Bu bir MMO yayınıdır

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

BİR KONUT BİNASININ ENERJİ PERFORMANSININ YAŞAM DÖNGÜSÜ ENERJİ TÜKETİMİ VE CO_2 SALIMI AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

SUZİ DİLARA MANGAN
GÜL KOÇLAR ORAL
İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MAKİNA MÜHENDİSLERİ ODASI

BİLDİRİ

BİR KONUT BİNASININ ENERJİ PERFORMANSININ YAŞAM DÖNGÜSÜ ENERJİ TÜKETİMİ VE CO_2 SALIMI AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Suzi Dilara MANGAN
Gül Koçlar ORAL

ÖZET

Konut binalarının, tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de, enerji tüketimi ve enerji tüketimine bağlı CO_2 salımlarından yüksek oranda sorumlu olduğu bilinmektedir. Yeni konut binalarının tasarımında ya da mevcut konut binalarının iyileştirilmesinde enerji etkin yaklaşımın dikkate alınmamasının çevresel problemlere yol açtığı da açıktır. Özellikle konut binalarında yenilenemeyen kaynakların kullanılması, kullanılan kaynakların kıt ve tükenebilir olması ve bu kaynakların kullanımına bağlı çevre üzerindeki olumsuz etkileri ve yüksek enerji maliyetleri konut enerji performansının yaşam döngüsü açısından değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır.

Bu çalışmada, konut enerji performansının iyileştirilmesine yönelik önerilerin farklı iklim bölgeleri için geliştirilmesi ve bu önerilere dayalı olarak konut binalarının enerji ve çevresel performanslarının yaşam döngüsü çerçevesinde karşılaştırmalı yöntem esas alınarak değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, iyileştirme önerileri olarak bina sisteminin en etkin öğesi olan bina kabuğunun geliştirilmesi ve ve fotovoltaik (PV) sistemlerin bina kabuğuna entegre edilmesi ele alınmaktadır. Geliştirilen önerilerin binanın yaşam döngüsü enerji tüketimi ve CO_2 salımı üzerindeki etkisi, yaşam döngüsü enerji ve CO_2 analizleri gerçekleştirilerek değerlendirilmektedir. Değerlendirme sonucunda yaşam döngüsü enerji tüketimi ve CO_2 salımının azaltılmasında etkili olan öneriler farklı iklim bölgeleri için tartışılarak sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Konut binaları, Enerji iyileştirme, Yaşam döngüsü yaklaşımı, Enerji tüketimi, CO_2 salımı.

ABSTRACT

It is acknowledged that residential buildings in Turkey, just as in all over the world, are highly responsible for the energy consumption and associated CO_2 emission. And also, it is clear that not to take into consideration the energy efficiency approach in the design of new residential buildings or improvement of the existing residential buildings leads to environmental problems. Especially, in residential buildings, the usage of non-renewable resources which are scarce and exhaustible, and due to this, the negative impacts on the environment and the high energy costs require the evaluation of the residential energy performance on a life cycle basis.

In this study, it is aimed that the suggestions concerning the improvement of residential energy performance are developed for different climate zones; and also the energy and environmental performances of the residential buildings regarding these suggestions are assessed on the basis of a comparative method in the framework of life cycle. In accordance with this purpose, as the improvement suggestions, the development of building envelope which is the most important element of building system, and integration of photovoltaic (PV) systems to building envelope are taken into consideration The effects of developed suggestions on life cycle energy consumption and CO_2

emission are evaluated by performing the life cycle energy and CO_2 analyses. As a result of these evaluations, the effective suggestions on the reduction of life cycle energy consumption and CO_2 emission are discussed and presented for different climate zones.

Key Words: Residential buildings, Energy retrofit, Life cycle approach, Energy consumption, CO_2 emission.

1. GİRİŞ

Günümüzde, küreselleşen enerji ve çevre sorunlarının hızlı ve maliyet etkin olarak çözüme ulaştırılması ve sürdürülebilir, ekonomik kalkınmanın sağlanması açısından enerji etkinlik düzeyinin geliştirilmesi, tüm gelişmiş ülkelerin enerji politikalarının odak noktasını oluşturmaktadır. Bu bağlamda, küresel enerji tüketiminin %40'ı, CO_2 salımının %30'u ve yaklaşık olarak toplam malzeme kullanımının ise %44'ünden [1-3] sorumlu olan binalar, dünya genelinde pek çok ülke tarafından enerji ve iklim değişikliği politikalarının geliştirilmesinde temel bileşen olarak görülmektedir. Sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin başarılmasında da gerekli önlemlerin uygulanabildiği en önemli sektörlerden biri olarak kabul edilen bina sektörü, gerek gelişmiş ve gerekse gelişmekte olan ülkelerde oldukça aktif bir konumda olup küresel olarak gelişmeye devam etmektedir. Dolayısıyla, binaların enerji ve çevresel performanslarının değerlendirilerek enerji tüketimlerinin azaltılmasına yönelik çözüm önerilerinin geliştirilmesi gerekli olmaktadır.

Bu açıdan, mevcut konutların enerji kullanımı açısından oldukça verimsiz bir yapıya sahip oldukları, diğer taraftan yeni konutların ise yüksek performans düzeyine ulaşma eğiliminde olmalarına rağmen genellikle istenilen düzeyde performans gösteremedikleri görülmektedir. Dolayısıyla, konut binalarının enerji etkinlik düzeylerinin geliştirilebilmesi için enerji tüketimlerinin minimize edilmesi, enerji üreten sistemlerin entegre edilmesi ile konut binalarında enerji verimliliğinin artırılması, diğer bir deyişle bina enerji performansının iyileştirilmesi gerekmektedir. Böylece, konut binalarında önemli oranda enerji tasarrufunun sağlanabileceği ve dolayısıyla daha az CO_2 salımına ve enerji giderlerine sahip yüksek etkinlikte yapılara dönüştürülebileceği bilinen bir gerçektir. Bu kapsamda, pek çok konut binasının doğrudan ya da dolaylı olarak yüksek düzeyde fosil yakıt kullanımına bağımlı olması, kullanılan kaynakların kıt ve tükenebilir olması ve bu kaynakların kullanımına bağlı çevre üzerindeki olumsuz etkileri ve yüksek enerji maliyetleri, konut enerji performansının yaşam döngüsü açısından değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır.

Bu nedenle, tüm dünyada "bina enerji performansına" ilişkin çalışmalar, hammaddelerin çıkarımı ve malzemelerin üretiminden binaların tasarım, yapım, kullanım ve bakım, yeniden kullanım ya da yıkım evrelerine kadar yaşam döngüsü içerisinde, binaların enerji performanslarını değerlendiren bütüncül süreçlere dayalı olarak gerçekleştirilmektedir. Dolayısıyla, bu çalışma ile farklı iklim bölgeleri için konut enerji performansının iyileştirilmesine yönelik geliştirilen önerilerin yaşam döngüsü esasına dayalı olarak konut binasının enerji performansı üzerindeki etkisinin bütüncül bir çerçevede değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, bina kabuğunun enerji etkin pasif sistem öğesi olarak geliştirilmesi esas alınarak tanımlanan önerilerin konut binasının yaşam döngüsü enerji tüketimi ve CO_2 salımı üzerindeki etkisi, yaşam döngüsü enerji ve CO_2 salım analizleri gerçekleştirilerek değerlendirilmektedir.

2. YÖNTEM

Çalışmanın amacı, konut enerji performansını iyileştirmede etkili olan önerilerin farklı iklim bölgeleri için geliştirilmesi ve geliştirilen iyileştirme önerilerine ilişkin örnek bir konut binasının enerji performansının yaşam döngüsü enerji tüketimi ve CO_2 salımı açısından değerlendirilmesi bir başka deyişle enerji ve çevresel performansının değerlendirilmesidir. Bu amaca yönelik olarak çalışmada izlenilen yönteme ilişkin adımlar aşağıdaki gibidir:

- Örnek konut binasının tanımlanması,
- İyileştirme önerilerinin tanımlanması,
- Örnek konut binasının enerji performansının yaşam döngüsü enerji tüketimi ve CO_2 salımı açısından değerlendirilmesi,
- Yaşam döngüsü enerji tüketimi ve CO_2 salımı açısından farklı iklim bölgeleri için optimum performans gösteren alternatiflerin belirlenmesi.

Yaşam döngüsü enerji tüketimi ve CO_2 salımı açısından örnek konut binasının enerji performansının değerlendirilmesine yönelik izlenilen yöntem, değerlendirme süreci yapımı bitmiş mevcut binalara uygulanabildiği gibi tasarım sürecinin bir alt süreci olarak da ele alınabilmektedir. Dolayısıyla, çalışmada izlenilen yöntem, mevcut binalar ile birlikte yeni tasarlanacak binalara da uygulanabilecek niteliktedir. Çalışma kapsamında öncelikli olarak mevcut bir konut binası ele alınarak Türkiye'nin üç farklı iklim bölgesi (ılımlı nemli, ılımlı kuru ve sıcak kuru iklim bölgeleri) için uygulamalar yapılmakta ve yeni yapılacak binalar için ise öneriler geliştirilmektedir.

2.1. Örnek Konut Binasının Tanımlanması

Çalışmada örnek konut binası olarak Türkiye'de konut üretiminde etkin rol oynayan TOKİ tarafından inşa edilmiş, yaygın kullanılan yapım teknolojilerini ve tasarım kriterlerini barındıran mevcut bir toplu konut projesi ele alınmaktadır. Toplu konut uygulaması kapsamındaki konut bloklarından biri, örnek konut binası olarak ele alınmakta ve Türkiye'nin farklı iklim bölgelerini temsil eden illerde mevcut olduğu varsayılmaktadır. Çalışma kapsamında dikkate alınan iklim bölgeleri temsili illerine ilişkin veriler, Tablo 1'de belirtilmektedir.

Tablo 1. İklim bölgeleri temsili illerine ilişkin veriler.

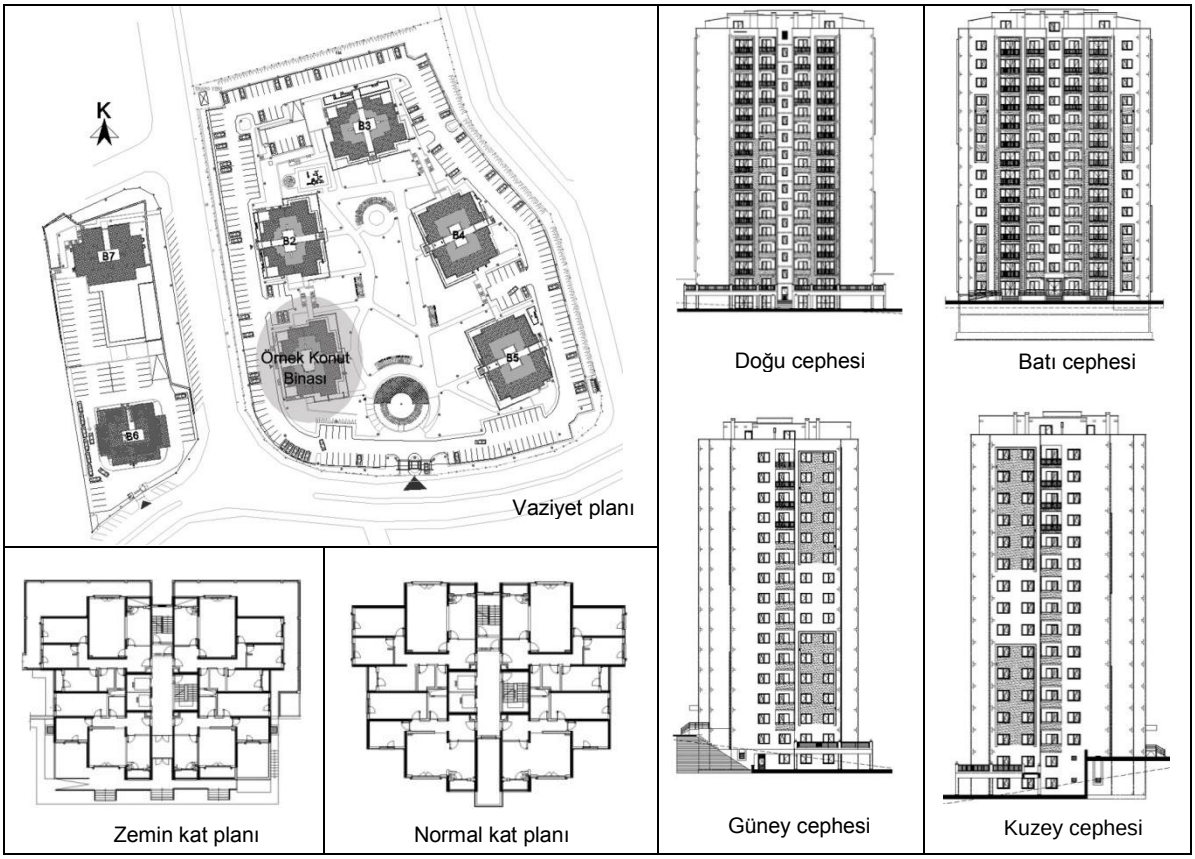
İklim bölgesi [4-6]	Temsili il	Isıtma derece gün bölgesi [7]	Isıtma derece gün	Soğutma derece gün	Yatay düzleme gelen toplam güneş ışınım şiddeti (kWh/m^{2}y)
Ilımlı nemli	İstanbul	2.Bölge	1886	2152	1465
Ilımlı kuru	Ankara	3.Bölge	3307	1338	1417
Sıcak kuru	Diyarbakır	2.Bölge	2086	2843	1718

Şekil 1'de ise yönlendirilmesi ve formu verilen konut binası, 2 bodrum kat, zemin kat, 12 normal kat ve 13. katı dubleks olarak tasarlanmış 17 katlı bir yapı olup kat yüksekliği 2.79 m'dir. Biçim faktörü (plandaki bina uzunluğu/bina derinliği) 1.37, A/V oranı (toplam dış yüzey alanı / bina hacmi) 0.19, taban alanı 573 m^2 ve toplam bina yüksekliği ise 48.28 m'dir. Konut binası için hesaplanan saydamlık oranları (toplam saydam alan/toplam cephe alanı) değişimi yönlere göre, kuzey ve güney cephesi için %15, doğu cephesi için %24, batı cephesi için ise %30'dur. Konut binasının kabuk bileşenlerine ilişkin veriler ise, Tablo 2'de verilmektedir.

Ele alınan konut binasının her katında dört konut birimi yer almakta olup her bir konut birimi şartlandırılmış (ısıtma/soğutma yapılan alan) tek bir zon olarak kabul edilmektedir. Her bir zon içerisinde kullanıcı aktivite düzeyi, 110 W/kişi olarak kabul edilmektedir. Kullanıcı giysi tipi, ısıtma dönemi için 1 clo, soğutma dönemi için ise 0.5 clo olarak ele alınmaktadır. İç ortam konfor sıcaklığı ısıtma istenen dönem için 21ºC, soğutma istenen dönem için ise, 25ºC olarak kabul edilmektedir. Soğutma istenen dönemde, iç hava sıcaklığının 23ºC'in üzerinde olması durumunda, doğal havalandırmanın aktif olacağı dikkate alınmaktadır. Konut binasının ısıtma sistemi, çatı katı yoğuşmalı kazan tipli merkezi sistem ve kullanılan yakıt doğal gazdır. Çalışmada soğutma sisteminin mevcut olduğu ve soğutma için elektrik enerjisinin kullanıldığı varsayılmaktadır. Konut binasına ilişkin sıcak su sistemi ise, bireysel şofben sistemi ve kullanılan yakıt doğalgazdır.

2.2. İyileştirme Önerilerinin Tanımlanması

İyileştirme önerilerinin tanımlanmasında, ele alınan konut binasının mevcut durumu ve tasarım esnekliği ile birlikte binanın amaçlanan etkinliğine etki eden minimum performans gereksinimlerine ilişkin güncel mevzuat göz önünde bulundurularak uygulanabilir alternatiflerin geliştirilmesi gereklidir.



Şekil 1. Örnek konut binasına ilişkin vaziyet planı, kat planları ve görünüşler.

Tablo 2. Örnek konut binasının kabuk bileşenlerine ilişkin veriler.

Kabuk bileşeni	Katmanlaşma detayı (dıştan içe)	U değeri (W/m^2K)
Dış duvar (tip_1)	0.03m dış sıva + 0.05m ısı yalıtım levhası (XPS) + 0.2m Bims duvar + 0.02m alçı sıva	U_{D1}=0.37
Dış duvar (tip_2)	0.03m dış dıva + 0.05m ısı yalıtım levhası (XPS) + 0.2m perde duvar + 0.02m alçı sıva	U_{D2}=0.58
Toprağa temas eden döşeme	1m temel betonu + 0.03m tesviye tabakası +0.04m ısı yalıtım levhası (XPS) +0.03m koruma betonu +0.05 m katkılı şap + 0.01m laminat parke	U_t =0.51 U_T =0.55
Teras çatı	çakıl + keçe serilmesi +0.05m ısı yalıtım levhası (EPS) + 2 kat su yalıtımı (EPDM) +0.04m meyil betonu +0.14m betonarme döşeme +0.02m alçı sıva	
Pencere	0.06m PVC doğrama, 0.004m düz cam +0.012m hava +0.004m düz cam	U_p =2.60

Bu açıdan, mevcut konut performansının enerji etkin olarak iyileştirilmesi ve aktif bina alt sistemlerin kullanımının minimize edilmesi için dış çevreden iç çevreye doğru ısı geçişini etkileyen ve iç ortamda ısıl konfor koşullarının sağlanmasında önemli bir etkiye sahip olan bina kabuğunun optimal performans gösteren enerji etkin pasif sistem öğesi olarak geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, iyileştirme önerileri olarak;

- dış duvar bileşenlerinde ısı yalıtım uygulaması,
- cam sitemlerinin iyileştirilmesi ve
- fotovoltaik (PV) sistem uygulaması dikkate alınmaktadır.

Çalışma kapsamında, dikkate alınan kabul ve yöntemler sonucunda iyileştirme önerilerine ilişkin geliştirilen alternatifler, Tablo 3 ve Tablo 4'te belirtilmektedir.

Tablo 3. İyileştirme önerilerine ilişkin geliştirilen alternatifler.

Alt. No.	Açıklama	U_{D1}, U_{D2} (W/m^{2}K)	U_T (W/m^{2}K)	U_t (W/m^{2}K)	U_p (W/m^{2}K), SHGC*
A_1	Dış duvar bileşenlerinde ısı yalıtım katmanı mevcut değil	0.79,3.25	0.55	0.51	2.60, 0.74
A_2	Isı yalıtım düzeyi : mevcut durum	0.37,0.58	0.55	0.51	2.60, 0.74
A_3	Isı yalıtım düzeyi:≥ TS 825	0.34,0.49	0.55	0.51	2.60, 0.74
A_4	Isı yalıtım düzeyi:≥ TS 825	0.31,0.43	0.55	0.51	2.60, 0.74
A_5	Isı yalıtım düzeyi:≥ TS 825	0.28,0.39	0.55	0.51	2.60, 0.74
A_6	Isı yalıtım düzeyi:≥ TS 825	0.26,0.35	0.55	0.51	2.60, 0.74
A_7	Isı yalıtım düzeyi:≥ TS 825	0.24,0.32	0.55	0.51	2.60, 0.74
A_8	Isı yalıtım düzeyi:≥ TS 825	0.20,0.25	0.55	0.51	2.60, 0.74
A_9	Isı yalıtım düzeyi:≥ TS 825	0.18,0.22	0.55	0.51	2.60, 0.74
A_{10}	Isı yalıtım düzeyi:≥ TS 825	0.16,0.18	0.55	0.51	2.60, 0.74
A_{11}	Isı yalıtım düzeyi:≥ TS 825	0.14,0.17	0.55	0.51	2.60, 0.74
A_{12}	Tek cam sistemi mevcut (4mm)	0.37,0.58	0.55	0.51	4.90, 0.85
A_{13}	Isı kontrol kaplamalı (e2=0.04(4+12hava+4mm))	0.37,0.58	0.55	0.51	1.80, 0.44
A_{14}	Isı kontrol kaplamalı (e2=0.04(4+12argon+4mm))	0.37,0.58	0.55	0.51	1.50, 0.43
A_{15}	Isı-güneş kontrol kapl.(e2=0.02(4+12hava+4mm))	0.37,0.58	0.55	0.51	1.80, 0.30
A_{16}	Isı-güneş kont. kapl.(e2=0.02(4+12 argon+4mm))	0.37,0.58	0.55	0.51	1.50, 0.30
PV sistem					
A_{17}	Teras çatı alanında tek kristalli silikon modül (190Wp)	PV yüzey alanı:148.36 Wp/m^2			
A_{18}	Cephe alanlarında şekilsiz (amorf) silikon modül (340 Wp)	PV yüzey alanı: 55.30 Wp/m^2			

*SHGC: Güneş ısısı kazanç katsayısı (Solar heat gain coefficient).

Tablo 4. Dış duvar ve pencere bileşenlerine ilişkin TS 825'te belirtilen U (W/m^{2}K) değerleri ve tanımlanan alternatifler.

Temsili il	Dış duvar		Pencere	
	U_D (W/m2K) [7]	Alternatifler	U_p (W/m^{2}K) [7]	Alternatifler
İstanbul	0.57	A_1-A_8	1.80	A_{12}-A_{16}
Ankara	0.48	A_1-A_{12}	1.80	A_{12}-A_{16}
Diyarbakir	0.57	A_1-A_8	1.80	A_{12}-A_{16}

2.3. Örnek Konut Binasının Enerji Performansının Yaşam Döngüsü Enerji Tüketimi Ve CO_2 Salımı Açısından Değerlendirilmesi

Örnek konut binasının enerji performansının yaşam döngüsü enerji tüketimi ve CO_2 salımı açısından değerlendirilebilmesi için yaşam döngüsü enerji (YDE) ve yaşam döngüsü CO_2 ($YDCO_2$) analizleri gerçekleştirilmektedir. Bu kapsamda, tanımlanan iyileştirme önerileri için ayrı ayrı gerçekleştirilen YDE ve $YDCO_2$ analizleri ile konut binasının yaşam döngüsü evrelerine ilişkin enerji tüketimi (gömülü enerji, kullanım enerjisi) ve CO_2 salımı (gömülü karbon, kullanım karbonu) nicel olarak değerlendirilmekte ve toplam birincil enerji tüketimi ve toplam CO_2 salımı dikkate alınmaktadır.

YDE and $YDCO_2$ analizleri çerçevesinde enerji değerleri birincil enerji (kWh) cinsinden tanımlanmış olup farklı evrelere ilişkin CO_2 salım değerleri için ise $kgCO_2$ birimi kullanılmıştır. Bina yaşam ömrüne ilişkin ise büyük ölçüde kabul görülen genel uygulama 30-50 yıl [8] olup bu çalışmada hesaplama süresi 30 yıl [9] olarak dikkate alınmaktadır.

CEN TC 350 Standardına göre bir binanın yaşam döngüsü evreleri, ürün evresi, yapım evresi, kullanım evresi ve yaşam sonu evresi olarak tanımlanmaktadır [10]. Yıkım ve malzemelerin yaşam sonu evresine ilişkin yeterli verinin olmaması nedeniyle bu evreler, nadiren yaşam döngüsü çalışmaları kapsamında ele alınmaktadır [11]. Yapım, yaşam sonu evreleri ile birlikte ilgili malzemelerin taşınmasının da ele alındığı çalışmalarda, bu evreler için ihtiyaç duyulan enerjinin ihmal edilebilir duzeyde olduğu ya da binanın yaşam döngüsü süresince harcadığı toplam enerjinin yaklaşık %1'ini oluşturduğu belirtilmektedir [12]. Bu nedenle, bu çalışmada, yaşam döngüsü enerji ve CO_2 analizleri çerçevesinde sistem sınırları, ürün evresi ve kullanım evresini içermektedir.

2.3.1. Ürün evresi enerji tüketimleri ve CO_2 salımlarının hesaplanması

İyileştirme önerilerine ilişkin ürün evresi enerji tüketimleri ve CO_2 salımları, bina kabuğu ve PV sistem bileşenlerinin özelliklerine bağlı olarak hesaplanmaktadır. Bu bağlamda, iyileştirme önerilerine ilişkin ürün evresi enerji tüketimleri ve CO_2 salımlarının diğer bir deyişle gömülü enerji ve gömülü karbon değerlerinin hesaplanabilmesi için bina kabuğu ve PV sistem bileşenleri kapsamında kullanılan malzemelerin miktarları ve birim miktar malzemenin içerdiği enerji miktarı ile birim miktar malzemenin üretimi sürecindeki CO_2 salım değerlerinin tanımlanması gerekmektedir. İyileştirme önerileri kapsamındaki malzemelerin üretimine ilişkin sistem sınırları çerçevesinde, hammade temini, taşıma ve üretim aşamaları diğer bir deyişle "beşikten-kapıya" (cradle-to-gate) süreci dikkate alınmaktadır. Bu süreç kapsamında tüketilen enerji miktarını ifade eden gömülü enerji değeri, ilk gömülü enerji ve yinelenen gömülü enerji olarak ele alınmakta ve aşağıda belirtilen eşitlikler yardımı ile hesaplanabilmektedir [13]:

$$GE_i = \sum m_i M_i \quad (1)$$

GE_i ile binaya ilişkin ilk gömülü enerji değeri (kWh), m_i ile yapı malzemesinin miktarı (kg), ve M_i ile ise birim miktar malzemenin içerdiği enerji miktarı (kWh/kg) tanımlanmaktadır.

$$GE_y = \sum m_i M_i[(L_b/L_{mi}) - 1] \quad (2)$$

GE_y ile binaya ilişkin yinelenen gömülü enerji değeri (kWh), L_b ile binanın yaşam ömrü (yıl), ve L_{mi} ile ise malzemenin yaşam ömrü (yıl) tanımlanmaktadır.

Bu süreç kapsamındaki CO_2 salımını ifade eden gömülü karbon değeri, ilk gömülü karbon ve yinelenen gömülü karbon olarak ele alınmakta ve aşağıda belirtilen eşitlikler yardımı ile hesaplanabilmektedir [14]:

$$GK_i = \sum m_i K_i \quad (3)$$

GK_i ile binaya ilişkin ilk gömülü karbon değeri ($kgCO_2$), m_i ile yapı malzemesinin miktarı (kg), ve K_i ile ise birim miktar malzemenin içerdiği CO_2 miktarı ($kgCO_2$/kg) tanımlanmaktadır.

$$GK_y = \sum m_i K_i[(L_b/L_{mi}) - 1] \quad (4)$$

GK_y ile binaya ilişkin yinelenen gömülü enerji değeri ($kgCO_2$), L_b ile binanın yaşam ömrü (yıl), ve L_{mi} ile ise malzemenin yaşam ömrü (yıl) tanımlanmaktadır.

Bina kabuğu bileşenleri kapsamında kullanılan malzeme miktarları, gerek örnek konut binasının mevcut mimari projesi ve gerekse ele alınan iyileştirme önerilerinin katmanlaşma detayları esas alınarak belirlenmektedir. PV sistem bileşenleri kapsamında ise, PV modül ve sistem dengeleyici bileşenlere (balance of system components, BOS) ilişkin veriler girdi olarak dikkate alınmaktadır. Sistem dengeleyici bileşenler olarak PV dizileri destekleyici alt strüktür, evirici (invertör) ve kablolama ele alınmaktadır. PV sistem bileşenleri kapsamında kullanılan malzeme miktarları, örnek konut binasının çatı ve cephe alanlarında uygulanan PV sistemlere dayandırılarak belirlenmektedir. Bina kabuğu bileşenlerine ilişkin gömülü enerji ve gömülü karbon değerlerinin hesaplanmasında gereksinim duyulan birim miktar malzemenin içerdiği enerji miktarı değerleri ile birim miktar malzemenin üretimi sürecindeki CO_2 salım değerleri, GABI 6.0 yazılım programı ve The Inventory of Carbon and Energy (ICE) 2.0 veritabanı kullanılarak belirlenmekte olup Tablo 5'de verilmektedir [15,16]. PV sistem bileşenlerinin gömülü enerji ve gömülü karbon değerlerinin hesaplanmasında ihtiyaç duyulan PV sistem bileşenlerine ilişkin brüt enerji gereksinimleri ve CO_2 salım değerleri ise, çeşitli kaynaklardan derlenmekte olup Tablo 6'da belirtilmektedir [17-19].

Tablo 5. Örnek konut binasının kabuk bileşenlerine ilişkin gömülü enerji ve gömülü karbon değerlerinin de belirtildiği veriler.

Kabuk bileşeni	Katmanlaşma detayı (dıştan-içe)	Isı ilet. katsayısı (W/mK)	Kalınlık (m)	Yoğunluk (kg/m^3)	Alan (m^2)	Gömülü enerji (kWh/kg)	Gömülü karbon ($kgCO_2/kg$)
Dış duvar (tip_1)	Dış sıva	1.60	0.03	2000	2120.30	0.16	0.09
	Isı yalıtımı (XPS)	0.035	0.05	28	2120.30	23.60	2.51
	Bims duvar	0.193	0.20	580	2120.30	0.96	0.43
	Alçı sıva	0.51	0.02	1200	2120.30	0.56	0.12
Dış duvar (tip_2)	Dış sıva	1.60	0.03	2000	1839.60	0.16	0.09
	Isı yalıtımı (XPS)	0.035	0.05	28	1839.60	23.60	2.51
	Perde duvar	2.50	0.20	2400	1839.60	0.55	0.20
	Alçı sıva	0.51	0.02	1200	1839.60	0.56	0.12
Toprağa temas eden döşeme	Temel betonu	2.50	1.00	2400	552.57	0.55	0.20
	Tesviye tabakası	1.65	0.03	2200	552.57	0.36	0.19
	Isı yalıtımı (XPS)	0.035	0.04	35	552.57	23.60	2.51
	Koruma betonu	1.65	0.03	2200	552.57	0.36	0.19
	Katkılı şap	1.40	0.05	2000	552.57	0.44	0.18
	Laminat parke	0.08	0.01	600	552.57	7.78	1.46
Teras çatı	Çakıl	0.36	0.01	1840	510.00	0.01	0.00
	Keçe serilmesi	0.19	0.0017	960	510.00	21.60	1.92
	Isı yalıtımı (EPS)	0.033	0.05	30	510.00	354.00	39.30
	EPDM	0.30	0.006	1200	510.00	27.40	3.08
	Meyil betonu	1.65	0.04	2200	510.00	0.36	0.19
	Betonarme döşeme	2.50	0.14	2400	510.00	0.55	0.20
	Alçı sıva	0.51	0.02	1200	510.00	0.56	0.12
Pencere	Düz cam	1.00	0.004	2500	800.36	4.42	0.96
	Hava	-	0.012	1.29	-	-	-
	Düz cam	1.00	0.004	2500	800.36	4.42	0.96
	PVC doğrama	0.17	0.060	1390	239.07	39.8	7.23

Tablo 6. PV sistem bileşenlerine ilişkin gömülü enerji, gömülü karbon ve yaşam ömrü değerleri.

PV sistem bileşeni	Gömülü enerji	Gömülü karbon	Yaşam ömrü (yıl)
Tek kristalli silikon modül	3700 MJ/m²	188 kg/m^2	30
Şekilsiz (amorf) silikon modül	1889 MJ/m²	96 kg/m^2	30
Destekleyici strüktür+kablolama	100 MJ/m²	6.1 kg/m^2	30
Evirici (invertör)	1930 MJ/kWp	125 kg/kWp	15

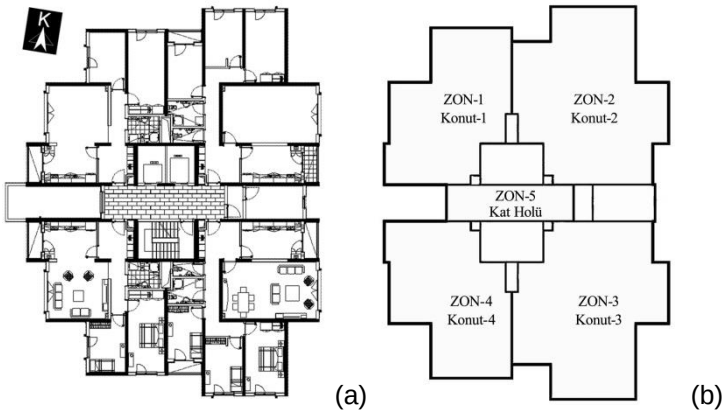
2.3.2. Kullanım evresi enerji tüketimlerinin ve CO_2 salımlarının hesaplanması

Kullanım evresine ilişkin enerji tüketimlerinin hesaplanmasında, nihai enerji tüketimlerine bağlı birincil enerji tüketimleri ve nihai enerji üretimlerine bağlı birincil enerji tasarrufları dikkate alınmaktadır. Konut binasının mevcut durumuna ve dikkate alınan iyileştirme önerilerine ilişkin kullanım enerjisi (KE) değerleri (kWh/y), aşağıda belirtilen eşitlik yardımı ile hesaplanabilmektedir [60]:

$$KE = \sum\left(E_{T,yakıt} \times f_{p,yakıt}\right) - \sum\left(E_{PV} \times f_{p,PV}\right) \quad (5)$$

$E_{T,yakıt}$ ile yakıt cinsine göre yıllık enerji tüketimi (kWh/y), E_{PV} ile PV sistemden yıllık üretilen enerji miktarı (kWh/y), $f_{p,yakıt}$ ile ise yakıt cinsine göre birincil enerji dönüşüm katsayısı ve $f_{p,PV}$ ile ise PV sistemden üretilen elektrik enerjisine ilişkin birincil enerji dönüşüm katsayısı tanımlanmaktadır.

Konut binasının mevcut durumuna ve dış duvar bileşenlerinde ısı yalıtım uygulaması ve cam sistemlerinin iyileştirilmesine ilişkin alternatiflerin nihai enerji tüketimleri (ısıtma, soğutma, aydınlatma, sıcak su, harici enerji) ($E_{T,yakıt}$), detaylı dinamik hesaplama yöntemini temsilen DesignBuilder simülasyon programı kullanılarak hesaplanmaktadır. DesignBuilder progamının kullanımı ile gerçekleştirilen simulasyonlarda, zonlama kriteri açısından konut binasına ilişkin konut birimleri ve kat holleri bağımsız tek bir zon olarak kabul edilmektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Örnek konut binasına ilişkin normal kat planı (a) ve şartlandırılmış zon alanları (b).

Ele alınan konut binasının çatı ve cephe alanlarında PV sistemlerin uygulanmasına ilişkin tanımlanan alternatiflerin nihai enerji üretimleri (E_{PV}), detaylı dinamik hesaplama yöntemini temsilen PV*SOL Expert simülasyon programı kullanılarak hesaplanmaktadır.

Eşitlik 5 kapsamında, konut binasına ilişkin kullanım enerjisinin hesaplanabilmesi için Türkiye için tüketilen yakıt cinsine ilişkin birincil enerji dönüşüm katsayıları, doğalgaz enerjisi için 1.00, elektrik enerjisi için ise 2.36 alınmaktadır [20]. PV sistemden üretilen elektrik enerjisine ilişkin birincil enerji dönüşüm katsayısı kapsamında, şebeke verimlilik düzeyine bağlı olarak 1kWh'lık enerji temini için ortalama 3.23 kWh'lık birincil enerji tüketiminin gerçekleştiği kabul edilmektedir [21-24].

Çalışma kapsamında konut binasına ilişkin kullanım evresi CO_2 salımlarının hesaplanabilmesi için Tier 2 (T2) yöntemi esas alınmaktadır. T2 yöntemi çerçevesinde ele alınan konut binasına ilişkin kullanım karbonu, aşağıda belirtilen eşitlik yardımı ile hesaplanabilmektedir [25]:

$$KK = \sum\left(E_{T,yakıt} \times f_{CO_2,yakıt}\right) - \sum\left(E_{PV} \times f_{CO_2,PV}\right) \quad (6)$$

KK ile kullanım karbonu ($kgCO_2$), $E_{T,yakıt}$ ile yakıt cinsine göre yıllık enerji tüketimi (kWh/y), E_{PV} ile PV sistemden üretilen yıllık enerji miktarı (kWh/y), $f_{CO_2,yakıt}$ ile ise yakıt cinsine göre CO_2 salımı dönüşüm katsayısı ($kgCO_2$/kWh) ve $f_{CO_2,PV}$ ile ise PV sistemden üretilen elektrik enerjisine dayalı olarak önlenilen CO_2 salımına ilişkin dönüşüm katsayısı ($kgCO_2$/kWh) tanımlanmaktadır.

Eşitlik 6 kapsamında Türkiye için tüketilen yakıt cinsine ilişkin CO_2 salımı dönüşüm katsayıları, doğalgaz enerjisi için 0.20, elektrik enerjisi için ise 0.55 alınmaktadır [26]. PV sistemden üretilen elektrik enerjisine dayalı olarak önlenilen CO_2 salımına ilişkin dönüşüm katsayısı, 0.88 $kgCO_2$/kWh alınmaktadır [27].

2.3.3. Yaşam döngüsü enerji tüketimlerinin ve CO_2 salımlarının hesaplanması

İyileştirme önerilerine ilişkin ele alınan konut binasının yaşam döngüsü enerji tüketimlerinin (YDET) (kWh) ve yaşam döngüsü CO_2 salımlarının ($YDCO_2$) ($kgCO_2$) hesaplanmasında, aşağıda belirtilen eşitliklikler kullanılmaktadır [14,28,29]:

$$YDET = GE_i + \left(GE_y + KE\right) \times L_b \quad (7)$$

$$YDCO_2 = GK_i + \left(GK_y + KK\right) \times L_b \quad (8)$$

Çalışma kapsamında tanımlanan hesaplama süresince iyileştirme önerilerine ilişkin herhangi bir yenileme öngörülmediği için yinelenen gömülü enerji (GE_y) ve yinelenen gömülü karbon (GK_y) değerleri hesaplamalarda dikkate alınmamaktadır.

2.4. Yaşam Döngüsü Enerji Tüketimi Ve CO_2 Salımı Açısından Farklı İklim Bölgeleri İçin Optimum Performans Gösteren Alternatiflerin Belirlenmesi

Yaşam döngüsü enerji tüketimi ve CO_2 salımı açısından farklı iklim bölgeleri için optimum performans gösteren alternatiflerin belirlenmesinde değerlendirme kriteri olarak, iyileştirme önerilerine ilişkin tanımlı alternatif grubu içerisinde en düşük yaşam döngüsü enerji tüketimini ve CO_2 salımını sağlayan alternatif esas alınmaktadır. Bu kapsamda, tanımlanan iyileştirme önerileri için ayrı ayrı gerçekleştirilen YDE ve $YDCO_2$ analizleri sonucunda elde edilen değerlerden yararlanılmaktadır. Elde edilen analiz sonuçları çerçevesinde, değerlendirme kriterini sağlayan alternatifler, "optimum performans gösteren alternatifler" olarak kabul edilmektedir.

Farklı iklim bölgelerini temsil eden iller için ele alınan iyileştirme önerilerinin örnek konut binasının enerji ve çevresel performansı üzerindeki etkileri, Şekiller 3-5 ve Tablolar 7-9'dan yararlanılarak değerlendirilmekte olup aşağıda açıklanmaktadır.

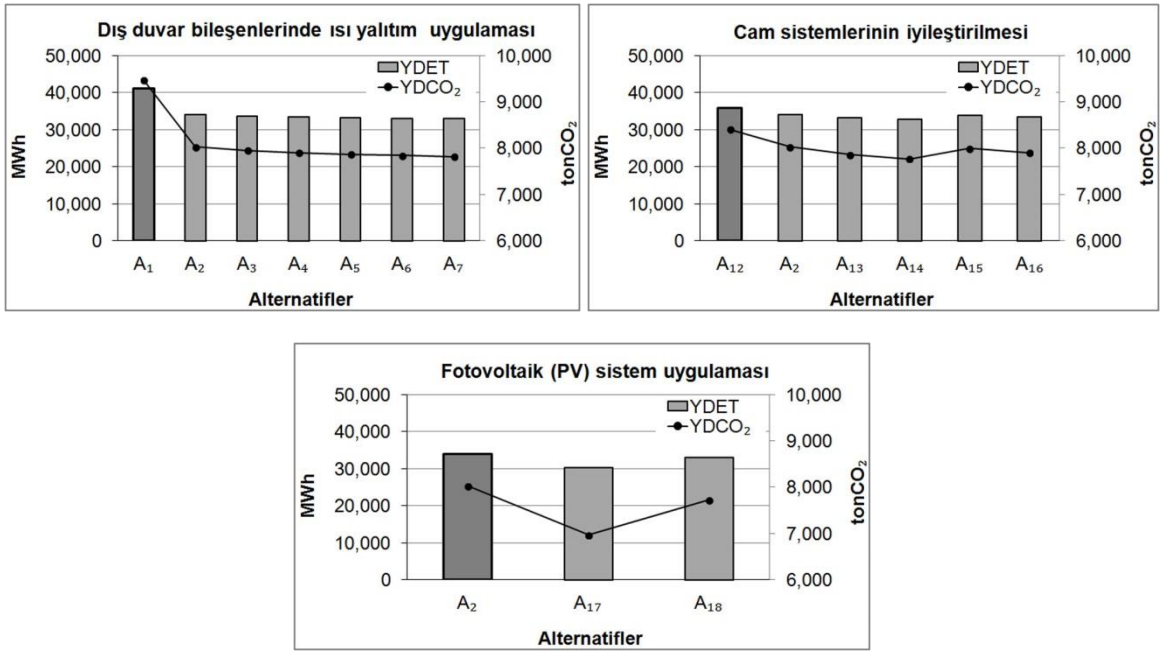
Dış duvar bileşenlerinde ısı yalıtım uygulamasına ilişkin tanımlı alternatif grubu içerisinde, İstanbul ve Diyarbakır illeri için optimum performans gösteren alternatif, 10 cm ısı yalıtım kalınlığının uygulandığı ve U_{D1}:0.24 W/m^2K ve U_{D2}:0.32 W/m^2K değerlerinin elde edildiği A_7 alternatifidir. Ankara ili için ise optimum performans gösteren alternatif, 20 cm ısı yalıtım kalınlığının uygulandığı ve U_{D1}:0.14 W/m^2K ve U_{D2}:0.17 W/m^2K değerlerinin elde edildiği A_{11} alternatifidir.

YDE ve $YDCO_2$ analiz sonuçlarına göre, İstanbul ili için A_7 alternatifi ile dış duvar bileşenlerinde ısı yalıtım katmanının mevcut olmadığı durum (A_1) karşılaştırıldığında, gömülü enerji ve gömülü karbon değerlerinde sırasıyla %4 ve %1 oranında artış gerçekleştiği, yıllık nihai enerji tüketiminde %33, yıllık kullanım enerjisinde %25, yıllık kullanım karbonunda %23, yaşam döngüsü enerji tüketimi ve CO_2 salımında ise sırasıyla %20 ve %17 oranında azalma sağlandığı görülmektedir (Şekil 3, Tablo 7). Ankara ili için A_{11} alternatifi ile dış duvar bileşenlerinde ısı yalıtım katmanının mevcut olmadığı durum

(A_1) karşılaştırıldığında, gömülü enerji ve gömülü karbon değerlerinde sırasıyla %8 ve %3 oranında artış gerçekleştiği, yıllık nihai enerji tüketiminde %39, yıllık kullanım enerjisinde %32, yıllık kullanım karbonunda %31, yaşam döngüsü enerji tüketimi ve CO_2 salımında ise sırasıyla %27 ve %24 oranında azalma sağlandığı görülmektedir (Şekil 4, Tablo 8). Diyarbakır ili için ise, A_7 alternatifi ile dış duvar bileşenlerinde ısı yalıtım katmanının mevcut olmadığı durum (A_1) karşılaştırıldığında, gömülü enerji ve gömülü karbon değerlerinde sırasıyla %4 ve %1 oranında artış gerçekleştiği, yıllık nihai enerji tüketiminde %31, yıllık kullanım enerjisinde %24, yıllık kullanım karbonunda %22, yaşam döngüsü enerji tüketimi ve CO_2 salımında ise sırasıyla %19 ve %17 oranında azalma sağlandığı görülmektedir (Şekil 5, Tablo 9).

Cam sistemlerinin iyileştirilmesine ilişkin tanımlı alternatif grubu içerisinde, İstanbul, Ankara ve Diyarbakır illeri için optimum performans gösteren alternatif, ısı kontrol kaplamalı (e2:0.04, ara boşluk gazı argon) çift cam sisteminin irdelendiği ve saydam bileşenlerde U_p:1.5 W/m^2K ve SHGC:0.44 değerlerinin elde edildiği A_{14} alternatifidir.

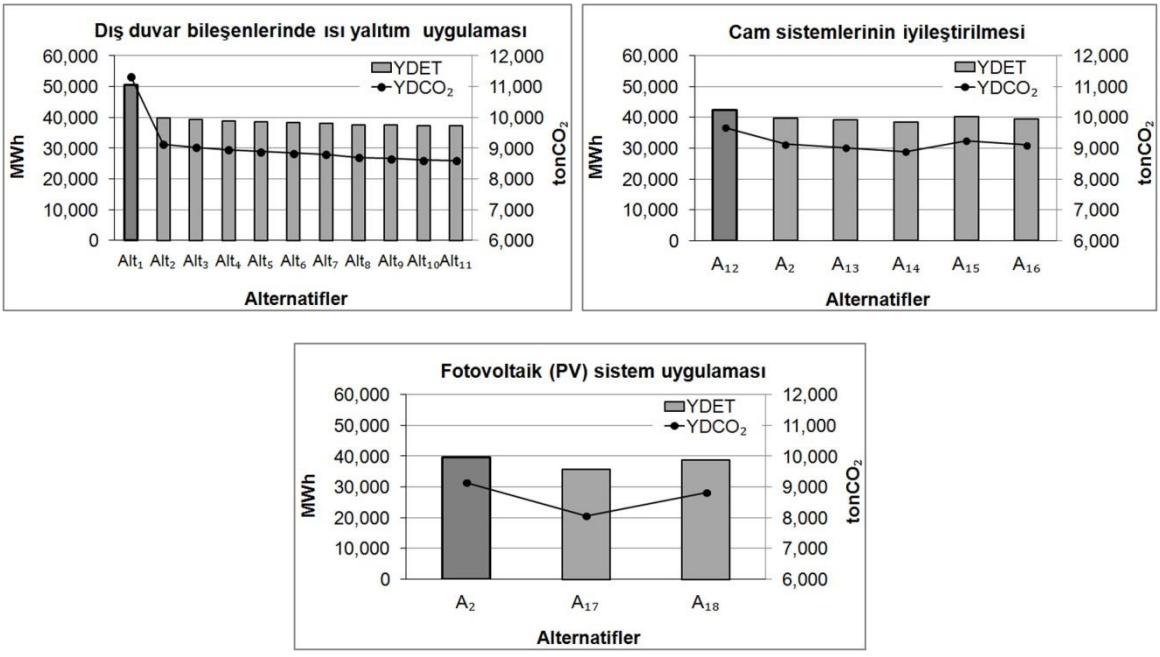
YDE ve $YDCO_2$ analiz sonuçlarına göre, A_{14} alternatifi ile tek cam sisteminin mevcut olduğu durum (A_{12}) karşılaştırıldığında, İstanbul ili için gömülü enerji ve gömülü karbon değerlerinde sırasıyla %5 ve %4 oranında artış gerçekleştiği, yıllık nihai enerji tüketiminde %15, yıllık kullanım enerjisinde ve kullanım karbonunda %12, yaşam döngüsü enerji tüketimi ve CO_2 salımında ise sırasıyla %9 ve %8 oranında azalma sağlandığı görülmektedir (Şekil 3, Tablo 7). Ankara ili için gömülü enerji ve gömülü karbon değerlerinde sırasıyla %5 ve %4 oranında artış gerçekleştiği, yıllık nihai enerji tüketiminde %15, yıllık kullanım enerjisinde ve kullanım karbonunda %12, yaşam döngüsü enerji tüketimi ve CO_2 salımında ise sırasıyla %9 ve %8 oranında azalma sağlandığı görülmektedir (Şekil 4, Tablo 8). Diyarbakır ili için ise, gömülü enerji ve gömülü karbon değerlerinde sırasıyla %5 ve %4 oranında artış gerçekleştiği, yıllık nihai enerji tüketiminde %12, yıllık kullanım enerjisinde ve kullanım karbonunda %11, yaşam döngüsü enerji tüketimi ve CO_2 salımında ise sırasıyla %8 ve %7 oranında azalma sağlandığı görülmektedir (Şekil 5, Tablo 9).



Şekil 3. İstanbul ili için ele alınan iyileştirme önerilerine ilişkin YDET ve $YDCO_2$ değerleri.

Tablo 7. Ilımlı nemli iklim bölgesi temsili ili İstanbul için YDE ve $YDCO_2$ analiz sonuçları.

Alt. No	Ürün evresi		Kullanım evresi			YDE ve $YDCO_2$ analiz göstergeleri	
	Gömülü enerji (MWh)	Gömülü karbon ($tonCO_2$)	Nihai enerji tük. (MWh/y)	Kullanım enerjisi (MWh/y)	Kullanım karbonu ($tonCO_2$/y)	Yaşam döngüsü enerji tüketimi (MWh)	Yaşam döngüsü CO_2 salımı ($tonCO_2$)
A_1	7,401.80	2,291.84	877.30	1,124.61	239.11	41,140.23	9,465.06
A_2	7,542.01	2,306.76	627.66	880.51	190.60	33,957.24	8,024.86
A_3	7,570.05	2,309.74	615.09	867.81	188.06	33,604.49	7,951.46
A_4	7,598.10	2,312.72	606.60	859.61	186.43	33,386.40	7,905.70
A_5	7,626.14	2,315.71	599.76	853.01	185.13	33,216.57	7,869.54
A_6	7,654.18	2,318.69	594.09	847.55	184.05	33,080.58	7,840.06
A_7	7,682.23	2,321.67	589.36	842.99	183.14	**32,971.80**	**7,815.98**
A_{12}	7,188.25	2,229.92	704.56	956.03	205.63	35,869.19	8,398.78
A_{13}	7,542.01	2,306.76	613.31	855.77	185.06	33,215.20	7,858.58
A_{14}	7,542.03	2,306.76	597.90	840.88	182.11	**32,768.36**	**7,770.10**
A_{15}	7,542.01	2,306.76	630.30	876.81	189.50	33,846.43	7,991.79
A_{16}	7,542.03	2,306.76	614.93	861.56	186.46	33,388.84	7,900.48
A_{17}	7,781.56	2,352.45	581.28	730.71	149.51	**30,194.46**	**6,972.70**
A_{18}	7,699.97	2,336.75	613.67	835.32	178.21	32,907.95	7,723.70



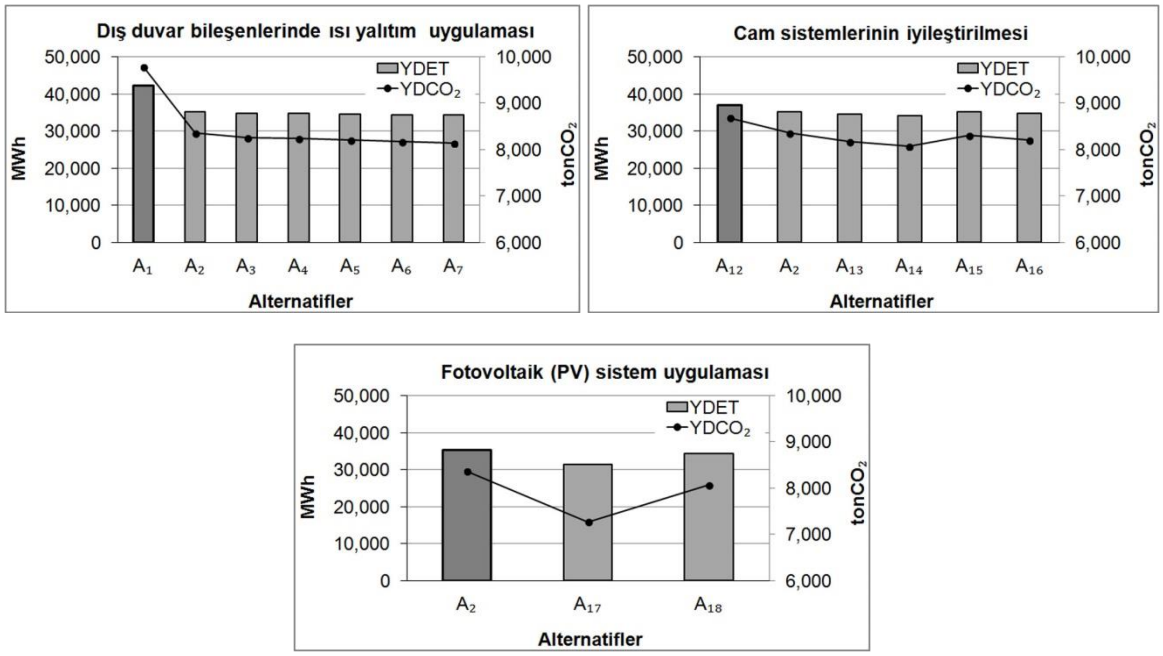
Şekil 4. Ankara ili için ele alınan iyileştirme önerilerine ilişkin YDET ve $YDCO_2$ değerleri.

Tablo 9. Ilımlı kuru iklim bölgesi temsili ili Ankara için YDE ve $YDCO_2$ analiz sonuçları.

Alt. No	Ürün evresi		Kullanım evresi			YDE ve $YDCO_2$ analiz göstergeleri	
	Gömülü enerji (MWh)	Gömülü karbon ($tonCO_2$)	Nihai enerji tük. (MWh/y)	Kullanım enerjisi (MWh/y)	Kullanım karbonu ($tonCO_2$/y)	Yaşam döngüsü enerji tüketimi (MWh)	Yaşam döngüsü CO_2 salımı ($tonCO_2$)
A_1	7401.80	2291.84	1219.25	1442.07	301.19	50663.77	11327.61
A_2	7542.01	2306.76	845.15	1072.10	227.44	39704.92	9129.82
A_3	7570.05	2309.74	827.81	1055.10	224.06	39223.06	9031.41
A_4	7598.10	2312.72	814.14	1041.71	221.39	38849.45	8954.54
A_5	7626.14	2315.71	803.10	1030.90	219.25	38553.18	8893.07
A_6	7654.18	2318.69	793.96	1021.95	217.47	38312.74	8842.68
A_7	7682.23	2321.67	786.21	1014.37	215.96	38113.29	8800.45
A_8	7766.36	2330.62	768.40	996.95	212.50	37674.82	8705.54
A_9	7822.44	2336.58	760.09	988.82	210.88	37487.00	8663.05
A_{10}	7906.57	2345.53	750.63	979.58	209.05	37294.10	8616.97
A_{11}	7962.66	2351.50	745.72	974.79	208.10	**37206.35**	**8594.37**
A_{12}	7188.25	2229.92	949.42	1174.31	247.76	42417.51	9662.71
A_{13}	7542.01	2306.76	834.00	1055.78	223.88	39215.53	9023.07
A_{14}	7542.03	2306.76	810.79	1032.95	219.33	**38530.56**	**8886.72**
A_{15}	7542.01	2306.76	862.13	1090.28	231.14	40250.54	9241.03
A_{16}	7542.03	2306.76	839.12	1067.38	226.57	39563.39	9103.76
A_{17}	7781.56	2352.45	797.51	918.24	185.24	**35833.57**	**8047.88**
A_{18}	7699.97	2336.75	830.87	1025.99	214.79	38630.86	8821.86

Fotovoltaik (PV) sistem uygulamasına ilişkin tanımlı alternatif grubu içerisinde, İstanbul, Ankara ve Diyarbakır illeri için optimum performans gösteren alternatifin, çatı PV sisteminin irdelendiği A_{17} alternatifinin olduğunu söylemek mümkündür.

YDE ve $YDCO_2$ analiz sonuçlarına göre, A_{17} alternatifi ile PV sistemin mevcut olmadığı durum (A_2) karşılaştırıldığında, İstanbul ili için gömülü enerji ve gömülü karbon değerlerinde sırasıyla %3 ve %2 oranında artış gerçekleştiği, yıllık nihai enerji tüketiminde %7, yıllık kullanım enerjisinde %17, yıllık kullanım karbonunda %22, yaşam döngüsü enerji tüketimi ve CO_2 salımında ise sırasıyla %11 ve %13 oranında azalma sağlandığı görülmektedir (Şekil 3, Tablo 7). Ankara ili için gömülü enerji ve gömülü karbon değerlerinde sırasıyla %3 ve %2 oranında artış gerçekleştiği, yıllık nihai enerji tüketiminde %6, yıllık kullanım enerjisinde %14, yıllık kullanım karbonunda %19, yaşam döngüsü enerji tüketimi ve CO_2 salımında ise sırasıyla %10 ve %12 oranında azalma sağlandığı görülmektedir (Şekil 4, Tablo 8). Diyarbakır ili için ise, gömülü enerji ve gömülü karbon değerlerinde sırasıyla %3 ve %2 oranında artış gerçekleştiği, yıllık nihai enerji tüketiminde %8, yıllık kullanım enerjisinde %17, yıllık kullanım karbonunda %21, yaşam döngüsü enerji tüketimi ve CO_2 salımında ise sırasıyla %11 ve %13 oranında azalma sağlandığı görülmektedir (Şekil 5, Tablo 9).



Şekil 5. Diyarbakır ili için ele alınan iyileştirme önerilerine ilişkin YDET ve $YDCO_2$ değerleri.

Tablo 10. Sıcak kuru iklim bölgesi temsili ili Diyarbakır için YDE ve $YDCO_2$ analiz sonuçları.

Alt. No	Ürün evresi		Kullanım evresi			YDE ve $YDCO_2$ analiz göstergeleri	
	Gömülü enerji (MWh)	Gömülü karbon ($tonCO_2$)	Nihai enerji tük. (MWh/y)	Kullanım enerjisi (MWh/y)	Kullanım karbonu ($tonCO_2$/y)	Yaşam döngüsü enerji tüketimi (MWh)	Yaşam döngüsü CO_2 salımı ($tonCO_2$)
A_1	7401.80	2291.84	855.06	1160.47	249.61	42215.89	9780.14
A_2	7542.01	2306.76	627.79	923.46	201.65	35245.77	8356.23
A_3	7570.05	2309.74	614.95	908.00	198.41	34810.16	8261.99
A_4	7598.10	2312.72	608.61	903.79	197.69	34711.87	8243.36
A_5	7626.14	2315.71	601.77	896.80	196.28	34530.15	8204.13
A_6	7654.18	2318.69	596.13	891.02	195.12	34384.88	8172.22
A_7	7682.23	2321.67	591.36	886.14	194.13	**34266.45**	**8145.71**
A_{12}	7188.25	2229.92	690.16	990.25	215.26	36895.87	8687.78
A_{13}	7542.01	2306.76	620.69	898.01	195.51	34482.33	8171.98
A_{14}	7542.03	2306.76	605.82	883.04	192.51	**34033.29**	**8082.00**
A_{15}	7542.01	2306.76	641.78	920.58	200.10	35159.28	8309.90
A_{16}	7542.03	2306.76	627.06	905.24	197.00	34699.13	8216.80
A_{17}	7794.00	2354.82	579.62	767.87	158.97	**31340.60**	**7263.97**
A_{18}	7699.97	2336.75	614.39	880.18	189.78	34247.40	8069.03

SONUÇ

Enerji etkinliği, giderek artan çevresel sorunlar karşısında çevresel gelişme ve ekonomik kalkınma arasındaki dengeyi koruyarak enerji, ekonomi ve çevre ile ilgili politikaların üretilmesini ve sürdürülebilirliğini önemli ölçüde belirleyen bir olgudur. Bu bağlamda, dünya genelinde tüketilen enerji ve enerji tüketimlerine bağlı CO_2 salımlarından yüksek düzeyde sorumlu olan konut binalarının enerji ve çevresel performanslarının değerlendirilerek enerji tüketimlerinin azaltılmasına yönelik çözüm

önerilerinin geliştirilmesi gerekli olmaktadır. Özellikle, konut binalarının enerji performanslarının geliştirilmesine yönelik düzenlenen yasal mevzuatlar aracılığı ile her ülke kendi koşulları çerçevesinde uyulması gereken zorunlulukları belirlemekte, Türkiye'de de bu konuda çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar kapsamında konut binalarında enerji etkin çözüm önerilerinin geliştirilmesi giderek artan enerji talebi ve enerji fiyatları göz önünde bulundurulduğunda, ülke enerji ekonomisi açısından büyük önem taşımaktadır. Dolayısıyla, konut binalarına ilişkin öngörülen enerji tasarruf potansiyelinden maksimum düzeyde yararlanılması hedefi, konut binalarının tasarımı ya da iyileştirilmesine yönelik enerji ve çevresel performanslarının optimize edilmesi ile kullanıcı gereksinimlerinin karşılanmasını esas alan bir yaşam döngüsü yaklaşımının geliştirilmesini öne çıkarmaktadır.

Bu nedenle bu çalışma kapsamında yaygın kullanılan yapım teknolojilerini ve tasarım kriterlerini barındıran mevcut bir konut bloğu örnek konut binası olarak tanımlanarak konut binasının enerji performansının yaşam döngüsü enerji tüketimi ve CO_2 salımı açısından değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, örnek konut binasının ılımlı nemli, ılımlı kuru ve sıcak kuru iklim bölgelerini temsil eden üç ilde mevcut olduğu varsayılarak konut enerji performansını iyileştirmede etkili olan öneriler geliştirilmiştir. Bina kabuğunun enerji etkin pasif sistem öğesi olarak geliştirilmesi esas alınarak tanımlanan önerilerin (dış duvar bileşenlerinde ısı yalıtım uygulaması, cam sistemlerinin iyileştirilmesi ve fotovoltaik (PV) sistem uygulaması) konut binasının yaşam döngüsü enerji tüketimi ve CO_2 salımı üzerindeki etkisi, yaşam döngüsü enerji ve CO_2 salım analizleri gerçekleştirilerek değerlendirilmiştir. Değerlendirme kapsamında, YDE ve $YDCO_2$ analizleri ile elde edilen hesaplama sonuçlarının, enerji etkin iyileştirme önerilerine ve iklim bölgelerine bağlı olarak farklılıklar gösterdiği görülmüş olup aşağıda özetlenmektedir.

Dış duvar bileşenlerinde ısı yalıtım uygulamasına ilişkin tanımlı alternatifler kapsamında ısı yalıtım kalınlığı artırıldıkça dış duvar bileşenlerinde ısı yalıtım katmanının mevcut olmadığı duruma (A_1) kıyasla yaşam döngüsü enerji tüketiminin İstanbul ili için %17 ile %20, Ankara ili için %22 ile %27, Diyarbakır ili için ise %17 ile %19 arasında azaldığı belirlenmiştir. Yaşam döngüsü CO_2 salımının ise, İstanbul ili için %15 ile %18, Ankara ili için %19 ile %24, Diyarbakır ili için ise %15 ile %17 arasında azaldığı hesaplanmıştır. Ele alınan alternatifler çerçevesinde, örnek konut binasının yaşam döngüsü enerji tüketimi içerisinde ürün evresi enerji tüketiminin payı, İstanbul ili için %18 ile %23, Ankara ili için %15 ile %21, Diyarbakır ili için ise %18 ile %22 arasında artış gösterdiği belirlenmiştir. Yaşam döngüsü CO_2 salımı içerisinde ürün evresi CO_2 salımının payı ise, İstanbul ili için %24 ile %30, Ankara ili için %20 ile %27, Diyarbakır ili için ise %23 ile %29 arasında arttığı hesaplanmıştır.

Cam sistemlerinin iyileştirilmesine ilişkin tanımlı alternatifler kapsamında tek cam sisteminin mevcut olduğu duruma (A_{12}) kıyasla yaşam döngüsü enerji tüketiminin İstanbul ve Ankara illeri için %5 ile %9, Diyarbakır ili için ise %5 ile %8 arasında azaldığı belirlenmiştir. Yaşam döngüsü CO_2 salımının ise, İstanbul ve Ankara illeri için %4 ile %8, Diyarbakır ili için ise %4 ile %7 arasında azaldığı hesaplanmıştır. Ele alınan alternatifler çerçevesinde, örnek konut binasının yaşam döngüsü enerji tüketimi içerisinde ürün evresi enerji tüketiminin payı, İstanbul ili için %20 ile %23, Ankara ili için %17 ile %19, Diyarbakır ili için ise %19 ile %22 arasında artış gösterdiği belirlenmiştir. Yaşam döngüsü CO_2 salımı içerisinde ürün evresi CO_2 salımının payı ise, İstanbul ili için %27 ile %29, Ankara ili için %23 ile %25, Diyarbakır ili için ise %26 ile %28 arasında arttığı hesaplanmıştır.

Fotovoltaik (PV) sistem uygulamasına ilişkin tanımlı alternatifler kapsamında PV sistemin mevcut olmadığı duruma (A_2) kıyasla yaşam döngüsü enerji tüketiminin İstanbul ve Diyarbakır illeri için %3 ile %11, Ankara ili için ise %3 ile %10 arasında azaldığı belirlenmiştir. Yaşam döngüsü CO_2 salımının ise, İstanbul ili için %4 ile %13, Ankara ili için %3 ile %12, Diyarbakır ili için ise %3 ile %13 arasında azaldığı hesaplanmıştır. Ele alınan alternatifler çerçevesinde, örnek konut binasının yaşam döngüsü enerji tüketimi içerisinde ürün evresi enerji tüketiminin payı, İstanbul ili için %22 ile %26, Ankara ili için %19 ile %22, Diyarbakır ili için ise %21 ile %25 arasında artış gösterdiği belirlenmiştir. Yaşam döngüsü CO_2 salımı içerisinde ürün evresi CO_2 salımının payı ise, İstanbul ili için %29 ile %34, Ankara ili için %25 ile %30, Diyarbakır ili için ise %28 ile %33 arasında arttığı hesaplanmıştır.

Çalışma kapsamında sınırlı sayıda iyileştirme önerisi için değerlendirme yapılmıştır. Çalışmanın sonuçları, konut enerji performansını iyileştirmede etkili olan önerilerin konut binasının enerji ve çevresel performansları üzerindeki etkilerinin yaşam döngüsü esasına dayalı olarak bütüncül bir çerçevede değerlendirilmesinin önemini göstermektedir. Ancak kabul edilebilir genel sonuçlara

ulaşabilmek için bu tür çalışmaların çok sayıda iyileştirme önerisi için gerçekleştirilmesi ve değerlendirilmesi gerekmektedir. Ayrıca, konut enerji performansının iyileştirilmesinde enerji ve çevresel performanslarının değerlendirilmesi ile birlikte ekonomik performanslarının da yaşam döngüsü çerçevesinde değerlendirilmesi gereklidir. Böylelikle, yeni konut binalarının tasarımı ya da mevcut konut binalarının iyileştirilmesinde, konut binasının tüm yaşam döngüsüne ilişkin enerji, ekonomik ve çevresel performanslarının optimize edilmesi ile ilgili yönetmeliklere veri oluşturabilecek sonuçların elde edilebilmesi ve ülke kaynakları ve karar vericiler açısından maksimum faydanın sağlanabileceği doğru kararların alınabilmesi mümkün olabilecektir. Bu kararlar, özellikle çok sayıda kullanıcıyı etkileyen toplu konutlarda uygulama aşamasında geri dönüşü olmayan hataların yapılmasına engel olunmasını ve dolayısıyla enerji ve maliyet etkin konutlar aracılığı ile sürdürülebilir konut çevrelerinin oluşturulmasını olanaklı kılabilecektir.

KAYNAKLAR

[1] UNEP, “Buildings and climate change: summary for decision makers”, United Nations Environment Programme, 2009.

[2] BYKR, “The significant environmental aspects in building sector”, Swedish Building Eco-Cycle Council (BYKR), 2000.

[3] ERLANDSSON, M., BORG, M., “Generic LCA-methodology applicable for buildings, constructions and operation services—today practice and development needs”, Building and Environment 38, 2003.

[4] ZEREN, L. ve diğ., “Türkiye’de yeni yerleşmeler ve binalarda enerji tasarrufu amacıyla bir mevzuat modeline ilişkin çalışma”, Çevre ve Şehircilik Uygulama-Araştırma Merkezi, İ.T.Ü.,1987.

[5] BERKÖZ, E. ve diğ., “Enerji etkin konut ve yerleşme tasarımı”, Tübitak-Intag 201, Araştırma raporu, 1995.

[6] YILMAZ, Z. ve diğ., “Türkiye ve İrlanda’daki binaların enerji etkin tasarım ve yapımı için sürdürülebilirlik stratejileri”, Proje No:30657, İ.T.Ü., 2006.

[7] TS 825, “Binalarda ısı yalıtım kuralları standardı”, Türk Standartları Enstitüsü, 2013.

[8] SARTORI, I., BERGSDAL, H., MÜLLER, D.B., BRATTEBØ, H., “Toward modelling of construction, renovation and demolition activities: Norway’s dwelling stock 1900-2100”, Building Research & Information 36, 2008.

[9] EUROPEAN COMMISSION, “Guidelines accompanying Commission Delegated Regulation (EU) No 244/2012 of 16 January 2012 supplementing Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings by establishing a comparative methodology framework for calculating cost-optimal levels of minimum energy performance requirements for buildings and building elements (2012/C 115/01)”, 2012.

[10] CEN/TC 350, “Sustainability of construction works-assessment of buildings-part 2: framework for the assessment of environmental performance, prEN 15643-2”, AFNOR, 2008.

[11] WALLHAGEN, M., GLAUMANN, M., MALMQVIST, T., “Basic building life cycle calculations to decrease contribution to climate change-case study on an office building in Sweden”, Building and Environment 46, 2011.

[12] SARTORI, I., HESTNES, A.G., “Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: a review article”, Energy and Buildings 39, 2007.

[13] RAMESH, T., PRAKASH, R., SHUKLA, K.K., “Life cycle energy analysis of buildings: An overview”, Energy and Buildings 42, 2010.

[14] TAEA, S., SHINA, S., WOOC, J., ROHA, S., “The development of apartment house life cycle CO_2 simple assessment system using standard apartment houses of South Korea”, Renewable and Sustainable Energy Reviews 15, 2011.

[15] GABI Software, “GABI 6.0 User manual”, 2013.

[16] HAMMOND, G., JONES, C., “Embodied carbon-the inventory of carbon and energy (ICE)”, A Bsria Guide, University of BATH, 2011.

[17] ALSEMA, E.A., de WILD-SCHOLTEN, M.J., “Reduction of the environmental impacts in crystalline silicon module manufacturing”, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference, 2007.

[18] ALSEMA, E.A., “Energy requirements of thin film solar cell modules”, Renewable and Sustainable Energy Reviews 2, 1998.

[19] ALSEMA, E.A., de WILD-SCHOLTEN, M.J., "Environmental impacts of crystalline silicon photovoltaic module production", 13th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering, 2006.
[20] BEP, "Bina enerji performansı hesaplama yöntemi", 2010.
[21] TEİAŞ, "Türkiye ENTSO-E bağlantı raporu", 2013.
[22] ALSEMA, E.A., de WILD-SCHOLTEN, M.J., "The real environmental impacts of crystalline silicon PV modules: an analysis based on up-to-date manufacturers data", 20th European PV Solar Conference,2005.
[23] IEA, "Compared assessment of selected environmental indicators of photovoltaic electricity in OECD cities", Report IEA-PVPS T10-01, 2006.
[24] ECOINVENT, "Swiss Ecoinvent Database", 2005.
[25] IPCC, "IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories", Volume 2, Chapter 2-Stationary combustion, 2006.
[26] OZKAL, S., Kişisel görüşme, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2013.
[27] GEMIS, "Global emissions model for integrated systems", 2013.
[28] BAEK, C., PARK, S.H., SUZUKI, M., LEE, S.H., "Life cycle carbon dioxide assessment tool for buildings in the schematic design phase", Energy and Buildings 61, 2013.
[29] FAY, R., TRELOAR, G., IYER-RANIGA, U., "Life-cycle energy analysis of buildings: a case study", Building Research Information 28, 2000.

ÖZGEÇMİŞ

Suzi Dilara MANGAN

2004 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi'nden mezun olmuştur. 2004-2006 yılları arasında İstanbul Teknik Üniversitesi (İ.T.Ü.), Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi programında yüksek lisansını "Akıllı Binalarda Alt Sistem Değerlendirmesi: İstanbul Örneği" isimli tezi ile tamamlamıştır. 2015 yılında İ.T.Ü. Yapı Bilimleri doktora programını "Yaşam Döngüsü Enerji ve Maliyet Etkinliği Açısından Konut Binalarının Performanslarının Değerlendirilmesinde Kullanılabilecek Bir Yaklaşım" isimli tezi ile tamamlamıştır. 2003-2009 yılları arasında İstanbul'da çeşitli mimarlık ofislerinde mimari proje tasarım ve uygulama alanında çalışmalarda bulunmuş olup BREEAM International Değerlendiricisidir. Binalarda enerji performansı, bina enerji simülasyonları ve konut binalarının enerji etkin iyileştirilmesi üzerine çalışmalarına devam etmektedir.

Gül Koçlar ORAL

1984 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi (İ.T.Ü.) Mimarlık Fakültesi'nden mezun olmuştur. 1986 yılında, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü'nden 'Yüksek Mimar' unvanını, 1991 yılında 'Doktor' unvanını almıştır. 1987 – 1991 yılları arasında araştırma görevlisi olarak çalışmıştır.1992'de 'Yardımcı Doçent', 1998'de 'Doçent', 2004 yılında 'Profesör' unvanlarını almıştır. İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi'nde, Fakülte Kurulu Üyeliği ve İç Mimarlık Bölüm Başkanlığı gibi idari görevlerde bulunmaktadır. Yapı Fiziği Derneğinin kurucusu ve Yönetim Kurulu Başkanıdır.

İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Anabilim Dalı, Fiziksel Çevre Kontrolü Çalışma Grubu'nda, sürdürülebilir enerji, enerji etkin tasarım ve yenileme, ekolojik tasarım, pasif güneş enerjisi sistemleri, kabukta ısı ve nem denetimi ve yalıtım gibi konularda çalışmalarına devam etmekte olup, adı geçen konu alanlarında çok sayıda ulusal ve uluslar arası yayınları bulunmaktadır.