



BİNA KABUĞUNDA FORM VE MALZEME SEÇİMİNİN KABUĞUN OLUŞUM ENERJİSİ, KARBON SALIMI VE MALİYETİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Examination Material Selection in The Building Shell and Form Determination's Effects on Building Shell's Embodied Energy, Embodied Carbon Emission and Cost.

Kemal Ferit ÇETİNTAŞ

ÖZET

Dünyada gerçekleşen enerji tüketiminin büyük bir kısmının binalardan kaynaklandığı bilinmektedir. Bu nedenle binalarda enerji verimliliğinin sağlanması, enerji tüketimi kaynaklı çevresel sorunların önlenmesi ve tüketimin ekonomik maliyeti açısından önemlidir. Binaların enerji etkin tasarlanması, binanın konumu, yönü, binalar arası mesafeler, bina formu ve bina kabuğunun termofiziksel özellikleri gibi parametrelere bağlıdır. Ancak yapma çevrede gerçekleşen bina tasarımında mimarların binalar arası mesafe gibi parametrelere müdahale etme imkânı bulunmadığından dolayı bina kabuğu tasarımı büyük önem taşımaktadır. Binanın formu ve biçim faktörü bina kabuğunun alanını belirlerken, kabuğu oluşturan malzemeler ise termofiziksel özellikleri nedeniyle binanın ısı kayıp ve kazançları üzerinde önemli etkiye sahiptir. Günümüzde binalarda enerji verimliliği bağlamında gerçekleştirilen çalışmalarda, bina kabuğunu oluşturan malzemelerin yaşam döngüsü sürecindeki enerji tüketimi ve karbon salımı performansları dikkate alınarak, konu bütüncül bir bakış açısı ile irdelenmektedir. Türkiye'de binalarda enerji verimliliği bağlamında yürürlükte olan standart ve yönetmelikler, kabuğu oluşturan yapı malzemelerinin oluşum enerjisi ve karbon salımını dikkate almamaktadır. Ancak yapı malzemelerinin oluşum aşamasında gerçekleşen enerji tüketimi ve karbon salımı performansı, malzemenin üretildiği ham maddelerin sayısı, temin şekli ve üretim tekniğine bağlı olarak ciddi miktarda farklılık göstermektedir. Söz konusu farkın yaşam döngüsü sürecinde binanın enerji tüketimi performansını etkilediği bilinmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada bina kabuğunda farklı form ve malzeme alternatiflerinin bina kabuğunun oluşum aşamasındaki enerji tüketimi, karbon salımı ve maliyetine olan etkisi irdelenmiştir. Oluşturulan alternatifler, referans bina kabuğunun performansı ile karşılaştırılarak oluşum enerjisi, karbon salımı ve maliyet açısından optimum performans gösteren alternatifler elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bina kabuğu, Enerji verimliliği, Oluşum enerjisi, Oluşum karbon salımı, Maliyet.

ABSTRACT

It is known that most of the energy consumption in the world is caused by buildings. Therefore, energy efficiency in buildings is an important issue to prevent the environmental and economic problems which is caused by energy consumption. The energy efficient building design depends on some parameters such as the location, direction of the building, distances between buildings, building form and the thermophysical properties of the building shell. However most of these parameters couldn't take into account in architectural design because of limitations in the built environment. Therefore, design of the building shell is an important issue for energy efficiency in buildings. Building shell's area, form and materials affect building's energy consumption directly. In the studies carried out energy efficiency in buildings today, the subject is examined from a holistic point of view. Energy consumption and carbon emission performances are taken into account from life cycle perspective. However, materials' embodied energy and carbon emission performance are not taken into account in energy standards and regulations in Turkey. Energy consumption and carbon emission performance of the building materials varies considerably depending on the number of raw materials produced, the type of supply and the production technique. It is known that the material selection affects the energy consumption performance of the building during the life cycle. Therefore, in this study, the effects of

different form and material alternatives in the building shell on the energy consumption, carbon emission and cost performance are examined. The alternatives were compared with the performance of the reference dwelling building's shell to get alternatives which have optimum performance from point of energy consumption, carbon emission and cost.

Key Words: Building Shell, Energy efficiency, Embodied energy, Embodied carbon emission, Cost.

1. GİRİŞ

Enerji, tüm dünya ulusları için kalkınmanın en önemli bileşenlerinden biri olarak görülmektedir. Enerji arzının güvenliği, yenilenemez enerji kaynaklarının tüketimi kaynaklı çevresel sorunlar ve enerji ithalatının gelişmekte olan ülkelerin ekonomilerine olumsuz etkisi gibi nedenlerden dolayı enerji üretimini ve enerjinin verimli kullanımını önemli konular haline getirmektedir. Dünyada tüketilen enerjinin 1/3'ü ve enerji tüketimi kaynaklı gerçekleşen sera gazı salımlarının 1/3'ü binalardan kaynaklanmaktadır [1]. Bu nedenle, binalarda enerji verimliliği, sürdürülebilir kalkınma ve çevresel kirliliğin azaltılması açısından büyük önem taşımaktadır. Binalarda gerçekleşen enerji tüketiminin önemli bir kısmı binaların ısıtma, soğutma ve aydınlatılması için kullanılmaktadır [2]. Binalarda enerji verimliliğinin sağlanması, binaların enerji etkin tasarlanması ile mümkündür.

Enerji etkin bina, alınan pasif tasarım tedbirleriyle konfor koşullarından ödün verilmeden enerji ihtiyacı asgari seviyede olan ve ihtiyacı olan enerjiyi verimli mekanik sistemler ile yenilebilir enerji kaynaklarından karşılayan bina olarak tanımlanabilir. Binalarda konfor koşullarından ödün verilmeden enerji ihtiyacının asgari seviyede gerçekleşmesi binanın pasif sistem olarak tasarlanması ile mümkündür. Bu bağlamda bina tasarımında enerji etkinliğinin sağlanması için güneş ışınımı şiddeti, hava sıcaklığı, nem oranı ve rüzgâr hızı gibi iklimsel bileşenler ile aşağıda maddeler halinde verilen binaya ilişkin bileşenlerin dikkate alınması gerekmektedir. Binaya ilişkin bileşenler,

- Binanın yeri,
- Binanın konumu ve diğer binalar ile arasındaki mesafe,
- Binanın yönlendiriliş durumu,
- Bina formu,
- Bina kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleridir.

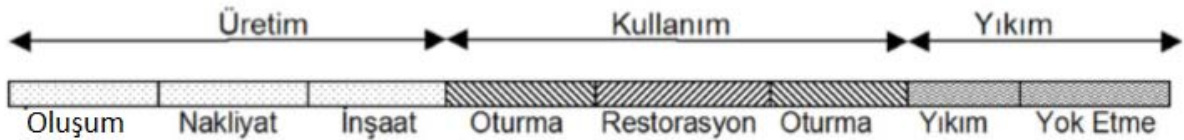
Yapma çevrede gerçekleşen bina tasarımında, yapma çevre koşullarının kısıtlarından dolayı yukarıda yer alan bina yeri, konumu, yönlendiriliş durumu ve formu gibi parametrelere müdahale imkânı olmayabilir. Ancak bina kabuğu tasarımı ve bina kabuğunun optik ve termofiziksel özelliklerinin belirlenmesi mimarın inisiyatifindedir. Bu nedenle, bina kabuğunda malzeme seçimi ve katmanlaşma düzeni binada gerçekleşecek enerji tüketimi üzerinde önemli etkiye sahiptir. Binanın yer aldığı iklim bölgesi ve bina fonksiyonuna bağlı olarak bina kabuğu tasarımının gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bina kabuğu, binayı oluşturan elemanlar arasında dış ortam ile temas eden en büyük alana sahip yüzeydir. Bu nedenle kabuğun optik ve termofiziksel özellikleri bina kabuğundan gerçekleşen ısı kayıp ve kazançları sayesinde bina enerji tüketimini önemli ölçüde etkilemektedir.

Binalarda enerji verimliliği çok boyutlu bir konu olup, bütüncül bir bakış açısı ile alınması gerekmektedir. Yapılan literatür taramasında binalarda enerji verimliliği bağlamında gerçekleştirilen uygulamaların çevresel etkilerinin ve maliyet analizlerinin de mutlaka yapılması gerekliliği vurgulanmaktadır [3,4,5]. Ayrıca Avrupa Birliği tarafından 2010 yılında revize edilen Binalarda Enerji Verimliliği Direktifi (EPBD), binalarda enerji verimliliği bağlamında gerçekleştirilen uygulamaların ekonomik boyutunun hesaplanarak enerji verimliliği ve maliyet arasındaki optimum değer bulunmasını zorunlu kılmıştır [6]. Binalarda enerji verimliliği bağlamında gerçekleştirilen çalışmalar tarandığında enerji verimliliğinin bütüncül bir bakış ile yaşam döngüsü sürecini dikkate alarak değerlendirildiği görülmüştür. Bu çalışmanın amacı, bina kabuğu tasarımında malzeme seçimi ve form tercihinin binanın yaşam döngüsü sürecinde enerji tüketimi, karbon salımı ve maliyet açısından etkisinin incelenmesidir. Türkiye'de binaların önemli bir kısmını konut binalarının oluşturmasından dolayı çalışma konut binaları ile sınırlandırılmıştır. Yaşam döngüsü sürecinin uzun bir dönemi

kapsaması, performans analizleri için ihtiyaç duyulacak sayıca fazla veri temin edilmesi gerekliliği ve karmaşık hesaplama yöntemlerinden dolayı çalışma yaşam döngüsünün oluşum aşaması ile kısıtlanmış, yaşam döngüsünün diğer aşamaları dikkate alınmamıştır. Enerji tüketimi kaynaklı çevresel etkilerin çeşitli alt kategorilerde gerçekleştiği ve her alt kategoride gerçekleşen çevresel etkilerin hesaplanmasının karmaşıklığı ve ihtiyaç duyulacak verilerin fazlalığı göz önüne alındığında çevresel etki kategorisinde kısıtlamaya gidilmesi ihtiyacı duyulmuştur. Çevresel etki kategorisi içerisinde küresel ısınma üzerinde en fazla etkiye sahip olduğu bilinen karbon salımı dikkate alınarak çalışma söz konusu çevresel etki kategorisinde kısıtlanmıştır. Oluşturulan alternatifler, seçilen referans konut binasının karşılaştırılarak oluşum aşamasında enerji tüketimi, karbon salımı ve maliyet açısından optimum performans gösteren alternatifler elde edilmiştir.

2. YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ KAVRAMI VE AŞAMALARI

Yaşam döngüsü değerlendirmesi (YDD) kavramı, ürün veya hizmetlerin yaşam döngüsü sürecinde çevresel etkilerini değerlendirilebilmesi açısından geliştirilen uluslararası kabul görmüş bir yaklaşımdır. YDD yapı sektöründe, performans değerlendirmesi, karar alma ve stratejik hedef belirleme gibi çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır. Bir binanın yaşam döngüsü, üretim, oturma ve yıkım olmak üzere üç temel aşama ve bu temel aşamaları oluşturan alt aşamalardan oluşmaktadır (Şekil 1) [7]. Ancak söz konusu aşamalar literatürde farklı şekilde tanımlanabilmektedir. Örneğin, üretim, kullanım ve yıkım aşamaları yapı öncesi, yapı ve yapı sonrası evre olarak tanımlanmakta ancak aynı dönemi ve alt aşamaları içermektedir [8]. Üretim aşaması, yapıyı oluşturacak yapı malzemelerinin ham maddelerinin temin edilmesi, üretileceği fabrikaya nakledilmesi, üretiminin gerçekleşmesi, yapının inşa edileceği şantiye sahasına nakliyesini ve yapının inşa edileceği süreci kapsamaktadır. Kullanım dönemi ise, binanın kullanıldığı ve kullanım süreci içerisinde gerçekleştirilen tüm bakım, onarım ve yenileme faaliyetlerini kapsamaktadır. Yıkım dönemi ise, bina hizmet ömrünü tamamladıktan sonra binanın yıkılması, oluşan atıkların geri dönüşümü, yeniden kullanımı ve bertaraf edilmesi süreçleri ile bu süreçlerde gerçekleşecek nakliyeleri kapsamaktadır. YDD yönteminden yola çıkılarak, yapıların yaşam döngüsü sürecinde gerçekleşen enerji tüketimi, çevresel etki ve maliyet analizleri için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir.



Şekil 1. Yapının yaşam dönemi sürecinde geçirdiği evreler [7].

Yaşam döngüsü enerji analizi (YDEA), bir yapının yaşam döngüsü sürecinde gerçekleşecek enerji tüketimi analizini ifade etmektedir. Binalar, yaşam döngüsü sürecinin farklı safhalarında farklı miktarda enerji tüketimi gerçekleşmektedir. Bu alanda yapılan çalışmalar incelendiğinde ortalama olarak yaşam döngüsü sürecinin üretim aşamasında gerçekleşen enerji tüketimi tüm sürecin yaklaşık %10-15'ine eşittir [7, 9, 10]. Binaların yaşam döngüsü sürecinde enerji tüketimi kaynaklı çeşitli çevresel etkiler meydana gelmektedir. Söz konusu çevresel etkiler, yaşam döngüsü sürecinin farklı aşamalarında tüketilen enerji miktarı ve yakıt tipine bağlı olarak farklı kategorilerde farklı miktarlarda gerçekleşmektedir. Çevresel etkiler içerisinde karbon salımı küresel ısınmaya olan etkisi nedeniyle analizlerde en fazla dikkate alınan etki kategorisi olarak karşımıza çıkmaktadır. Yaşam döngüsü karbon analizi (YDKA), binaların yaşam döngüsü sürecinde gerçekleşen enerji tüketimi ve yakıt tipine bağlı olarak gerçekleşen karbon salımını analiz etmeye yarayan yöntemdir. Karbon salımı miktarı, tüketilen enerji miktarı ve enerji kaynağına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Binaların yaşam döngüsünde gerçekleşen en yüksek enerji tüketimi, kullanım döneminde gerçekleşmektedir. Buna bağlı olarak yaşam döngüsü sürecinde gerçekleşen en yüksek karbon salımı da kullanım döneminde gerçekleşmektedir. Üretim döneminde gerçekleşen karbon salımı yine enerjide olduğu gibi tüm sürecin yaklaşık %10-15'ine eşittir [3,4,5,10]. Yaşam dönemi maliyeti analizi (YDM), binaların yaşam döngüsü sürecinde gerçekleşen toplam maliyet performansını ifade etmekte, alternatiflerin performanslarının

karşılaştırılarak seçim yapılmasında karar verme aracı olarak kullanılmaktadır. YDM analizi, binaların sadece ilk yatırım maliyetini değil, kullanım döneminde gerçekleşen bina işletme, bakım onarım ve yıkım dönemindeki hurda maliyeti gibi maliyetleri de dikkate almaktadır. YDEA, YDKA ve YDM analizi çeşitli yaklaşımlar bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında seçilen yöntemler, yapılan kabuller ve çalışmanın gerçekleştirilmesinde izlenen yaklaşım sonraki bölümde aktarılmaktadır.

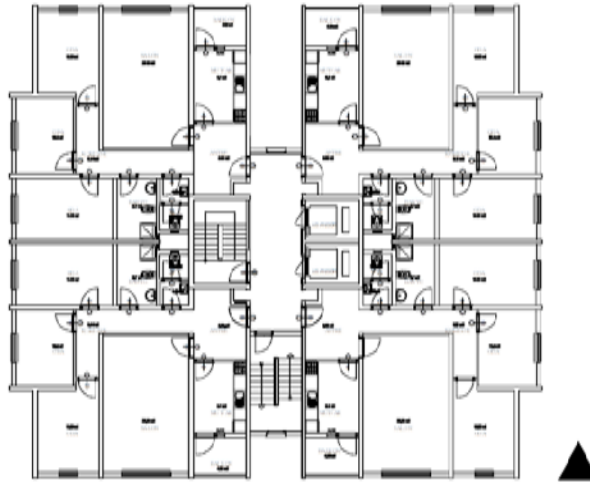
3. BİNA KABUĞUNDA FORM VE MALZEME SEÇİMİNİN KABUĞUN OLUŞUM ENERJİSİ, KARBON SALIMI VE MALİYETİNE ETKİSİ

Bina kabuğunda form ve malzeme seçiminin bina kabuğunun yaşam döngüsü sürecinde oluşum enerjisi tüketimi, oluşum aşamasında gerçekleşen karbon salımı ve maliyetine olan etkisinin incelenmesinde izlenen yaklaşım,

1. Referans binanın belirlenmesi,
2. Performans analizlerine ilişkin yöntem seçimi, verilerin toplanması ve gerekli kabullerin yapılması,
3. Alternatiflerin belirlenmesi,
4. Hesaplamaların yapılması ve sonuçların elde edilmesi adımlarından oluşmaktadır.

3.1. Referans Binanın Belirlenmesi

Çalışma kapsamında gerçekleştirilecek performans analizlerinin karşılaştırılması ve elde edilen bulgulardan optimum performansa sahip seçeneklerin belirlenebilmesi açısından referans binaya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışma kapsamında referans konut binası olarak Toplu Konut İdaresi Başkanlığı (TOKİ) tarafından Türkiye'nin çeşitli illerinde uygulaması gerçekleştirilmiş olan 'C Tipi' olarak adlandırılan konut binası referans bina olarak belirlenmiştir [11]. Belirlenen referans binaya ilişkin mimari çizimler ve teknik detaylar seçilen projenin teknik dokümanlarından elde edilmiştir. Referans konut binası, bir bodrum, zemin ve 11 kattan oluşmaktadır. Binaya ait tip kat planı şekil 1'de görülmektedir. Her tip kat planı bağımsız dört konut ünitesinden ve her ünite üç adet yatak odası, servis mekânları ve salondan oluşmaktadır. Konut binasının ve binayı oluşturan yapı elemanlarının fiziksel özellikleri tablo 1 ve 2'de yer almaktadır. Referans konut binasının İstanbul ilinde bulunduğu kabulü yapılmıştır.



Şekil 1. Uygulama çalışmasının yapıldığı konut binasının tip kat planı [11].

Tablo 1. Referans konut binasının mimari özellikleri [11].

Kat sayısı	1 Bodrum,1 zemin,11 normal kat	Konut sayısı	Her katta 4 adet
Taban alanı	26 m x 23 m, toplam: 576 m ²	Konut büyüklüğü	130 m ²
Kat yüksekliği	279 cm	Bina yüksekliği	37.5 m

Tablo 2. Referans konut binasının yapı elemanlarını oluşturan katmanlar [11].

Yapı Elemanı	Katmanlar
Dış duvar	Dış cephe boyası, çimento sıva (2 cm), tuğla (19 cm), alçı sıva (1 cm) U=1.16 Wm ⁻² K ⁻¹
Çatı	Çakıl (5 cm), su yalıtımı (1 cm), şap(3 cm), ısı yalıtımı (EPS 8 cm), betonarme döşeme (20 cm), sıva (1 cm). U= 0.55 Wm ⁻² K ⁻¹
Döşeme (iç)	Seramik kaplama (1 cm), şap(1 cm), betonarme döşeme (20 cm), sıva (1 cm), U= 3.44 Wm ⁻² K ⁻¹
Döşeme (toprağa oturan)	Seramik kaplama (1 cm), şap (3 cm), ısı yalıtımı (EPS 8 cm), betonarme temel (20 cm), su yalıtımı(1 cm),grobeton (10cm) blokaj (10 cm). U= 0.6 Wm ⁻² K ⁻¹
İç Duvar	Sıvar (1 cm), tuğla (8.5 cm), tuğla (1 cm) U= 1,43 Wm ⁻² K ⁻¹
Pencere	Hava dolgulu çift berrak camlı PVC doğrama (3 x 13 x 3 mm) U= 1,71 Wm ⁻² K ⁻¹
Saydımlık oranı	22% (ortalama)

3.2. Performans Analizine İlişkin Yöntem Seçimi, Verilerin Toplanması Ve Gerekli Kabullerin Yapılması

Çalışmada, yaşam döngüsü sürecinde gerçekleştirilecek performans analizleri enerji tüketimi, karbon salımı ve maliyet alanlarında gerçekleştirilecektir. Çalışma yaşam döngüsünün oluşum aşaması ile sınırlanmıştır. Bu nedenle sadece binayı oluşturan malzemelerin oluşum aşamasında tüketilen enerji miktarına bağlı olarak gerçekleşen enerji tüketimi, karbon salımı ve malzemelerin birim maliyetleri dikkate alınacaktır. Çalışma kapsamında bina kabuğuna odaklanılmasından dolayı kabuğun performansı dikkate alınmış, binayı oluşturan diğer elemanların çatı, taşıyıcı ve döşeme vb. performansları dikkate alınmamıştır.

3.2.1. Oluşum Enerjisi Performansının Analizi

Oluşum enerjisi, binayı oluşturan yapı malzemelerinin ham maddelerinin çıkartılması, üretimin gerçekleştirileceği fabrikaya nakliyesi ve üretimin gerçekleştirilmesi aşamalarında gerçekleşen enerji tüketiminin toplamını ifade etmektedir. Kabuğun oluşum enerjisinin hesaplanmasında K. Adalbert tarafından geliştirilen eşitlik 3.1'de yer alan yöntem kullanılmıştır [7]. Her malzemenin oluşum enerjisi, malzemeyi oluşturan ham maddelerin niteliği, niceliği ve üretim yöntemine göre değişiklik göstermektedir. Günümüzde yapı malzemelerinin oluşum enerjisi değerleri uluslararası kabul gören çeşitli veri tabanlarından temin edilebilmektedir. Bu çalışmada ihtiyaç duyulan yapı malzemelerine ilişkin oluşum enerjisi değerleri çeşitli veri tabanlarından temin edilmiştir [12, 13, 14]. Aynı malzeme için farklı değerler olması durumunda değerlerin ortalaması alınmıştır.

$$Q_{\text{oluşum}} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot \left(1 + \frac{w_i}{100}\right) \cdot M_i \quad (3.1)$$

$Q_{\text{oluşum}}$: Yapı malzemesinin oluşumu için tüketilen toplam enerji miktarı (kWh)

n: yapı malzemelerinin sayısı

i: ilgili yapı malzemeleri

m_i : yapı malzemesinin miktarı (ton)

w_i : yapının inşası sırasında kullanılan malzeme fire faktörü (%)

M_i : inşaat malzemesinin üretimi için kullanılan enerjiyi kWh/ton

3.2.2. Oluşum Sürecinde Gerçekleşen Karbon Salımı Performansının Analizi

Yapı malzemelerinin üretilmesi sürecinde enerji tüketimine bağlı olarak gerçekleşen karbon salımı oluşum karbonu olarak tanımlanmaktadır. Oluşum aşamasında gerçekleşen karbon salımı, enerji tüketimi ve kullanılan yakıt tipine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bina kabuğunun oluşum karbonu eşitlik 3.2 ile hesaplanmıştır [15]. Yapı malzemelerinin üretilmesi esnasında gerçekleşen karbon salımının hesaplanması için çok sayıda veriye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada yapı malzemelerinin oluşum karbonu değerleri, oluşum enerjisinin hesaplanmasında olduğu gibi uluslararası alanda kabul gören veri tabanlarından elde edilmiştir [12, 13, 14].

$$K_{\text{oluşum}} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot K_i \quad (3.2)$$

$K_{\text{oluşum}}$: Yapı malzemesinin üretiminde gerçekleşen karbon salımı (ton CO₂/ton)

n: Yapı malzemelerinin sayısı

i: İlgili yapı malzemeleri

m_i : Yapı malzemesinin miktarı (ton)

K_i : Birim yapı malzemesinin birim başına karbon salımı (ton CO₂/ton)

3.2.3. Kabuğun Maliyet Performansının Analizi

Bina kabuğunun maliyet performansının analizinde kabuğun ilk yatırım maliyeti dikkate alınarak maliyet hesaplamaları gerçekleştirilecektir. Maliyet hesaplamalarında ihtiyaç duyulan, kabukta yer alan malzeme miktarları mimari çizimler ve detaylardan hesaplanmıştır. Yapı malzemelerinin birim fiyatları ve yapım fiyatları ise Çevre ve Şehircilik Bakanlığının 2017 yılı için yayınladığı inşaat birim fiyatlarından elde edilmiştir [16].

3.3. Alternatiflerin Belirlenmesi

Çalışma kapsamında performans analizlerinin gerçekleştirileceği alternatifler, bina formu, kabuğun biçim faktörü, kabukta kullanılan gövde malzemesi, ısı yalıtım malzemesi ve ısı yalıtım kalınlığı gibi ölçütler altında oluşturulmuştur. Kabukta kullanılan malzemeler, inşaat sektöründe malzemelerin kullanım yoğunluğuna göre belirlenmiştir. Bina kabuğunu oluşturan, malzeme, ısı yalıtım malzemesi ve kalınlığına ilişkin alternatifler tablo 3'de yer almaktadır. Bina kabuğu alternatifleri, bina formu ve biçim faktörü gibi ölçütlerde oluşturulan alternatifler ile kombine edilerek performans analizlerinin gerçekleştirileceği senaryolar oluşturulmuştur. Toplamda 104 adet senaryonun performans analizi gerçekleştirilmiştir. Tablo 4'de performans analizinin gerçekleştirileceği senaryoların özeti bulunmaktadır.

Tablo 3. Bina kabuğu alternatiflerin listesi

Alternatif no	İç ortama bakan katmanlar	Gövde katmanı	Isı Yalıtım katmanı	Isı Yalıtım Kalınlığı	Dış ortama bakan katmanlar
1	Boya, alçı sıva	Tuğla 19cm	Yok	0	Çimento esaslı sıva, dış cephe boyası
2	Boya, alçı sıva	Tuğla 19cm	EPS	3 cm	Çimento esaslı sıva, dış cephe boyası
3	Boya, alçı sıva	Tuğla 19cm	EPS	5 cm	Çimento esaslı sıva, dış cephe boyası
4	Boya, alçı sıva	Tuğla 19cm	EPS	8 cm	Çimento esaslı sıva, dış cephe boyası
5	Boya, alçı sıva	Tuğla 19cm	XPS	3 cm	Çimento esaslı sıva, dış cephe boyası
6	Boya, alçı sıva	Tuğla 19cm	XPS	5 cm	Çimento esaslı sıva, dış cephe boyası

Alternatif no	İç ortama bakan katmanlar	Gövde katmanı	Isı Yalıtım katmanı	Isı Yalıtım Kalınlığı	Dış ortama bakan katmanlar
7	Boya, alçı sıva	Tuğla 19cm	XPS	8 cm	Çimento esaslı sıva, dış cephe boyası
8	Boya, alçı sıva	Tuğla 19cm	Cam Yünü	3 cm	Çimento esaslı sıva, dış cephe boyası
9	Boya, alçı sıva	Tuğla 19cm	Cam Yünü	5 cm	Çimento esaslı sıva, dış cephe boyası
10	Boya, alçı sıva	Tuğla 19cm	Cam Yünü	8 cm	Çimento esaslı sıva, dış cephe boyası
11	Boya, alçı sıva	Tuğla 19cm	Taş Yünü	3 cm	Çimento esaslı sıva, dış cephe boyası
12	Boya, alçı sıva	Tuğla 19cm	Taş Yünü	5 cm	Çimento esaslı sıva, dış cephe boyası
13	Boya, alçı sıva	Tuğla 19cm	Taş Yünü	8 cm	Çimento esaslı sıva, dış cephe boyası
14	Boya, alçı sıva	Gazbeton 20cm	Yok	0	Çimento esaslı sıva, dış cephe boyası
15	Boya, alçı sıva	Gazbeton 20cm	EPS	3 cm	Çimento esaslı sıva, dış cephe boyası
16	Boya, alçı sıva	Gazbeton 20cm	EPS	5 cm	Çimento esaslı sıva, dış cephe boyası
17	Boya, alçı sıva	Gazbeton 20cm	EPS	8 cm	Çimento esaslı sıva, dış cephe boyası
18	Boya, alçı sıva	Gazbeton 20cm	XPS	3 cm	Çimento esaslı sıva, dış cephe boyası
19	Boya, alçı sıva	Gazbeton 20cm	XPS	5 cm	Çimento esaslı sıva, dış cephe boyası
20	Boya, alçı sıva	Gazbeton 20cm	XPS	8 cm	Çimento esaslı sıva, dış cephe boyası
21	Boya, alçı sıva	Gazbeton 20cm	Cam Yünü	3 cm	Çimento esaslı sıva, dış cephe boyası
22	Boya, alçı sıva	Gazbeton 20cm	Cam Yünü	5 cm	Çimento esaslı sıva, dış cephe boyası
23	Boya, alçı sıva	Gazbeton 20cm	Cam Yünü	8 cm	Çimento esaslı sıva, dış cephe boyası
24	Boya, alçı sıva	Gazbeton 20cm	Taş Yünü	3 cm	Çimento esaslı sıva, dış cephe boyası
25	Boya, alçı sıva	Gazbeton 20cm	Taş Yünü	5 cm	Çimento esaslı sıva, dış cephe boyası
26	Boya, alçı sıva	Gazbeton 20cm	Taş Yünü	8 cm	Çimento esaslı sıva, dış cephe boyası

Tablo 4. Performans analizi gerçekleştirilen senaryoların özeti

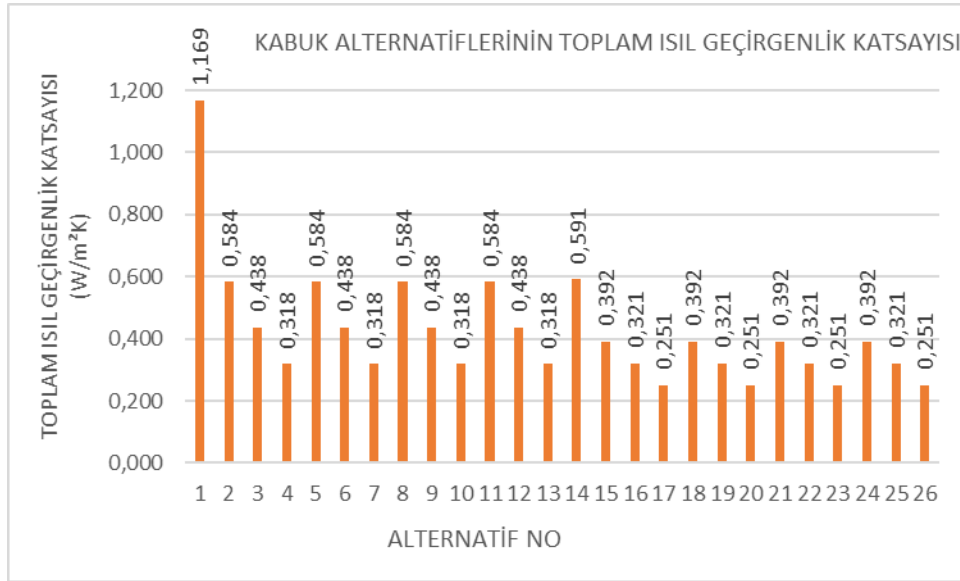
Form	Biçim Faktörü	Gövde Malzemesi	Isı Yalıtım Malzemesi	Isı Yalıtım Kalınlığı	Toplam
Referans bina formu Kare Dikdörtgen	1x1,5 1x2	Tuğla (Yatay delikli 19cm) Gazbeton (19cm)	EPS XPS Cam yünü Taş yünü	Yalıtımsız 3 cm 5 cm 8cm	104
3	2	2	4	4	

3.3. Hesaplamaların Yapılması Ve Sonuçların Elde Edilmesi

Performans analizine ilişkin yöntem seçimi, gerekli kabullerin yapılması, verilerin toplanması ve senaryoların belirlenmesinin akabinde performans hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular, belirlenen referans konut binasının kullanım dönemindeki bir yıllık enerji tüketimi ve karbon salımı performansı ile mukayese edilerek aktarılacaktır. Kullanım döneminde gerçekleşen enerji performansının analizinde detaylı dinamik hesaplama yöntemiyle Design Builder yazılımı kullanılarak birincil enerji cinsinden analiz edilmiştir [17]. Referans konut binasının kullanım döneminde gerçekleşen bir yıllık enerji tüketiminin hesaplanmasında ihtiyaç duyulan kabullerin yapılmasında ilgili standartlardan yararlanılmıştır [18,19]. Birincil enerji dönüşüm katsayısı doğalgaz için 1, elektrik için 2,36 kabul edilmiştir [18]. Referans konut binasının birincil enerji cinsinden bir yıllık enerji tüketimi ve karbon salımı performansları tablo 5'de yer almaktadır.

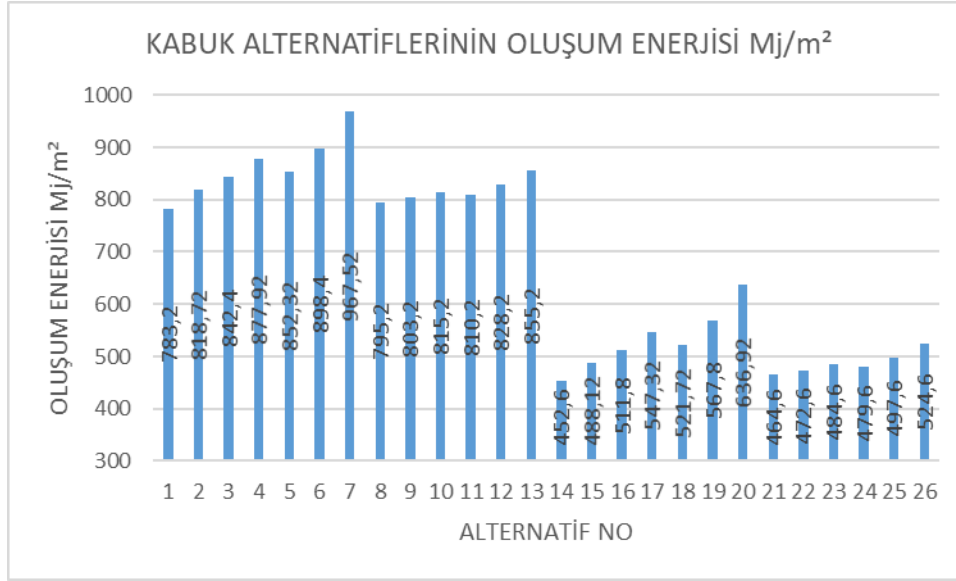
Tablo 5. Referans konut binasının yıllık birincil enerji tüketimi ve karbon salımı performansları.

Referans Konut Binasının (İstanbul) Yıllık Birincil Enerji Tüketimi ve Karbon Salımı Performansları			
	kWh/m ² yıl	Mj/m ² yıl	kg CO ₂ /m ² yıl
Isıtma	29.14	104,93	6,70
Soğutma	31.43	113,18	19,17
Aydınlatma	23.70	85,34	14,45
Sıcak su	17.12	61,65	3,93
Toplam	101,38	365,07	44,25



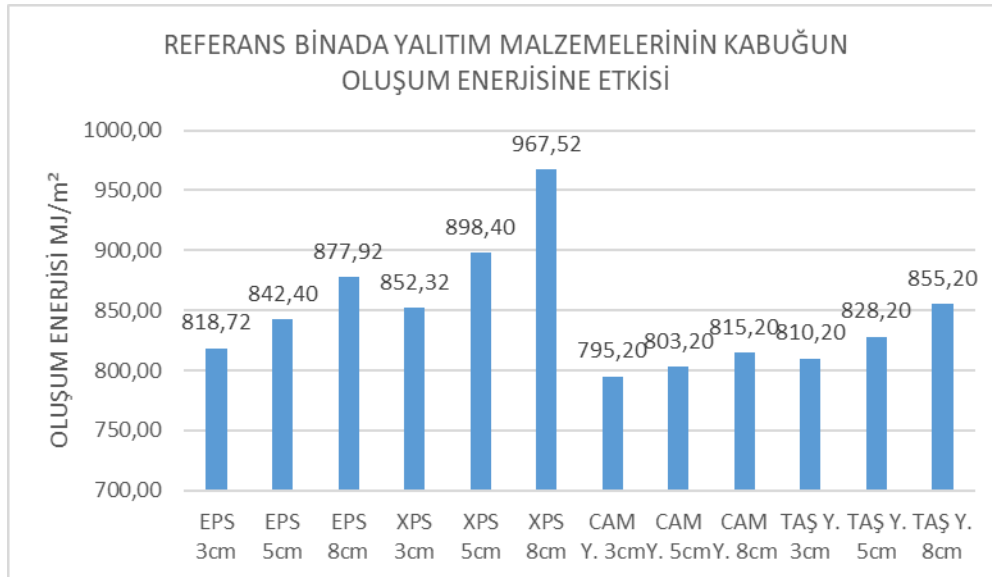
Şekil 2. Kabuk alternatiflerinin toplam ısı geçirgenlik katsayısı (W/m²K).

Oluşturulan kabuk alternatiflerinin toplam ısı geçirgenlik katsayısı şekil 2'de yer almaktadır. Isı yalıtım malzemelerinin ısı iletkenlik değerlerinin birbirine yakın olması farklı ısı yalıtım malzemelerine sahip alternatiflerin kabuk alternatiflerinin toplam ısı geçirme katsayısı değeri üzerinde ciddi bir etkisi bulunmamaktadır. Ancak gövde malzemesi olarak kullanılan tuğla ve gazbeton'un ısı iletkenlik değerleri arasındaki farkın kabuğun toplam ısı geçirgenlik değerini önemli ölçüde etkilediği görülmüştür. TS 825'de yer alan dış duvar için azami toplam ısı geçirgenlik değeri (U değeri) dikkate alındığında toplam 26 alternatiften 1. iklim bölgesi için 25, 2. iklim bölgesi için 25, 3. iklim bölgesi için 19 ve 4. iklim bölgesi için 15 kabuk alternatifinin azami değeri karşıladığı görülmüştür.



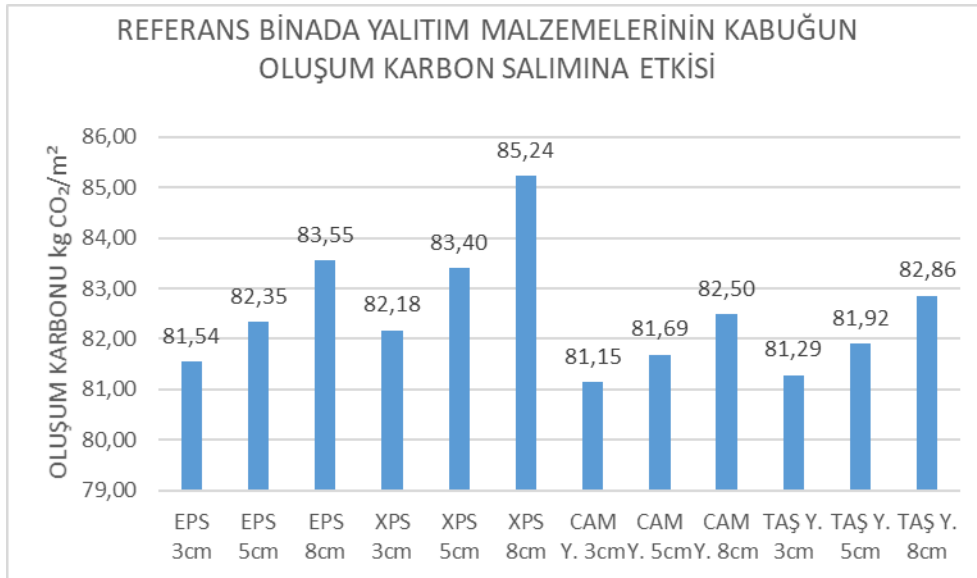
Şekil 3. Referans konut binasında kabuk alternatiflerinin oluşum enerjisi (Mj/m²).

Bina kabuğunda kullanılan malzeme ve katman sayısına bağlı olarak kabuğun oluşum enerjisi ciddi miktarda farklılık göstermektedir (Şekil 3). Oluşum enerjisi en yüksek alternatif 967,52 Mj/m² ile tuğla ve 8cm kalınlıkta XPS ısı yalıtım katmanına sahip kabuk olurken, en düşük oluşum enerjisi performansı 452,6 Mj/m² gazbeton ve ısı yalıtım katmansız alternatifte gerçekleşmiştir. Alternatiflerin U değerleri sırası ile 0,31 W/m² K⁻¹ ve 0,59 W/m² K⁻¹ dir. Alternatifler içerisinde ısı yalıtım katmanı olmayan alternatifler olan 1 ve 14 numaralı alternatifler karşılaştırıldığında oluşum enerjisi açısından 330,6 Mj/m² fark bulunmaktadır. Söz konusu fark, referans konut binasının kullanım döneminde yaklaşık olarak birincil enerji cinsinden bir yıllık enerji tüketimine eşittir. Kabukta kullanılan malzeme sayısı ve malzemenin oluşum enerjisine bağlı olarak kabuğun oluşum enerjisi tüketimi ve binanın yaşam döngüsü enerji tüketimini doğrudan etkilenmektedir.

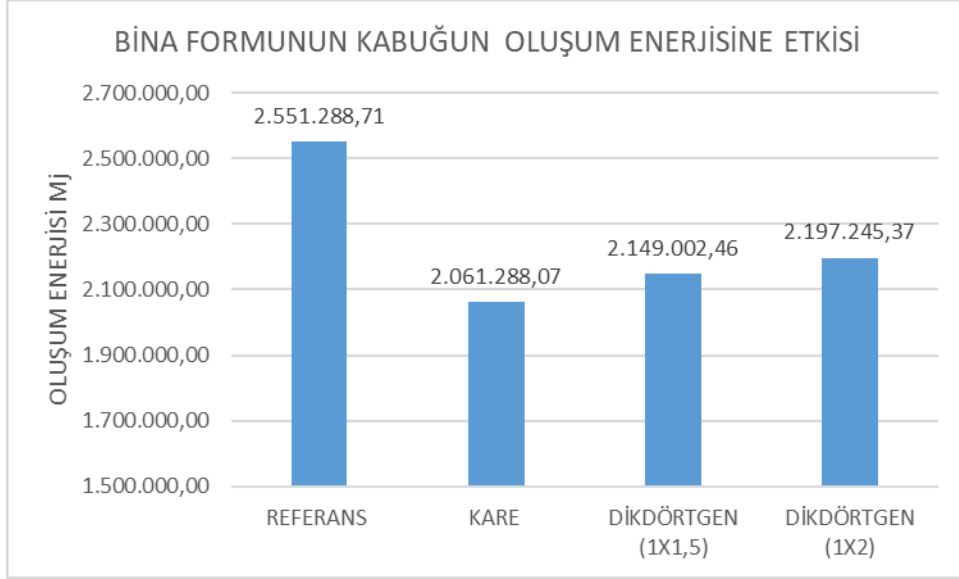


Şekil 4. Referans konut binasında yalıtım malzemesi ve kalınlığı alternatiflerinin oluşum enerjisine etkisi (Mj/m²).

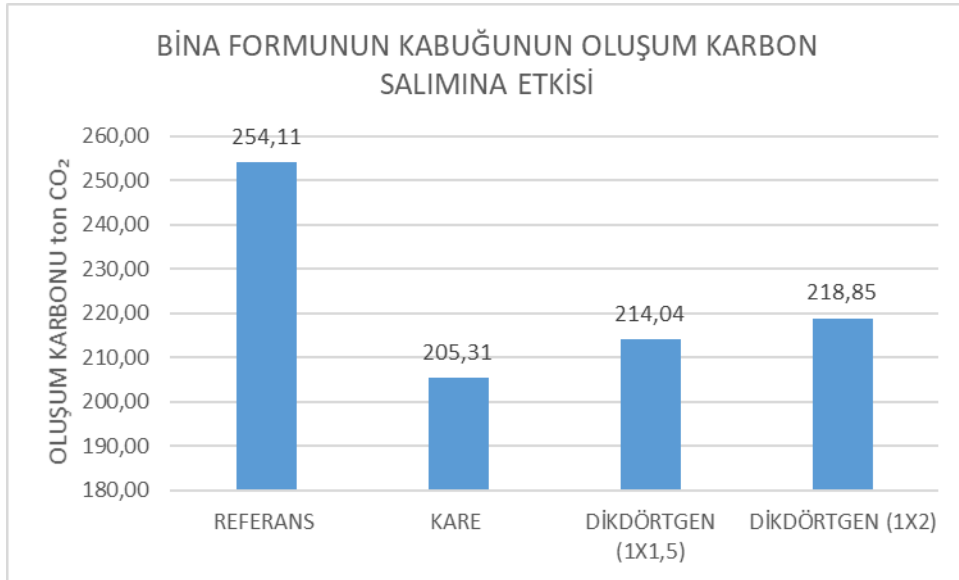
Referans konut binasında farklı yalıtım malzemesi ve kalınlığı seçeneklerinin kabuğun oluşum enerjisine olan etkisi şekil 4’de yer alan grafikte görülmektedir. Yalıtım malzemelerinin oluşum enerji değerleri arasında ciddi fark söz konusudur. En düşük oluşum enerjisine sahip ısı yalıtım malzemesi cam yünü, xps ise en yüksek oluşum enerjisi değerine sahiptir. Yalıtım kalınlığı arttıkça malzeme miktarı arttığından dolayı kabuğun oluşum enerjisi de yükselmektedir. Aynı kalınlığa sahip (8 cm) cam yünü ve xps yalıtım malzemelerine sahip kabuk alternatifleri (no: 7 ve no: 10) arasında 152,32 Mj/m² fark bulunmaktadır. Söz konusu fark referans konut binasının birincil enerji cinsinden bir yıllık ısıtma enerjisi tüketiminden yaklaşık %50, soğutma enerjisi tüketiminden yaklaşık %40 fazladır. Bina kabuğunda yalıtım malzemesi tercihi ile binanın enerji performansında tasarruf potansiyeli bulunmaktadır. Isı yalıtım malzemesi ve yalıtım kalınlığı seçeneklerinin bina kabuğunun oluşum aşamasında gerçekleşen karbon salımına olan etkisi şekil 5’de yer almaktadır. Oluşum enerjisinde olduğu gibi ısı yalıtım malzemesi ve yalıtım kalınlığı tercihi bina kabuğunun oluşum karbonu performansını etkilemektedir. Oluşum karbonu açısından aynı kalınlığa sahip seçenekler arasında en yüksek salım xps seçeneğinde en düşük salım ise taş yünü seçeneğinde gerçekleşmektedir (no: 7 ve no: 10). İki seçenek arasındaki fark 2,74 kg CO₂/ m² yıl değeri ile referans konut binasının bir yıllık ısıtma enerjisi tüketimi sonucu gerçekleşen karbon salımının yaklaşık %40’ına eşittir. Yalıtım kalınlığının artmasıyla oluşum enerjisi ve oluşum karbon salımı değerleri artmaktadır. Bina kabuğunda ısı yalıtım uygulaması gerçekleştirilirken ısı yalıtım malzemelerinin ısı iletkenlik değerinin yanında oluşum enerjisi ve karbonu performansına da dikkat edilmelidir. Türkiye’de binalarda enerji verimliliği ile ilgili yürürlükte olan standart ve yönetmelikler oluşum enerjisi ve karbonu performanslarını dikkate almamaktadır. Yukarıda karşılaştırması yapılan ısı yalıtım malzemelerinin ısı iletkenlik değerlerinin birbirlerine yakın olduğu bilinmektedir. Aynı kalınlığa sahip yalıtım malzemeleri arasındaki oluşum enerjisi ve karbon salımı farkı dikkate alındığında malzeme seçimi ile enerji tasarrufu ve karbon salımının azaltılması potansiyeli bulunmaktadır. Bu nedenle mevcut standart ve yönetmeliklerin kabuğu oluşturan yapı malzemelerinin oluşum enerjisi ve oluşum karbon salımı değerlerini dikkate alacak şekilde revize edilmesi gerekmektedir.



Şekil 5. Referans konut binasında yalıtım malzemesi ve kalınlığı alternatiflerinin oluşum karbonuna etkisi (kg CO₂/m²).



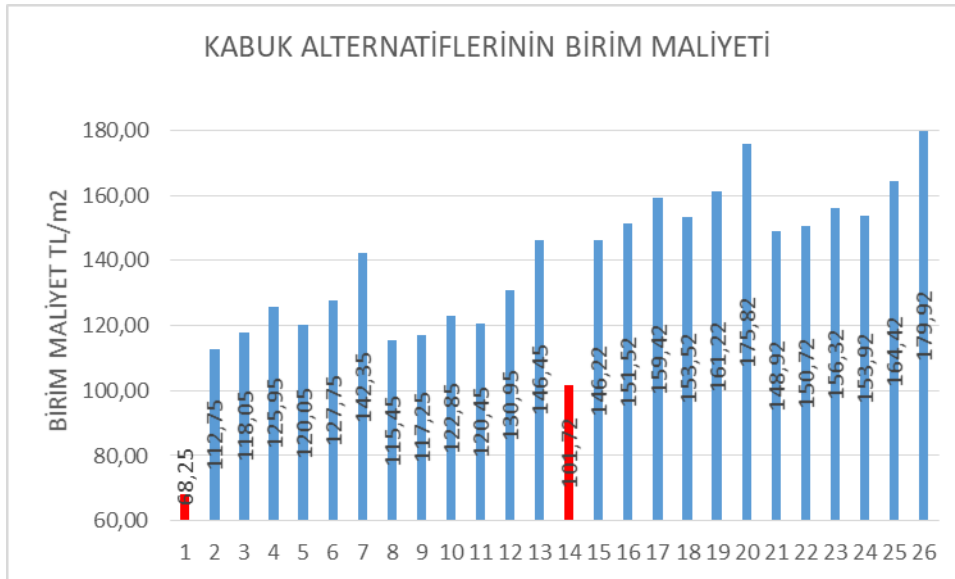
Şekil 6. Bina formu ve biçim faktörü alternatiflerinin bina kabuğunun oluşum enerjisine etkisi (Mj).



Şekil 7. Bina formu ve biçim faktörü alternatiflerinin bina kabuğunun oluşum karbon salımına etkisi (ton CO₂).

Şekil 6 ve 7’de bina formu ve biçim faktörü alternatiflerinin bina kabuğunun oluşum enerjisi ve oluşum karbon salımı performansına etkisi görülmektedir. Biçim faktörü, bina genişliğinin derinliğine olan oranı olarak tanımlanmaktadır. Bina kabuğunun formu ve biçim faktörü bina kabuğunun alanını belirleyerek, binada kabuk yoluyla gerçekleşecek ısı kaybı ve kazançlarını etkilemektedir. Ayrıca kabuk alanı, bina kabuğunda kullanılacak malzeme miktarını etkilemesine bina kabuğunun oluşum enerjisi ve oluşum karbon salımı performansını da doğrudan etkilemektedir. Çalışmada taban alanı referans konut binası ile aynı kalmak koşulu ile kare ve iki farklı biçim faktörü değerine sahip dikdörtgen formlu alternatifler geliştirilmiştir. Bina kabuğunun formuna bağlı olarak kabuğun oluşum enerjisi ve karbon salımının en yüksek seviyede gerçekleştiği alternatif referans konut binasının formu, en düşük seviyedeki oluşum enerjisi tüketimi ve karbon salımı performansı kare forma sahip alternatifde gerçekleşmektedir. Kabuğun oluşum enerjisi açısından fark 490.000 Mj ile referans konut binasının bir yıllık ısıtma enerjisi tüketiminin yaklaşık %70’ine eşittir. Bina kabuğunun oluşum karbonu açısından alternatifler arasındaki

fark 48,8 ton CO₂ ile referans konut binasında gerçekleşen bir yıllık toplam enerji tüketimi kaynaklı gerçekleşen karbon salımının yaklaşık %16'sına eşittir. Bir ağacın ömrü boyunca 1 ton CO₂ soğurduğu göz önüne alındığında bina formu tercihi ile yaklaşık 48 ağacın soğurabileceği karbon salımını azaltmak mümkündür [20]. Bina formu ve taban alanı aynı kalmak koşulu ile biçim faktörünü değiştirmek suretiyle oluşturulan dikdörtgen forma sahip alternatifler arasında ise kabuğun oluşum enerjisi açısından 48.242,91 Mj, oluşum karbonu açısından 4,81 ton CO₂, fark söz konusudur. Bina formunun sabit kalması koşulu ile boyutların değişmesi ile referans konut binasının bir yıllık aydınlatma enerjisi tüketiminin yaklaşık %40'ı kadar enerji tasarruf potansiyeli bulunmaktadır. Ayrıca, bir yıllık sıcak su eldesi için harcanacak enerji kaynaklı gerçekleşecek karbon salımını miktarından fazla karbon salımını engellemek mümkündür. Yalıtım malzemesinde olduğu gibi bina formu ve biçim faktörü de bina kabuğunun oluşum enerjisi ve oluşum karbonu performansını etkilemekte, bütüncül bir bakış açısı ile tasarım aşamasında gerçekleştirilecek analizler eşliğinde tasarım aşamasında alınacak kararlar ile enerji tasarrufu ve karbon salımının azaltılması potansiyeli bulunmaktadır. Bina kabuğunun formu ve biçim faktörü bina kabuk alanını belirleyerek binanın kullanım döneminde gerçekleşecek enerji performansını doğrudan etkilemektedir. Bina kabuğunda kompakt form tercihi binanın yaşam döngüsü sürecinde gerçekleşecek enerji tüketimi performansında tasarruf, karbon salımının ise azaltılmasında önemli katkıda bulunacağı ortaya konulmuştur. Ayrıca bina kabuğunda kompakt form tercihi bina kabuğunda kullanılacak malzeme miktarının azaltılmasını sağlayarak sürdürülebilirlik açısından kaynakların korunmasına ve bina hizmet ömrünü tamamladığında ise bina kabuğu kaynaklı oluşacak katı atık miktarının azaltılmasıyla olası çevresel etkilerin de önemli ölçüde önüne geçilmesine olanak sağlayacaktır.



Şekil 8. Bina kabuğu alternatiflerinin ilk yatırım maliyeti performansı (tl /m²).

Şekil 8'de bina kabuğu alternatiflerinin ilk yatırım maliyeti performansları görülmektedir. Kırmızı renk ile renklendirilen alternatifler, ısı yalıtım uygulamasının olmadığı alternatiflerdir. Yapı malzeme fiyatlarına bağlı olarak bina kabuğu maliyetinin değişkenlik gösterdiği, yalıtım kalınlığının artmasının binanın kabuk maliyetini arttırdığı görülmektedir. Isı yalıtım uygulaması olmayan tuğla ve gazbeton kabuk alternatiflerinde 33,47 tl/m² fark söz konusudur. Aynı ısı yalıtım kalınlığına sahip seçenekler karşılaştırıldığında en düşük ilk yatırım maliyeti 125,95 tl /m² ile 8cm eps yalıtıma sahip tuğla duvarda, en yüksek ilk yatırım maliyeti ise 179,92 tl /m² ile 8cm taş yünü yalıtıma sahip gazbeton duvarda gerçekleşmektedir. Yalıtım kalınlığının artırılmasının binanın enerji performansına olan etkisi binanın yer aldığı iklim bölgesine göre değişkenlik göstermektedir. Yalıtım kalınlığının artırılması özellikle sıcak nemli iklim bölgelerinde binada gece soğutması yapılmasına engel olmasından dolayı soğutma enerjisi tüketimini arttırdığı, elektrik kullanılarak gerçekleştirilen soğutmanın da binanın birincil enerji tüketimini arttırdığı daha önce yapılan çalışmalarda ortaya konulmuştur [21,22]. Bu nedenle yalıtım kalınlığına karar verilirken binanın birincil enerji cinsinden performansının analiz edilmesi büyük önem taşımaktadır.

Tablo 6. Optimum performans gösteren alternatiflerin listesi.

Alternatif No	Form	Biçim Faktörü	Gövde Malzemesi	Isı Yalıtım Malzemesi	Isı Yalıtım Kalınlığı
41	Kare	1	Gazbeton	EPS	3 cm
42	Kare	1	Gazbeton	EPS	5 cm
47	Kare	1	Gazbeton	Cam yünü	3 cm
48	Kare	1	Gazbeton	Cam yünü	5 cm
67	Dikdörtgen	1x1,5	Gazbeton	EPS	3 cm

Aktarılan bulgulardan görüldüğü üzere seçilen ölçütlere göre alternatifler farklı şekilde performans göstermektedir. Yalıtım katmanı olmayan alternatifler haricindeki tüm alternatiflerin, oluşum enerjisi, karbon salımı ve maliyet açısından performanslarının ortalaması alınarak ortalama değer altında kalan seçenekler elenmiştir. Buna göre seçilen tüm ölçütlere göre optimum performans gösteren ve TS 825'e göre dış duvarda tavsiye edilen U değerini sağlayan kabuk alternatiflerinin listesi tablo 6'da yer almaktadır. Performans analizleri gerçekleştirilen 104 alternatiften toplam 5 adedi yaşam döngüsü süreci oluşum aşamasında enerji tüketimi, karbon salımı ve maliyet açısından optimum performansı göstermektedir.

SONUÇ

Bu çalışmada, oluşturulan bina kabuğu alternatifleri performans analizi için seçilen oluşum enerjisi, oluşum karbon salımı ve ilk yatırım maliyeti ölçütlerine göre incelenmiştir. Elde edilen bulgulardan yapı kabuğunda malzeme seçimi ve form tercihlerinin bina kabuğunun oluşum enerjisi, oluşum karbonu ve maliyetini doğrudan etkilediği görülmektedir. Oluşum enerjisi açısından en yüksek ve en düşük enerji tüketimi performansına sahip alternatifler arasındaki fark, referans konut binasının birincil enerji cinsinden bir yıllık enerji tüketimine eşittir. Form alternatifleri açısından en düşük oluşum enerjisi tüketimine sahip alternatifin en düşük kabuk alanına sahip kare form, en yüksek enerji tüketimine ise en yüksek kabuk alanına sahip referans bina formunun olması bina tasarımında form tercihinin binanın enerji tüketimi açısından önemini bir kez daha ortaya koymaktadır. Bina formunun sadeleşmesi ile referans konut binasının bir yıllık ısıtma enerjisi tüketiminin yaklaşık %70'i kadar enerji tasarrufu potansiyeli bulunmaktadır. Ayrıca kompakt form tercihi ile yıllık 48,8 ton karbon salımını engellemek mümkündür. Söz konusu salım değeri 48 adet ağacın bir yılda soğurabileceği karbondioksit miktarına eşittir. Elde edilen bulgular ısı yalıtım malzemesi alternatifleri açısından karşılaştırıldığında, malzemelerin ısı iletim değerlerinin birbirine yakın olmasına karşın oluşum enerjisi ve oluşum karbonu performansları açısından ciddi farkların olduğu, söz konusu farkın referans konut binasının yıllık ısıtma enerjisi tüketim değerinden %50 fazla olduğu görülmüştür. Gerçekleştirilen performans analizi çalışmalarından görüldüğü üzere, binalarda enerji verimliliğinin gerçekleştirilmesinde bina kabuğu tasarımının büyük önem sahibi olduğu ve bina kabuğu tasarımının yaşam döngüsü yaklaşımı ile ele alınmasının gerekliliği bu çalışma ile desteklenmiştir. Bina kabuğu tasarımında malzeme seçimi binanın yaşam döngüsü sürecinde enerji tüketimi ve karbon salımı performansını doğrudan etkilemektedir. Bina kabuğunun tasarımında oluşum enerjisi ve karbon salımı düşük değerlere sahip malzeme seçimi ile enerji tasarrufu ve karbon salımının azaltılması potansiyeli bulunmaktadır. Bu nedenle binalarda enerji verimliliği ile ilgili yürürlükte olan standart ve yönetmeliklerin bütüncül bir bakış açısına sahip olacak şekilde revize edilmesi, malzemelerin oluşum enerjisi ve karbon salımı performanslarının da mutlaka dikkate alınması gerekmektedir. Bu çalışmada tüm alternatifler yaşam döngüsü sürecinde oluşum enerjisi, karbon salımı ve maliyet açısından değerlendirilmiştir. Farklı ölçütlerin dâhil edileceği çalışmaların sonucunda farklı bulgu ve sonuçların elde edileceği unutulmamalıdır. Bina kabuğundan performans beklentisinin artması, malzeme ve yapım teknolojilerinin gelişmesiyle bina kabuğu için malzeme seçimi, tasarım aşamasında analiz edilerek optimum seçeneklerin elde edilmesinin gerektiği bir problem haline gelmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] UNEP(United Nations Environment Programme), <http://www.unep.org/sbci/pdfs/SBCI-BCCSummary.pdf>. (Erişim tarihi: Haziran 2018)
- [2] ETKB (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı), “2010 Genel Enerji Dengesi Raporu” Ankara, 2010.
- [3] RAMESH, T., PRAKASH, P., SHUKLA, K.K., “Life cycle energy analysis of buildings: An overview”, Energy and Buildings, Vol 42, ss: 1592-1600, 2010.
- [4] STEPHAN, A., CRAWFORD, R., MYTTENAERE, k., “Towards a comprehensive life cycle energy analysis framework for residential buildings”, Energy and Buildings, Vol 55, ss: 592-600, 2012.
- [5] YUNG, P., LAM, K.C., YU, C., “An audit of life cycle energy analysis of buildings”, Habitat International, Vol: 39, ss: 43-54, 2013.
- [6] 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.
- [7] ADALBERTH, K. “Energy Use During Life Cycle of Building :A Method”, Building and Environment, Vol 32 No:4 ss: 317-320, 1997.
- [8] SEV, A. “sürdürülebilir Mimarlık”, Y.E.M. Yayınları, 2009.
- [9] ÇETİNTAŞ, K. F., YILMAZ, Z., “Konut Binalarının Yaşam Dönemindeki Enerji Tüketimi ve Yaşam Dönemi Maliyetinin Hesaplanması” , 12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi 08-11 Nisan, İzmir, 2015.
- [10] DE BOECK, L., “Improving the energy performance of residential buildings: A literature review”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 52, ss: 960-75, 2015.
- [11] T.C. Başbakanlık Toplu Konut İdaresi Başkanlığı (TOKİ), www.toki.gov.tr , (Erişim tarihi: Haziran 2018).
- [12] ICE, Inventory of Carbon & Energy, University of Bath, 2008. <http://perigordvacance.typepad.com/files/inventoryofcarbonandenergy.pdf>. (Erişim tarihi: Ağustos 2018)
- [13] Green Spec, <http://www.greenspec.co.uk/building-design/embodied-energy/> , (Erişim tarihi: Ağustos 2018).
- [14] GABI Software, GABI 6.0 Extension Database, Construction Materials, (Erişim tarihi: Ağustos 2018).
- [15] BAEK, C., PARK, S.H., SUZUKI, M., LEE, S.H., “Life Cycle Carbon dioxide Assesment Tool for Buildings in The Schematic Design Phase”, Energy and Buildings, 61, ss: 275-287, 2013.
- [16] ÇŞB (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Yüksek Fen Kurulu Başkanlığı), “2017 Yılı İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları”, Ankara, 2017.
- [17] DESIGN BUILDER, <https://www.designbuilder.co.uk/> (Erişim tarihi: Ekim 2018).
- [18] BEP-TR ‘Binalarda Enerji Verimliliği Yönetmeliği’ Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara 2010
- [19] TS 825 ‘Binalarda Isı Yalıtım Kuralları’ TSE, Ankara 2008.
- [20] YEANG, K. “ Ekotasarım Ekolojik Tasarım Rehberi” Y.E.M. Yayınları, 2008.
- [21] GANIÇ N., YILMAZ Z., CORGNATİ S. “Enerji Performansı Gereksinimlerinin Optimum Maliyet Düzeyinin Türkiye’deki Örnek Bir Ofis Binasında Yapılan İyileştirmeler İçin Hesaplanması” 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi 17-20 Nisan, İzmir, 2013.
- [22] ÇETİNTAŞ K. F., “Türkiye’de Konut Binalarının Yaşam Döngüsü Sürecinde Enerji ve Maliyet Açısından Etkin Tasarım Alternatiflerinin Geliştirilmesine Yönelik Model Önerisi” Yayınlanmamış Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2017.

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 Cephelelerin Isı Kayıplarının Hesaplanmasında Kullanılabilecek Yeni Bir Yaklaşım’ adlı yüksek lisans tezi ile yüksek mimar unvanını, 2017 yılında ‘Türkiye’de Konut Binalarının Yaşam Döngüsü Sürecinde Enerji Ve Maliyet Açısından Etkin Tasarım Alternatiflerinin Geliştirilmesine Yönelik Model Önerisi’ başlıklı tezi ile İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Bilimleri programından doktor unvanını almıştır. 2014 yılından itibaren İstanbul Arel Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Mimarlık bölümünde görev yapmaktadır. Binalarda enerji verimliliği, yaşam döngüsü değerlendirmesi konularında çalışmaktadır.