audit of Life Cycle Energy Analysis of Buildings” Habitat International 2013 Vol 39 pp 43-54.
- [9] Directive 2010/31/EU, Directive of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the Energy Performance of Buildings (recast), 2010.
- [10] Toplu Konut İdaresi Başkanlığı, “ www.toki.gov.tr” Erişim tarihi Temmuz 2014.
- [11] TS 825 ‘Binalarda Isı Yalıtım Kuralları’ TSE, Ankara 2008.
- [12] BEP-TR ‘Binalarda Enerji Verimliliği Yönetmeliği’ Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara 2010
- [13] 18524 Kamu Konutları Yönetmeliği
‘http://www.higm.adalet.gov.tr/kamu_konut_yonetmeliği_00.html’ Erişim tarihi Eylül 2014.
- [14] Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası ‘www.tcmb.gov.tr’ Erişim tarihi Temmuz 2014.
- [15] 2013 Yılı İnşaat ve Tesilat Birim Fiyatları, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Yüksek Fen Kurulu Başkanlığı, Ankara, 2013.
- [16] BEDAŞ ‘www.bedas.com.tr’ Erişim tarihi Temmuz 2014.
- [17] İGDAŞ ‘www.igdas.com.tr’ Erişim tarihi Temmuz 2014.

ÖZGEÇMİŞ

Kemal Ferit ÇETİNTAŞ

1978 yılı İstanbul doğumludur. 2002 yılında Beykent Üniversitesi Mimarlık bölümünü bitirmiştir. 2004 yılında İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi programından ‘Çift Kabuklu Cepheilerin Isı Kayıplarının Hesaplamasında Kullanılabilecek Yeni Bir Yaklaşım’ adlı yüksek lisans tezi ile yüksek mimar unvanını almıştır. 2011 yılında İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Bilimleri programında başladığı doktora eğitimine devam etmektedir. 2014 yılından itibaren İstanbul Arel Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Mimarlık bölümünde öğretim görevlisi olarak görev yapmaktadır. Binalarda enerji verimliliği konusunda çalışmaktadır.

Zerrin YILMAZ

1979 yılından beri İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Fiziksel Çevre Kontrolü Birimi’nde görev yapmakta olan, 1983-1984 yılları arasında “Lawrence Berkeley Laboratory Passive Solar Group” ile çalışan ve 1993 yılından beri İTÜ de aynı birimde görevini profesör olarak sürdüren A. Zerrin Yılmaz’ın enerji etkin tasarım, bina fiziği, yeşil bina, bina enerji simülasyonu ve enerji modelleme, iklimsel konfor, binalarda güneş enerjisi kullanımı ve yoğunlaşma kontrolü konularında ulusal ve uluslararası 100 den fazla yayını, ikisi halen devam etmekte olan ulusal ve uluslararası araştırmaları, yürüttüğü yüksek lisans ve doktora tezleri ve bu alanlarda uygulamaları bulunmaktadır. Binalarda enerji verimliliği, yenilenebilir enerji teknolojilerinin kullanımı, bina enerji modelleme ve enerji etkin iyileştirme gibi alanlarda çeşitli ulusal ve AB projeleri dahil uluslar arası projelerde çoğunlukla yönetici olarak yer almıştır. Bu alandaki CITYNET AB projesi Avrupa Komisyonu tarafından star projeler arasına alınmıştır. Binalarda Enerji Performansı hesaplama yöntemi araştırmasında BEP-TR hesaplama yönteminin net enerji hesaplama modülünü geliştiren grubun koordinatörlüğünü yapmıştır. Ayrıca, Türkiye için konutlara yönelik yeşil bina sertifikalandırma sisteminin oluşturulmasında, enerji verimliliği kredilerinin belirlenmesi ve farklı konut tipolojileri için referans binaların tanımlanması konusunda görev yapmıştır. Halen EPBD-Recast kapsamında AB ülkelerinde Referans Bina çalışmaları yapmak üzere kurulmuş TASK-FORCE1 ekibinin Türkiye’den davetli üyesi olarak görev yapmaktadır.

