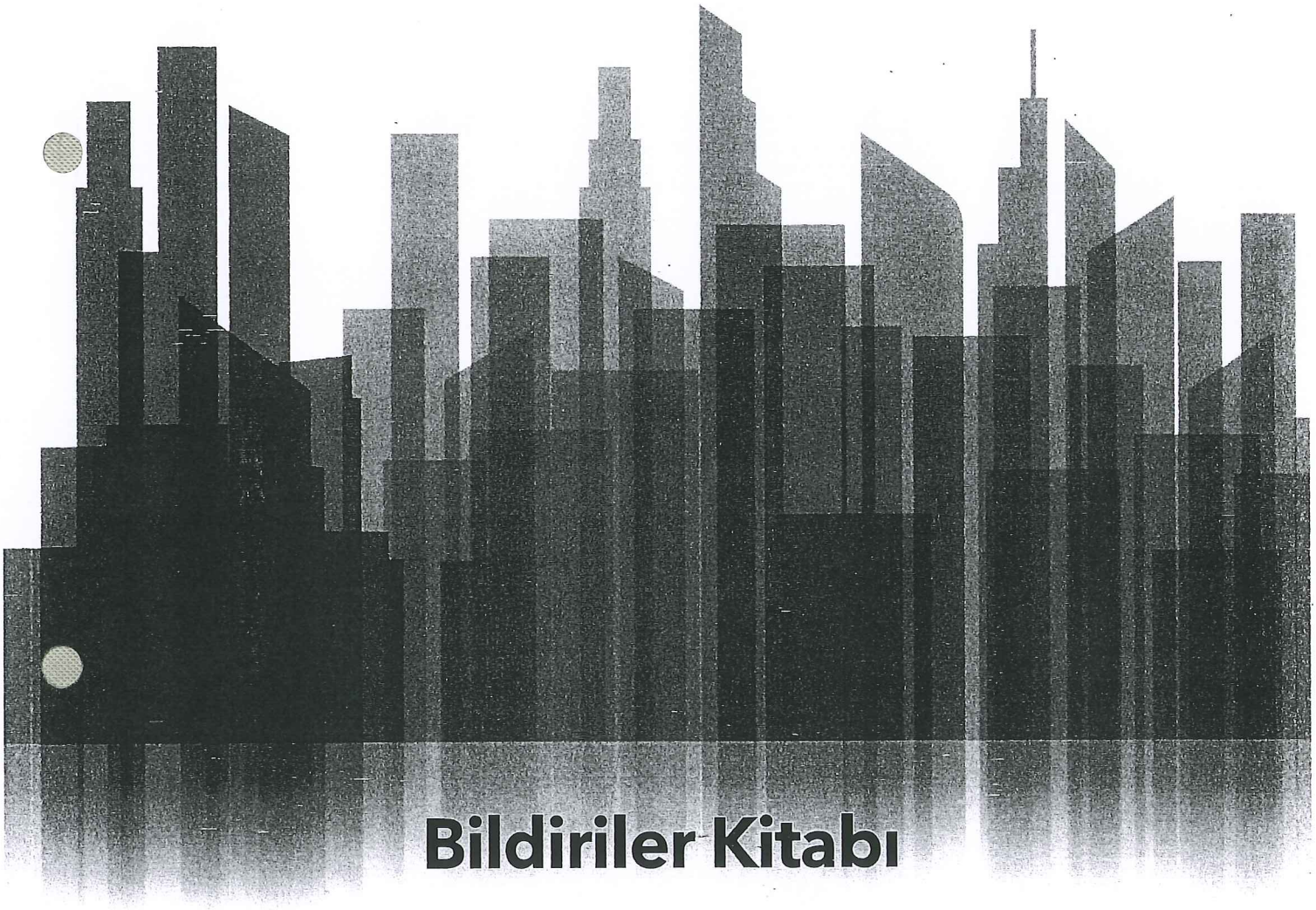
2. ULUSAL YAPI FİZİĞİ VE ÇEVRE KONTROLÜ KONGRESİ



Bildiriler Kitabı

4-6 Mayıs 2016 ■ İTÜ Taşkışla, İstanbul

Yapı Fiziği Derneği
Association of Building Physics

www.yapifizigidernegi.org

Yapı Fiziği Derneği
Association of Building Physics

2.Ulusal
Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi

4-6 Mayıs 2016
İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul

TÜRKİYE'DE KONUT BİNALARININ ENERJİ YENİLENMESİNDE FOTOVOLTAİK (PV) SİSTEMLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Yrd.Doç.Dr. Suzi Dilara Mangan[a]
Prof.Dr. Gül Koçlar Oral[b]
[a]İAÜ Mimarlık Fakültesi
Sefaköy, Küçükçekmece, İstanbul, 34295
[b] İTÜ Mimarlık Fakültesi
Taşkışla, Taksim, İstanbul, 34437

ÖZET

Enerji tüketimlerinde gerçekleşen yüksek düzeydeki artış nedeniyle ortaya çıkan enerji ve çevre sorunları, Türkiye'nin birincil enerji tüketiminin ana kaynağı olan bina sektöründe enerji etkin önlemlerin uygulanmasını gerekli kılmaktadır. Bu bağlamda, Türkiye'nin enerji ile ilgili karşılaştığı zorlukların çözülmesinde ve sürdürülebilir çevrelerin yaratılmasında, yerinde enerji üretimini destekleyerek ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik ederek kendi kendine yetebilen binaların oluşturulması, binalarda enerji tüketiminin azaltılması için alınan diğer önlemlere göre daha büyük önem taşımaktadır. Dolayısıyla, bu çalışma ile gerek ekonomik gerekse çevresel etkilerin dikkate alındığı çok kriterli değerlendirme yöntemi aracılığıyla fotovoltaik (PV) sistemlerin enerji potansiyellerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu çalışmada, Türkiye'nin üç farklı iklim bölgesi için mevcut konut binalarının enerji yenilemelerinde PV sistem uygulamalarının teşvik edilmesine etki eden enerji, ekonomik ve çevresel analizlere ilişkin önemli parametrelerin dikkate alındığı değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonuçları, Türkiye'nin düşük karbon ekonomisi hedefini başarmasında PV sistemlere ilişkin potansiyel faydaların vurgulanmasına yardımcı olmaktadır.

Anahtar sözcükler: Konut binalarının enerji yenilemesi, Fotovoltaikler, Enerji performans analizi, Ekonomik performans analizi

ABSTRACT

The energy and environmental problems, which have arisen due to the significant increase in energy consumption, require the implementation of energy efficiency measures in the building sector which is the main source of primary energy consumption in Turkey. In this regard, in order to decrease the energy demand of buildings, supporting for in situ energy production and promoting the use of renewable energy sources, which are contributing causes to the self-sufficient buildings, take precedence over the other measures for resolving the energy related challenges of Turkey and creating sustainable environments. Therefore, this paper aims to introduce a study on the assessment of the energy potential of the photovoltaic (PV) system considering a multi criteria evaluation which involves both economic convenience and environmental impacts. In this study, evaluations that account for the crucial parameters related to the energy, economic and environmental analysis which have considerably impact on the promotion of PV system applications in terms of the energy renovation of existing residential buildings were conducted for three climate-zones of Turkey. The findings of the study can serve to underscore the potential PV profitability concerning the achievement of low carbon economy target of Turkey.

Key words: Residential building energy renovation, Photovoltaics, Energy performance analysis, Economic performance analysis

[a] e-posta adresi: dilaramangan@yahoo.com
[b] e-posta adresi: kgul@itu.edu.tr

1.GİRİŞ

Günümüzde, dünya enerji tüketiminin hızlı bir şekilde artması nedeniyle enerji tüketimine dayalı çevresel etkilerin azaltılması ve ithal edilen enerji kaynaklarına olan bağımlılığın azaltılarak enerji etkinliğinin sağlanması amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygın bir şekilde kullanımına özellikle dikkat çekilmektedir. Dolayısıyla, gelişmiş ve gelişmekte olan pek çok ülke, enerji kaynaklarını çeşitlendirmeyi sağlayacak ve tüm sektörlerde (sanayi, bina, ulaşım ve diğerleri) CO_2 salımını azaltacak teşvikler aracılığıyla yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik etmektedir. Enerji harcamaları açısından önem taşıyan sektörlerin başında bina sektörü gelmektedir. Binalar, gerek gelişmiş ve gerekse gelişmekte olan ülkelerde küresel sera gazı salımlarının üçte birinden ve küresel enerji tüketiminin %40'ından sorumludur [1].

Ülkemizde hızlı gelişen bir sektör olması nedeniyle öncelikle konut binalarında enerji tüketiminin azaltılması ve düşük karbon yoğunluğunun başarılabilmesi için sürdürülebilir enerjiye olanak sağlayan önlemlerin hayata geçirilmesi gerekli olmaktadır. Söz konusu önlemlerin başında, konut binalarının, ülkemiz açısından yüksek potansiyele sahip bir yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisinden yararlanılarak, elektrik enerjisi üreten sistemler olarak değerlendirilmesi önem taşımaktadır. Bu kapsamda, güneş enerjisinin diğer enerji kaynaklarına göre çevresel açıdan daha yararlı olduğu kabul edilmekte, ayrıca güneş enerjisi, sürdürülebilir kalkınma programlarının da esasını oluşturmaktadır [2]. Teknik açıdan, güneş enerjisinin küresel enerji talebinin tümünü karşılayabilmesine olanak verebilecek potansiyele sahip olduğu bilinmektedir [3-4]. Güneş enerjisi teknolojileri içerisinde fotovoltaik (PV) sistemler, sessiz çalışmaları, kullanımları esnasında CO_2 salımı yapmamaları, ölçek esnekliğine ve oldukça basit bir işletim ve bakım sürecine sahip olmaları gibi öne çıkan özellikleri nedeniyle ülkemiz için gelecek vaat eden enerji sistemlerinden biri olarak kabul edilmektedirler. PV sistemler, enerji temini ya da çevresel zarar kaygısı oluşturmadan yerinde elektrik enerjisi üretimini gerçekleştirebilen, şebekeye bağlanabilme özelliği ile enerji arz güvenliğini sağlayan ve sahip oldukları modüler yapı sayesinde de binalara kolaylıkla entegre edilebilen sistemlerdir. Dolayısıyla, ülkelerin CO_2 salım azaltımı ve enerji üretme hedeflerini başarabilmelerinde etkin bir çözüm olarak PV sistemler gündemde yer almaktadır. Bu bağlamda, yüksek PV sistem potansiyeli gerek mevcut konut binalarının enerji performansının iyileştirilmesinde gerekse yeni yapılacak konut binalarının enerji stratejilerinin şekillendirilmesinde öncelikli olarak değerlendirilmektedir. Dolayısıyla, konutlarda PV sistemlerin binaya aktif bina alt sistemi olarak entegre edilmeleri ve maksimum enerji üretimi gerçekleştirecek şekilde tasarlanmaları büyük önem taşımaktadır.

Bu bağlamda, bu çalışmada, şebekeye bağlı olduğu varsayılan PV sistemlerin;

- çok katlı konut binalarının mevcut ısıtma ve soğutma tüketimleri ile enerji tüketimlerine dayalı CO_2 salımları üzerindeki etkisinin ve
- ekonomik olarak

uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, bina kabuğunda PV sistemlerin uygulanmasına yönelik olarak ele alınan çatı ve cephe PV sistemlerinin farklı iklim bölgelerinde mevcut olduğu varsayılan örnek konut binasının toplam enerji tüketimini karşılama potansiyeli belirlenebilmektedir. Çalışma kapsamında Türkiye'nin ılımlı nemli, sıcak nemli ve soğuk iklim bölgelerinde yer aldığı kabul edilen mevcut konut binalarının enerji

performanslarının iyileştirilmesine yönelik olarak PV sistemlerin enerji ve ekonomik performanslarına ilişkin detaylı bir analiz sunulmaktadır.

2. YÖNTEM

Çalışma kapsamında yaşam döngüsü esasına dayalı olarak enerji ve ekonomik performansları açısından konut PV uygulamalarının potansiyellerinin değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, önerilen yöntem ile birbirini izleyen farklı hesaplama evreleri dikkate alınarak, Türkiye'nin ılımlı nemli, sıcak nemli ve soğuk iklim bölgelerinde PV sistem potansiyeli belirlenebilmekte olup gerçekleştirilen enerji ve ekonomik performans analizlerine ilişkin hesaplama evreleri ve başlıca adımlar aşağıda açıklanmaktadır:

- *Enerji performans analizi:*

-Örnek konut binasının tanımlanması,
-Isıtma ve soğutma enerjisi tüketimlerinin hesaplanması,
-Örnek konut binasının enerji performans göstergelerinin hesaplanması;
  -Birincil enerji tüketimi,
  -Enerji tüketimine dayalı CO_2 salımı,
-PV sistemin tanımlanması;
  -PV sistem tipinin belirlenmesi,
  -PV sistem uygulaması için uygun yüzeylerin belirlenmesi,
  -Verimlilik düzeylerine ilişkin olarak PV modül türünün belirlenmesi,
  -Optimum PV modül eğim açısı ve PV modül dizileri arasındaki optimum gölgeleme mesafelerine ilişkin duyarlılık analizlerin yapılması,
-PV sistemlerden üretilen yıllık enerji üretiminin hesaplanması,

- *Ekonomik performans analizi:*

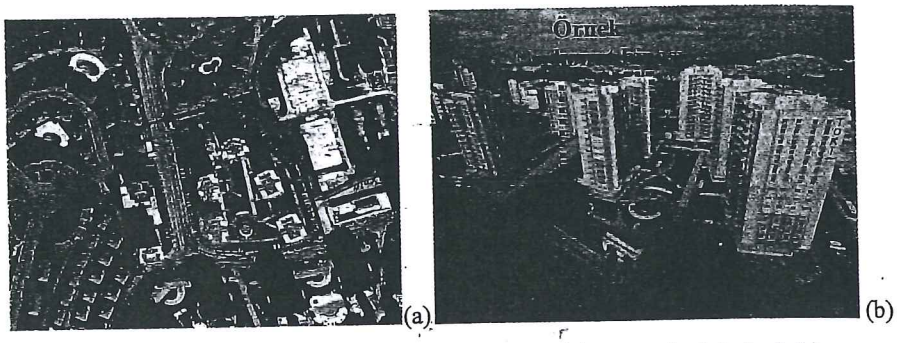
-Ekonomik performans göstergelerinin hesaplanması;
  -Net güncel değer (NGD),
  -İskonto edilmiş geri ödeme süresi (İGS),
-PV sistemlerin ekonomik performanslarının hesaplanması.

Yukarıda tanımlanan yöntem ile, mevcut konut binalarının enerji performanslarının iyileştirilmesi için kullanılabilecek bütünleşik bir yaklaşım önerilmektedir. Önerilen bu yaklaşım kapsamında çözüm odaklı PV system uygulamalarına ilişkin alternatifler tanımlanabilmekte ve Türkiye'nin üç farklı iklim bölgesinde mevcut olduğu varsayılan örnek konut binasının enerji tasarrufu ve çevresel sürdürülebilirliği üzerindeki etkisi değerlendirilebilmektedir.

2.1. Enerji Performans Analizi

2.1.1 Örnek konut binasının tanımlanması

Çalışmada Türkiye'de konut üretiminde etkin rol oynayan TOKİ tarafından inşa edilmiş, yaygın kullanılan yapım teknolojilerini ve tasarım kriterlerini barındıran mevcut bir toplu konut uygulaması ele alınmaktadır. Toplu konut uygulaması kapsamındaki konut bloklarından biri, örnek konut binası olarak çalışma çerçevesinde irdelenmektedir (Şekil 1).



(a) (b)

Şekil 1: Toplu konut projesinin uydu görüntüsü (a) ve genel görünümü (b)

Çalışma kapsamında ele alınan örnek konut binası, 17 katlı bir yapı olup kat yüksekliği 2.79 m'dir. Çatı tipi yürünebilir teras çatıdır. 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. Örnek konut binasının opak bileşenleri kapsamında dış duvar bileşeni 20 cm bims duvar ve perde duvar olmak üzere iki tiptir. Dış duvar, çatı ve toprağa temas eden döşeme bileşenlerine ilişkin mevcut ısı yalıtım kalınlığı ve toplam ısı geçirme katsayısı (U) değerleri, Çizelge 1'de verilmektedir. Saydam bileşen olarak plastik doğramalı çift camlı pencere (4 mm düz cam + 12 mm hava + 4 mm düz cam) sistemi (U_p:2.60 W/m^2K) kullanılmıştır. Saydamlık oranları (toplam saydam alan/toplam cephe alanı), kuzey, güney, doğu ve batı cepheleri için sırası ile %14, %15, %24 ve %30'dur.

Çizelge 1: 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
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	U_T=0.55
Pencere	0.06m PVC doğrama, 0.004m düz cam +0.012m hava +0.004m düz cam	U_p=2.60

2.1.2 Isıtma ve soğutma enerjisi tüketimlerinin hesaplanması

Bu çalışmada, yıllık ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimleri, EnergyPlus termal simülasyon motorunun kapsamlı arayüzü DesignBuilder simülasyon programı kullanılarak hesaplanmaktadır. Çalışma kapsamında ele alınan iller için dış iklime ilişkin veriler, "Tipik Meteorolojik Yıl (TMY)" formatında Meteonorm 7.0 isimli iklim verileri elde etme programı yardımı ile oluşturulmuştur [5].

Çevresel kontrol açısından, 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 21°C, soğutma istenen dönem için ise, 25°C olarak kabul edilmektedir. 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.

2.1.3 Örnek konut binasının enerji performans göstergelerinin hesaplanması

Bu çalışmada örnek konut binasının tüm enerji tüketimlerini ve bu enerji tüketimlerine ilişkin performans göstergelerini elde edebilmek için ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimlerine ilişkin birincil enerji ve CO_2 salım değerleri dikkate alınmaktadır. Birincil enerji tüketimlerinin hesaplanabilmesi için ulusal kılavuzlarda belirtilen herbir yakıt cinsine ilişkin birincil enerji dönüşüm katsayısı kullanılmakta olup aşağıda belirtilen eşitlik yardımı ile hesaplanabilmektedir:

$$E_{T,\ birincil} = E_{T,yakıt} \times f_{p,yakıtl} \quad (1)$$

$E_{T,yakıt}$ ile yakıt cinsine göre yıllık enerji tüketimi (kWh/y) ve $f_{p,yakıt}$ ile ise yakıt cinsine göre birincil enerji dönüşüm katsayısı tanımlanmaktadır. Eşitlik kapsamında Türkiye için tüketilen yakıt cinsine ilişkin birincil enerji dönüşüm katsayıları, doğalgaz enerjisi için 1.00, elektrik enerjisi için ise 2.36 alınmaktadır [6].

Örnek konut binasına ilişkin enerji tüketimlerine dayalı CO_2 salımlarının hesaplanabilmesi için IPCC Rehber Dökümanında belirtilen Tier 2 (T2) yöntemi esas alınmaktadır. T2 yöntemi çerçevesinde referans konut binasına ilişkin CO_2 salımı, aşağıda belirtilen eşitlik yardımı ile hesaplanabilmektedir [7]:

$$CO_2\ Salımı = E_{T,yakıt} \times f_{CO2,yakıtl} \quad (2)$$

$E_{T,yakıt}$ ile yakıt cinsine göre yıllık enerji tüketimi (kWh/y) ve $f_{co_2,yakıt}$ ile ise yakıt cinsine göre CO_2 salımı dönüşüm katsayısı ($kgCO_2/kWh$) tanımlanmaktadır. Eşitlik kapsamında Türkiye için tüketilen yakıt cinsine ilişkin CO_2 salımı dönüşüm katsayıları, doğalgaz enerjisi için 0.20, elektrik enerjisi için ise 0.55 alınmaktadır [8].

2.1.4 PV sistemin tanımlanması

Çalışmada, örnek konut binasının yürünebilir teras çatı alanının tümünde ($510.72m^2$) ve güney cephesi opak alanlarında çatı ve cephe PV sistemleri olarak oluşturulan ve şebekeye bağlı olduğu varsayılan PV sistemlerin enerji performansları değerlendirilmektedir. Bu kapsamda, PV sistemlerin enerji performanslarını etkileyen PV hücre tipleri, panellerin yönlendirilmesi, panel eğim açısı, panel dizileri arasındaki gölgeleme mesafeleri gibi parametreler dikkate alınmış ve bu parametrelerin İstanbul, Antalya ve Erzurum illeri için uygun değerleri belirlenmiştir. PV sistemlere ilişkin yapılmış kabuller, aşağıda belirtilmektedir

- Çatı PV sistemleri için kısıtlı alanda yüksek verimde çalışabilen tek kristalli (mono kristal) silikon PV modüller (190 Wp), cephe PV sistemleri için ise düşük güneş ışınımı koşullarında yüksek verimde çalışabilen ince film (amorf kristal) PV modüller (340 Wp) kullanılmaktadır.

- Çatı PV sistemlerinde PV modüller güneye yönlendirilmekte olup cephe PV sistemlerinde ise PV modüller cephe yüzeyine paralel yerleştirilmektedir.
- Çatı PV sistemlerine ilişkin optimum PV modül eğim açıları, PV*SOL Expert programı ile yapılan analiz çalışmaları sonuçlarına göre İstanbul için 31°, Antalya için 32°, Erzurum için ise 30°'dir.
- Çatı PV sistemlerine ilişkin PV modül dizileri arasındaki optimum gölgeleme mesafeleri, PV*SOL Expert programı ile yapılan analizler sonucuna göre çatı PV sistemleri için panel dizilerinde gölgelenmeden kaynaklı kazanç kaybını %1'e indirecek mesafe aralıkları, panel dizileri arasındaki uygun gölgeleme mesafeleri olarak dikkate alınmaktadır.
- Çatı ve cephe PV sistemleri için PV modüllerin güç çıkışlarında yıllık azalma (degradasyon) oranı ilk on yıl için %1, geri kalan yıllar için ise %0.5 olarak kabul edilmektedir.

Yukarıda belirtilen tüm kabuller doğrultusunda, çatı ve cephe PV sistemlerine ilişkin PV sistem yüzey alanı (Wp/m^2), kurulu güç (kWp) ve performans oranı (%) değerleri, Çizelge 2'de belirtilmektedir.

Çizelge 2: Tanımlanan PV sistemlere ilişkin veriler

Temsili İl	Çatı PV Sistemleri			Cephe PV Sistemleri		
	PV kurulu gücü (kWp)	PV yüzey alanı (Wp/m^2)	Performans oranı (%)	PV kurulu gücü (kWp)	PV yüzey alanı(Wp/m^2)	Performans oranı (%)
İstanbul	29.26	148.36	85.20	14.28	55.30	84.30
Antalya	29.83	148.36	84.10	14.28	55.30	84.50
Erzurum	29.64	148.36	85.00	14.28	55.30	84.70

2.1.5 PV sistemlerden üretilen yıllık enerji üretiminin hesaplanması

Örnek konut binasının çatı ve cephe alanlarında tanımlanan PV sistemlere ilişkin nihai enerji üretimleri, detaylı dinamik hesaplama yöntemini temsilen PV*SOL Expert simülasyon programı kullanılarak hesaplanmaktadır.

2.2. Ekonomik Performans Analizi

2.2.1 Ekonomik performans göstergelerinin hesaplanması

Çalışmada, örnek konut binasına yönelik tasarlanan PV sistem uygulamalarının ekonomik açıdan uygunluğunun değerlendirilebilmesi için net güncel değer (NGD) ve iskonto edilmiş geri ödeme süresi (İGS) yöntemleri dikkate alınmaktadır. NGD'nin hesaplanabilmesi için aşağıda belirtilen eşitlikten yararlanılmaktadır:

$$NGD = \sum_{t=1}^{N} \frac{EM_t}{(1+i)^t} - İM \quad (3)$$

EM_t ile t yılı için enerji maliyeti (TL), i ile iskonto ornaı (%), N ile PV sistemin yaşam ömrü (yıl) ve İM ile ise PV sisteme ilişkin ilk yatırım maliyeti (TL) tanımlanmaktadır. PV sisteme ilişkin ilk

yatırım maliyeti olarak PV modül ve invertörlerin maliyeti dikkate alınmaktadır. EM_t'nin hesaplanmasında ise aşağıda belirtilen eşitlikten yararlanılmaktadır:

$$EM_t = p_{pv} \times E_{pv} \quad (4)$$

p_{pv} ile PV sistemlerden üretilen elektrik enerjisi için uygulanan tarife (TL/kWh) ve E_{pv} ile ise PV sistemler aracılığıyla üretilen yıllık enerji miktarı (kWh/y) tanımlanmaktadır.

İGS ise aşağıda belirtilen eşitlik yardımı ile hesaplanabilmektedir:

$$\sum_{n=1}^{t} \frac{[\Delta EM_t]}{(1+i)^n} \geq İM \quad (5)$$

ΔEM_t ile t yılı içerisinde enerji maliyetinde sağlanan tasarruf değeri (TL) tanımlanmaktadır.

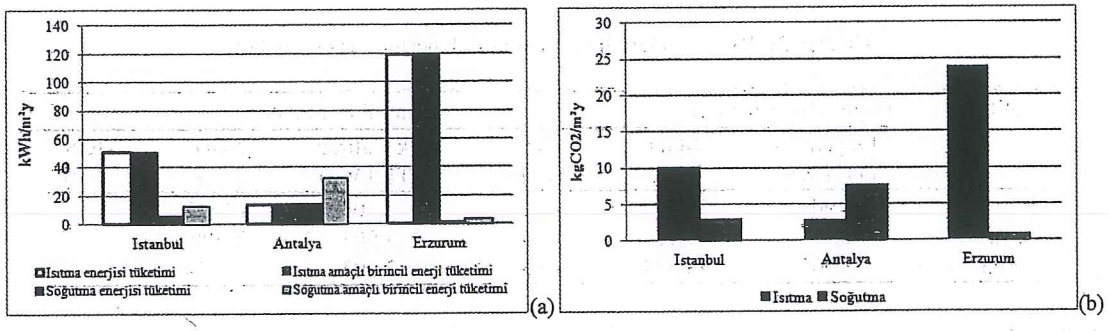
2.2.2 PV sistemlerin ekonomik performanslarının hesaplanması

Çalışma kapsamında PV sistemlerin ekonomik performanslarının hesaplanması amacıyla dikkate alınan veriler aşağıda belirtilmektedir:

- Enflasyon oranı %3.23 [9],
- İskonto oranı %6,
- PV sistemlerden üretilen elektrik enerjisinin birim maliyeti diğer bir deyişle şebekeye satış tarifesi, 13.3 ct/kWh'tir [10],
- İlk yatırım maliyetlerinin hesaplanmasında güncel piyasa tabanlı birim maliyetler esas alınmış olup 3.90 TL/Wp'tir,
- Hesaplama başlangıç yılı 2013,
- Hesaplama süresi 30 yıldır [11-13].

3. BULGULAR

Çalışma kapsamında Türkiye'nin üç farklı iklim bölgesinde (ılımlı nemli, sıcak nemli ve soğuk) yer aldığı kabul edilen örnek konut binasının ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyaçlarına ilişkin olarak hesaplanan yıllık enerji tüketimleri, yıllık birincil enerji tüketimleri ve yıllık CO_2 salımları Şekil 2'de görülmektedir.

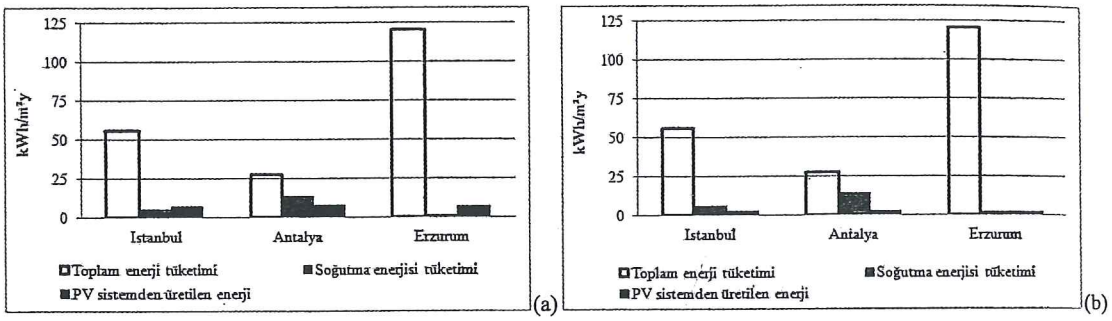


Şekil 2: Yıllık enerji ve birincil enerji tüketimleri (a) ve yıllık CO_2 salımı (b)

İklim bölgeleri çerçevesinde yapılan değerlendirme sonucunda, soğuk iklim bölgesi temsili ili Erzurum için ısıtma amaçlı birincil enerji tüketimi ve CO_2 salımı diğer illere göre oldukça

yüksektir. Diğer taraftan, sıcak nemli iklim bölgesi temsili ili Antalya için ise soğutma amaçlı birincil enerji tüketimi ve CO_2 salım değerleri diğer illere kıyasla daha fazladır.

Örnek konut binasına ilişkin tanımlı çatı ve cephe PV sistemlerinden elde edilen yıllık enerji üretimleri, örnek konut binasının yıllık toplam enerji tüketimi (ısıtma+soğutma) ve yıllık soğutma enerjisi tüketimleri ile karşılaştırmalı olarak Şekil 3'te belirtilmektedir. Analiz sonuçları çerçevesinde, PV sistemlerden üretilen yıllık enerji miktarı, diğer iklim bölgelerine kıyasla daha yüksek güneş ışınım değerlerine sahip sıcak nemli iklim bölgesi temsili ili Antalya için en yüksek olup diğer iklim bölgelerinin temsili illeri için elde edilen veriler de Antalya ili için elde edilen değerlere yakın düzeydedir. Öte yandan, ele alınan tüm iklim bölgeleri için çatı PV sistemleri ile üretilen yıllık enerji miktarı, cephe PV sistemleri ile üretilen enerji miktarına oranla daha yüksektir.



Şekil 3: Çatı PV sistemleri (a) ve Cephe PV sistemleri (b) tarafından üretilen yıllık enerji değerleri

Çalışma kapsamında tanımlı PV sistemlerin ekonomik uygunluğunun değerlendirildiği ekonomik performans analiz sonuçları, Çizelge 3'te verilmektedir. Elde edilen analiz sonuçlarına göre, üç farklı iklim bölgesi için 30 yıllık değerlendirme süresi içerisinde çatı PV sistemlerinin ilk yatırım maliyetlerini geri ödeyebildiği, cephe PV sistemlerinin ise geri ödeyemediği görülmektedir. Çatı PV sistemleri açısından elde edilen analiz sonuçları irdelendiğinde, tüm iklim bölgeleri için pozitif net güncel değerin elde edildiği ve iskonto edilmiş geri ödeme sürelerinin 12.9 ile 16.8 yıl arasında değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir. En yüksek net güncel değer ve en düşük iskonto edilmiş geri ödeme süresi sıcak nemli iklim bölgesi temsili ili Antalya için elde edilmiş olup en düşük net güncel değer ve en yüksek iskonto edilmiş geri ödeme süresi ise soğuk iklim bölgesi temsili ili Erzurum için hesaplanmıştır.

Çizelge 3: PV sistemlere ilişkin ekonomik performans sonuçları

Temsili İl	Cephe PV sistemleri			Çatı PV sistemleri		
	İlk yatırım (TL/kWp)	NGD (TL)	İGS (yıl)	İlk Yatırım (TL/kWp)	NGD (TL)	İGS (yıl)
İstanbul	3.903	36,347	14.5	3.903	-10,322	-
Antalya	3.903	49,159	12.9	3.903	-5,898	-
Erzurum	3.903	23,444	16.8	3.903	-13,634	-

4. SONUÇ

Bu çalışmada, Türkiye'nin farklı iklim bölgeleri için PV sistemler, enerji, ekonomik ve çevresel analizleri kapsayan bütünleşik bir değerlendirme ile ele alınmaktadır. Değerlendirme sonuçları,

çatı PV sistemleri ile örnek konut binasının ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimlerini kapsayan toplam enerji tüketimlerinin karşılanması oranının %6 (Erzurum) ile %30 (Antalya) arasında değiştiğini göstermektedir. Cephe PV sistemleri ile örnek konut binasının toplam enerji tüketimlerinin karşılanması oranı ise, en yüksek %9 olup bu değer, Antalya ili (sıcak nemli) için elde edilmiştir. Ekonomik performans analiz sonuçları irdelendiğinde, Çatı PV sistemleri ile tüm iklim bölgeleri için pozitif net güncel değer elde edilmiş olup iskonto edilmiş geri ödeme süreleri 12.9 ile 16.8 yıl arasında değiştiği görülmektedir.

Çalışma kapsamında elde edilen değerlendirme sonuçları, ülkemiz açısından gerek sürdürülebilir ekonomik büyümenin gerçekleştirilmesi ve enerjide dışa bağlımlılığın azaltılmasına ilişkin politikaların üretilmesi gerekse Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS)'ne (2004) ve Kyoto Protokolü'ne (2009) taraf ve AB'ye aday ülke konumunda olması nedeniyle ilgili mevzuatların geliştirilmesi ve uygulanması için de büyük önem taşımaktadır. Ayrıca çalışmada önerilen yöntemin PV sistemlerin mevcut konut binalarının enerji etkin yenilemelerinin yanı sıra yeni tasarlanacak binalar için de uygulanabileceği açıktır. Tasarım aşamasında yapılacak değerlendirme başlangıçta enerji ve maliyet etkinliği açısından önlem alınmasını olanaklı kılacaktır. Bu nedenle mevcut konut binalarının enerji etkin yenilenmesi ve yeni tasarlanacak binalar için de enerji etkinliği açısından tasarım aşamasında doğru kararların alınabilmesi için konuya ilişkin yasa ve yönetmeliklerin hazırlanmasında kullanılacak teknik bilginin geliştirilmesi ve dolayısıyla bu tür çalışmaların çok sayıda öneri için gerçekleştirilmesi gereklidir.

KAYNAKLAR

1. UNEP SBCI (2009). Buildings and climate change, summary for decision-makers.

2. Wang, Q., Qiu, H.N. (2009). Situation and outlook of solar energy utilization in Tibet, China. Renewable and Sustainable Energy Reviews 13(8), 2181–2186.

3. EPIA, European Photovoltaic Industry Association (2007). PV to Become a Leading World Energy Market. Retrieved November 1, 2008. http://www.rtcc.org/2007/html/dev solar epia.html.

4. Kurokawa, K., Komoto, K., Vleuten, V.D.P., Faiman, D. (2007). Energy from the desert: practical proposals for very large scale photovoltaic systems. Earthscan.

5. Remund, J., Müller S., Kunz, S., Huguenin-Land, B., Studer, C., Klauser, D. ve Schilter, C. (2014). *Meteonorm Global Meteorological Database.* Bern: Meteotest.

6. BEP (2010). *Bina Enerji Performansı Hesaplama Yöntemi.* <http://www.bep.gov.tr/BEPTRWEB/#.VLEkQyuUfE0>, alındığı tarih: 05.04.2012.

7. IPCC (2006). Energy. *IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories* (Vol. 2).

8. CSB (2013). Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.

9. TSE, Türk Standartları Enstitüsü < http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=13559>, alındığı tarih: 05.07.2013.

10. TBMM (2011). Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun, *T.C. Resmi Gazete, 27809,* 8 Ocak 2011.

11. IEA (2006). Compared assessment of selected environmental indicators of photovoltaic electricity in OECD cities. International Energy Agency, Photovoltaic power systems programme, Report IEA-PVPS-T10-02:2006.

12. Alsema, E.A., de Wild-Scholten, M.J. (2005).The real environmental impacts of crystalline silicon PV modules : an analysis based on up-to-date manufacturers data. 20th European PV Solar Conference, Barcelona.

13. EC (2012). European Commission Commission Delegated Regulation, NO:244/2012; 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