



## Aktif Güneş Sistemlerinin Bina Enerji Verimliliği Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi

Meryem ALTINÖZ<sup>1\*</sup>, Esmâ MIHLAYANLAR<sup>2</sup>

### Öz

Yapı sektörü doğal kaynakları kullanmakta ve sera gazı salınımıyla doğal dengenin bozulmasında rol oynamaktadır. Binaların neden olduğu olumsuz çevresel etkiler, enerji tüketiminin azaltılması ve yenilenebilir temiz enerji (güneş, rüzgâr vb.) kaynaklarının kullanımıyla azaltılabilmektedir. Bu çalışmada Kırklareli'nden seçilen farklı özelliklere sahip binaların renovasyonla iyileştirilip aktif güneş sistemlerinin entegre edilmesiyle enerji tüketimi ve çevresel etkilerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada yapım sistemi ve imar durumu özelliklerine göre farklılık gösteren binalar Graphisoft Archicad Programı Eco Designer Star modülüyle analiz edilmektedir. Binaların yalıtımsız durumu (Senaryo 1), binaların yalıtımsız durumlarına renovasyonla iyileştirilme yapıldığı düşünülerek yalıtımlı durumu (Senaryo 2) ve yalıtımlı duruma ek olarak yenilenebilir aktif güneş enerji sistemlerinin binalara entegre edildiği durumları (Senaryo 3) incelenmiştir. Senaryo 1 ve Senaryo 2 değerlendirildiğinde binaların yıllık birincil enerji tüketiminde ve CO<sub>2</sub> emisyonunda %32 ile %67, yıllık toplam enerji tüketimleri değerlendirildiğinde ise %29 ile %64 oranında iyileşme sağlandığı görülmektedir. Senaryo 2 ve Senaryo 3 değerlendirildiğinde ise binaların yıllık birincil enerji tüketiminde ve yıllık CO<sub>2</sub> emisyonunda %17 ile %32, yıllık toplam enerji tüketimleri değerlendirildiğinde ise %16 ile %30 oranında iyileşme sağlandığı görülmektedir. Kırklareli, güneş potansiyeli açısından düşük bir bölgede yer almasına rağmen, bina kabuğunun doğru tasarımı ve yenilenebilir güneş enerjisi sistemlerinin de entegre edilmesiyle binalarda karbon ayak izini azaltmanın mümkün olacağı görülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Aktif güneş sistemleri, enerji verimliliği, çevresel etkiler, enerji simülasyonu, Kırklareli

## Investigation of the Contribution of Active Solar Systems to Building Energy Efficiency

### ABSTRACT

Construction sector uses natural resources and plays role in the deterioration of the natural balance with greenhouse gas emissions. The negative environmental impacts of buildings can be reduced by reducing energy consumption and the use of renewable clean energy (solar, wind, etc.) sources. This study, it is aimed to evaluate the energy consumption and environmental impacts of buildings with different characteristics selected from Kırklareli by renovating and integrating active solar systems. Buildings that differ according to construction system and zoning status are analyzed with Graphisoft Archicad Program Eco-Designer Star module. The uninsulated state of the buildings(Scenario 1), the insulated state of the buildings(Scenario 2) and the insulated

<sup>1</sup> Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı

<sup>2</sup> Trakya Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Edirne, Turkey

\* İlgili yazar/Corresponding author: [meryemaltinoz@gmail.com](mailto:meryemaltinoz@gmail.com)

Gönderim Tarihi: 20.10.2019

Kabul Tarihi: 24.12.2019

state in addition to the renewable active solar energy systems integrated into the buildings are evaluated(Scenario 3). When Scenario 1 and Scenario 2 are evaluated, it is seen that the annual primary energy consumption and CO<sub>2</sub> emission of buildings improved by 32%-67%, and the total annual energy consumption is 29%- 64%. When Scenario 2 and Scenario 3 are evaluated, it is seen that the annual primary energy consumption and annual CO<sub>2</sub> emission of buildings improved by 17%- 32%, and the total annual energy consumption is improved by 16%-30%. Although Kırklareli is located in a region with low solar potential, it is possible to reduce the carbon footprint in buildings with the correct design of the building shell and integration of renewable solar energy systems.

**Key Words:** Active solar systems, energy efficiency, environmental effects, energy simulation, Kırklareli

## 1. GİRİŞ

Günümüzde yapı üretimi ve kullanımı sırasında doğal kaynaklar hızla tüketilmekte ve oluşan çevre kirliliği, iklim değişikliği ve sera gazı salınımına sebep olmaktadır. Dünyada enerjinin etkin ve doğal kaynakların verimli kullanılması konusunda yapılan çalışmalar artmaktadır (Movahhed vd., 2019, s.478, Zuhur vd., 2019, s.567, Mahdi Tahmasebi vd., 2011, s.820). Yapı sektörünün neden olduğu olumsuz çevresel etkiler, enerji kaynaklarının verimli kullanımı ve binaların karbon salınımının azaltılması ile önlenmektedir (Movahhed vd., 2019, s.478, Zuhur vd., 2019, s.567).

Konutlar Dünya'da tüketilen enerjinin %20'sini (IEA, 2018), Türkiye'de ise %22'sini kullanmaktadır (IEA, 2016a). Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre Türkiye'nin bina stoğuna her yıl 100.000'den fazla yeni bina eklenmektedir. Bu binaların %80,4'ü konut sektörüne aittir (TÜİK, 2019). Bu noktada yeni yapılan konutlarda enerji tüketimi önlemleri ile yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve yerinde enerji üretimi ile büyük oranda enerji tasarrufu sağlamak mümkündür (Karaca, Uçar, 2018, s.65). 2014 yılında yayınlanan İklim değişikliği Sentez Raporuna göre; sera gazı oluşumunda fosil yakıt ve endüstriyel üretimden kaynaklanan CO<sub>2</sub> %76 ile en büyük paya sahiptir. Ekonomik sektörler göre sera gazları dağılımı incelendiğinde direkt sera gazı emisyonunda binalar %6,3, elektrik ve ısı üretimi %25 oranında etkilidir. Elektrik ve ısı üretiminin neden olduğu dolaylı CO<sub>2</sub> emisyonu oluşturan binalar %12 oranında etki etmektedir (IPCC, 2014).

Günümüzde mimari çizimlerle birlikte binaların enerji tüketimlerinin belirlenmesinde ve çeşitli performanslarının değerlendirilmesinde BIM (Building Information Model) sistemleriyle simülasyon programlarından faydalanılmaktadır (Kardinal Jusuf vd., 2017, s.145, Mahdi Tahmasebi vd., 2011, s.820, Bellido Montesinos vd., 2019, s.149, Mohajeri vd., 2018, s.86, İlhan, Yaman, 2016, s.26, Saretta vd., 2019, s.343). Binaların BIM sistemleri ile birlikte değerlendirilmesi; malzeme seçimi (İlhan, Yaman, 2016, s.26), gölgeleme elemanı olarak kullanılan fotovoltaik panelin boyutunu belirleme (Popa, Brumar, 2018, s.768), yapı elemanların (pencere vb.) boyutlarını belirleme ile birlikte enerji tüketimi ve karbon ayak izi (Mahdi Tahmasebi vd., 2011, s.820) vb. değerlendirmeleri konularında tasarımın erken aşamalarında bilgi sahibi olmamızı sağlamaktadır.

Bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynakları ile aktif güneş sistemlerinin binaların enerji verimliliği üzerindeki katkısının araştırılması amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında Kırklareli'nden seçilen konut fonksiyonlu binalar; taşıyıcı sistem, kat adedi, toplam inşaat alanı ve imar durumu özellikleri göz önünde bulundurularak Graphisoft Archicad

simülasyon programı yardımıyla enerji tüketimi ve çevresel etkileri değerlendirilmiştir. Seçilen yapılar Kırklareli merkezinde bulunmaktadır. Mevcut binalardan tercih edilen yapılar yapım sistemi ve özellikleri açısından değişiklik göstermektedir. Çalışmada, güneş enerjisi potansiyeli açısından Türkiye'nin az güneş ışınımına sahip bir bölgesinde yer alan Kırklareli İli seçilmiştir. Düşük güneş ışınımı potansiyeli ile aktif güneş enerji sistemlerinin incelenen binaların çatılarına entegre edilmesi durumunda elde edilen enerji tüketimleri araştırılmıştır.

Örnek olarak incelenen mevcut binaların yalıtım durumları tespit edilemediğinden öncelikle binalar yalıtımsız kabul edilerek Senaryo 1 (S1), sonrasında renovasyon ile iyileştirilme yapıldığı düşünülerek yalıtımlı durumu Senaryo 2 (S2) ve yalıtımlı duruma ek olarak yenilenebilir aktif güneş enerji sistemlerinin (Solar Thermal Panel/STP, Photovoltaic Panel/PV) binalara entegre edildiği durumları Senaryo 3 (S3) oluşturulmuştur. Graphisoft Archicad programı ve Eco Designer Star modülü aracılığıyla binaların enerji tüketimleri ve çevresel etkileri araştırılmıştır (Altınöz, 2019).

## 2. AKTİF GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİ

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisinden pasif ve aktif yöntemlerle faydalanılarak; ısıtma, soğutma, aydınlatma, ve elektrik gibi ihtiyaçları karşılamak için kullanılabilir (Saretta vd., 2019, s.343). Aktif ve pasif yöntemlerle güneş enerjisi kullanılarak binalarda enerji verimliliği sağlanabilmektedir. Binalarda aktif güneş enerji sistemleri arasında en çok güneş kolektörü (Solar Thermal Panel-STP) ve fotovoltaik paneller (Photovoltaic Panel- PV) kullanılmaktadır.

**Güneş Kolektörü (STP/Güneş Isı Toplayıcısı):** Binaların sıcak su ihtiyacını karşılamak için kullanılmaktadır. Güneş ışınlarından gelen enerjiyi toplayarak sistemde bulunan suyun ısıtması prensibiyle çalışmaktadır (Alparslan, 2010). Güneş kolektörleri (Solar Thermal Panel-STP); düzlemsel güneş kolektörü, vakum borulu güneş kolektörü olarak sınıflandırılmaktadır (Şekil 1). Düzlemsel güneş kolektörlerinde cam örtüsünden taşınım yoluyla ısı kayıpları olabilmektedir. Ancak vakum borulu güneş kolektörü saydam boru ile içindeki siyah boyalı boru arası vakumlanarak ısı kayıpları önlenmektedir. Bu nedenle vakum borulu güneş kolektörlerinin verimleri düzlemsel güneş kolektörüne göre daha fazladır. Bu sistemden alınacak en yüksek verim binanın bulunduğu enleme göre uygun açının belirlenmesiyle sağlanabilmektedir (Alparslan, 2010).



Şekil 1. Düzlemsel ve vakum borulu güneş kolektörü (Yeşil Bina Dergisi 2012, Save Energy, 2018)

**Fotovoltaik Panel (PV/Güneş Pilleri):** Yenilenebilir güneş enerjisi ile üretilen elektrik binada ısıtma, soğutma ya da aydınlatma amacıyla kullanılmaktadır. Kullanımında karbon salınımına sebep olmaması en önemli avantajlarından biridir. Gün ışığını direk olarak elektrik enerjisine dönüştüren bu hücrelerin hammaddesi silisyumdur (Kocakaya, 2012). Hücrelerin özel bir işlemle birbirine bağlanması ile çeşitli büyüklüklerde üretilmektedir. Kullanılan hücrelerin özelliğine göre monokristal, polikristal modüller bulunmaktadır (Şekil 2). Bu modüllerden monokristal modülün verimliliği polikristal modülden daha yüksektir. Ancak maliyeti sebebiyle daha çok polikristal modüller tercih edilmektedir (Poulek vd., 2018, s.419).

PV paneller bina kabuğunda yapı elemanı (gölgeleme, saçak, korkuluk vb.) amacıyla da kullanılabilir. Güneş enerjisinden maksimum oranda faydalanmak amacıyla gölgeleme elemanı açısı optimize edilerek değerlendirilebilmektedir (Popa, Brumaru, 2018, s.768). Çatı tipi PV panelin verimliliğini etkilemektedir (Mohajeri vd., 2018, s.86).



Monokristal güneş hücresi

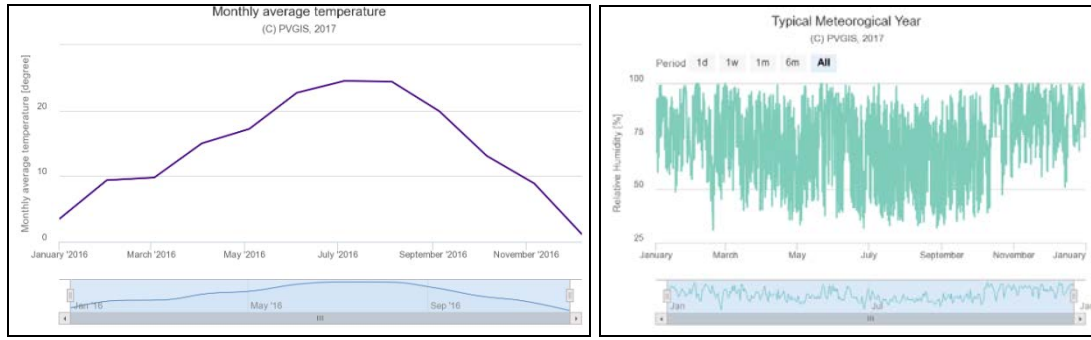
Polikristal güneş hücresi

Şekil 2. Fotovoltaik panel çeşitleri (Sendy,2019)

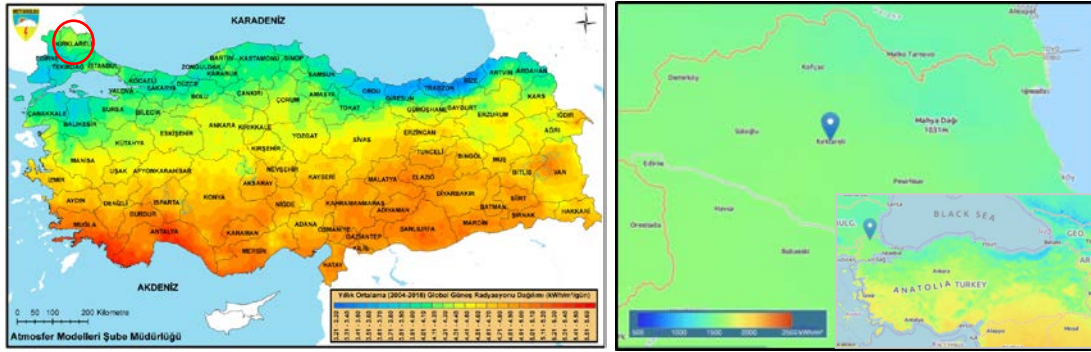
### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmada kapsam olarak Marmara Bölgesinin Trakya kesiminde bulunan Kırklareli seçilmiştir. Kırklareli TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardındaki dış sıcaklıklara bağlı sınıflandırmada 3.Derece Gün Bölgesinde bulunmaktadır (Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, 2008). 2018 yılı verileri değerlendirildiğinde ısıtma gün derecesi 1139, soğutma gün derecesi 217 olarak tespit edilmiştir (MGM, 2018a). Yıllık ortalama sıcaklık 13,3°C'dir (MGM, 2018b). Yıllık ortalama sıcaklık ve bağıl nem grafiği Şekil 3'de gösterilmektedir (European Commission, 2017a). Kırklareli için 1988-2017 yılı yıllık ortalama günlük güneşlenme süresi 6.26-6.50 (saat/gün) olarak bulunmuştur (MGM,2017). Fotovoltaik coğrafi bilgi sistemi (Photovoltaic Geographical Information System) 2017 verilerine göre Kırklareli ili ortalama radyasyon değerleri yıllık yaklaşık 1500 kWh/m<sup>2</sup> olarak tespit etmiştir (European Commission, 2017a)(Şekil 4). Kırklareli iline ait global radyasyon ve güneşlenme süresi değerleri ise Şekil 5 de yer almaktadır (YEGM,2017).

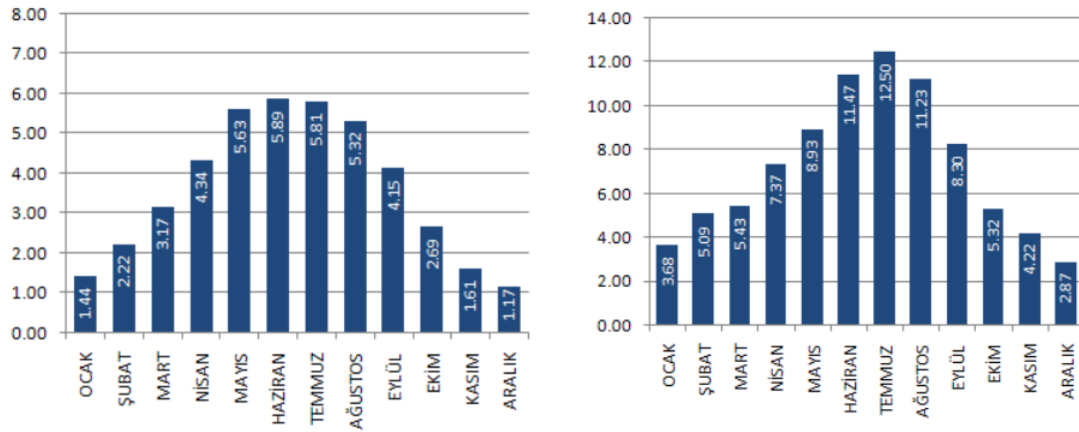
Kırklareli nüfusunun %71,1'i (256.750) ilçe merkezlerinde, %28,9'i (104.110) kırsal alanda yaşamaktadır (TÜİK,2018). 2017 yılı TÜİK verilerine göre Kırklareli'nde yapı ruhsatı verilen bina sayısı 732 adettir ve Kırklareli'nde toplam yapı ruhsatı verilen konut sayısı ile karşılaştırıldığında %90 oranında konutların yer aldığı tespit edilmiştir (TÜİK, 2019). Kırklareli merkez ve özellikle çevre ilçelerde geleneksel yapı sistemleri ile yapılmış binalar önemli bir yer tutmaktadır. Geleneksel yapı sistemleri açısından yığma ve iskelet yapı sistemleriyle inşa edilmiş binalar görülmektedir.



Şekil 3.Yıllık ortalama sıcaklık (°C) ve bağıl nem grafiği (%) (European Commission, 2017a)



Şekil 4.Türkiye yıllık ortalama günlük güneşlenme süresi Kırklareli güneş enerjisi potansiyeli (MGM, 2017, European Commission, 2017a)

Global Radyasyon Değerleri(Kwh/m<sup>2</sup>-gün) Güneşlenme Süreleri (Saat)  
Şekil 5.Kırklareli global radyasyon ve güneşlenme süresi değerleri (YEGM, 2017)

Çalışmada örnek olarak incelenen binalar taşıyıcı sistem özellikleri (ahşap iskelet, tuğla yığma ve betonarme sistem), kat adedi (1-2 kat, 3-5 kat), bodrum durumu (bodrumlu, bodrumsuz), toplam inşaat alanı ve nizam durumuna (ayrık, bitişik) göre farklı parametrelere göre sınıflandırılarak değerlendirilmektedir.

Konutların Graphisoft Archicad programında modelleri oluşturulmuştur. Graphisoft Archicad programı yaygın olarak kullanılan BIM programından bir tanesidir. Graphisoft Archicad programının içerisinde bulunan Eco Designer Star modülü ile programda oluşturulan yapılar enerji verimliliği yüksek bina tasarımı olarak geliştirilebilmektedir. Eco Designer Star aracılığı ile iklim analizi, bina enerji modeli kalibrasyonu, projeye

özgü düşük enerjili yapı çözümü setleri, düşük enerji ihtiyaçlı mimari tasarım ve bütün bina enerji optimizasyonu yapılabilmektedir. Binaların çevre ayarı, iklim verisi ve iç kazanç değerleri programa tanıtılmıştır. Archicad'de modellenen yapı malzemelerinin özellikleri yapı kataloğundan seçilebilmektedir. Bu katalogta yapı malzemelerinin ısıletkenliği, yoğunluk, ısı kapasitesi ve gömülü enerji ve gömülü karbon enerjileri bilgileri TS 825'e uygun olarak düzenlenmiştir. Program ayrıca yeni (istenilen) bir yapı malzemesini tanımlama olanağı da sunmaktadır. Bununla birlikte binalara yenilenebilir enerji kaynakları (rüzgar, güneş vb.) tanımlanarak enerji değerlendirme raporlarına ilave edilebilmektedir (Altınöz,2019,s 51-54,Graphisoft,2019).

Binalar Graphisoft Archicad programı ve Eco Designer Star modülü aracılığıyla yalıtımsız (Senaryo 1), yalıtımlı (Senaryo 2) ve yalıtımlı durumda çatı yüzeylerine aktif güneş sistemleri (Solar Thermal Panel/STP, Photovoltaic Panel/PV) eklendiği (Senaryo 3) durumlarında enerji değerlendirme raporları ile enerji tüketimleri ve çevresel etkileri araştırılmıştır (Altınöz, 2019,s:3, 55, 56).

Binalar öncelikle yalıtımsız durumda modelleri oluşturularak ortalama ısı geçirgenlikleri (U değerleri), yıllık net ısıtma enerjileri, yıllık enerji tüketimleri vb. değerleri elde edilmiştir. Ancak binada kullanılması önerilen yenilenebilir güneş enerji sistemlerinden maksimum yarar sağlamak amacıyla yalıtımsız durumda bulunan binalara Kırklareli için uygun yalıtım kalınlıkları uygulanmıştır. Yalıtım kalınlıklarının belirlenmesinde binaların opak ve saydam yapı elemanlarının (duvar, çatı, zemin ve pencere/kapı) ısı geçirgenliklerinin (U değerlerinin) aynı değerde olması hedeflenmiştir. Binaların ısı kayıplarını azaltıcı renovasyonu sonucunda; zemin ve çatı döşemelerinde 10 cm, ara katlarda 2 cm, ve duvarlarda ahşap sistemle inşa edilen B1 ve yığma yapı sistemiyle inşa edilen B2 binası için 10 cm, betonarme sistemle inşa edilen B3, B4, B5 ve B6 binaları için 6 cm ısı yalıtımı uygulanacağı belirlenmiştir. Bunlara ek olarak binaların kapı pencere gibi yapı elemanlarının da iyileştirildiği düşünülerek hesaplamalar yapılmıştır. Renovasyon ile yalıtımlı duruma getirilen binaların ısı geçirgenlikleri (U değerleri) dikkate alındığında TS 825 Isı Yalıtım Kuralları Standardına göre 3. Bölgede bulunan yalıtımlı binalar için tavsiye edilen U değerleri sınırları içerisinde olmasına dikkat edilmiştir (Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, 2008).


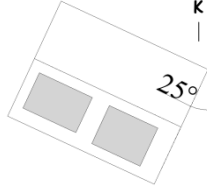

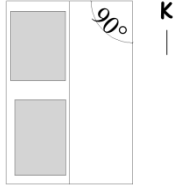

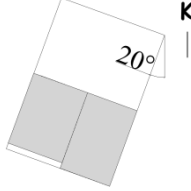

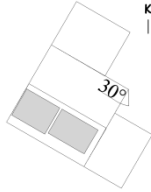

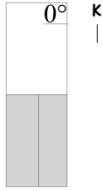
Bina modelleri oluşturulurken binalarda iç kazançlar ve bölgede yaygın olarak kullanılan fosil kaynaklı doğalgaz, yakıt türü ortak parametre olarak belirlenmiştir. Belirlenen yalıtım kalınlıkları uygulanan binalarda kullanılacak yenilenebilir güneş enerjisi sistemleri; *güneş kolektörü* (Solar Thermal Panel-STP) ile *fotovoltaik güneş paneli* (Photovoltaic Panel-PV) olarak belirlenmiştir. Güneş kolektörü boşaltılmış tüp tercih edilerek ısıtma ve sıcak su üretecek şekilde 32° açı ile tanımlanmıştır (European Commission, 2017b). Fotovoltaik güneş paneli çoklu kristal tipinde 163 W/m<sup>2</sup> nominal doruk güce ve %16 verimli tercih edilmiştir (Csun Solar,2017).

Binaların güneye bakan çatı yüzey alanları, güney ile yaptığı açılar (Azimut), her binanın optimum güneş enerji sistemi büyüklüğü ve bina özellikleri (taşıyıcı sistem, imar durumu, kat adedi, taban alanı ve toplam inşaat alanları) Çizelge 1 de verilmektedir (Altınöz, 2019, s:60-79).

Renovasyon ile iyileştirilme yapılan farklı yapı sistemine sahip binalara ait yapı malzemelerinin özellikleri Çizelge 2 de verilmektedir.

Binaların sistem kesitleri ve iyileştirilmiş ısı geçirgenliği (U) değerleri Çizelge 3 de verilmektedir.

Çizelge 1. Binaların güney yönüne açısı, çatı yüzey alanı, yenilenebilir enerji kaynağı büyüklükleri ve özellikleri

Bina Özellikleri									
Kod	Taşıyıcı Sistem	İmar Durumu	Kat Adedi	Taban Alanı	T. İnşaat Alanı	Binanın Güney ile Açısı	Güneye Bakan Çatı Yüzey Alanı	Yenilenebilir Enerji Kaynakları STP (m <sup>2</sup> )	Enerji PV (m <sup>2</sup> )
B1	A. İskelet	Bitişik	Z+1/ B.lu	150	308	25°	88	19,44	19,36
									
B2	Yığma	Bitişik	Z+1/ B.suz	80	160	90°	58	19,44	19,36
									
B3	Betonarme	Bitişik	Z+3/ B.lu	68	338	20°	41	19,44	19,36
									
B4	Betonarme	Ayrık	Z+1/ B.suz	220	326	30°	67	19,44	19,36
									
B5	Betonarme	Ayrık	Z+3/ B.lu	182	912	0°	54	25,92	29,04
									
B6	Betonarme	Ayrık	Z+3/ B.lu	312	2450	20°	64	30,24	29,04



Çizelge 2. Renovasyon ile iyileştirilme yapılan binaların yapı elemanlarını oluşturan katmanlar

	Ahşap İskelet Sistem	Yığma Sistem	Betonarme Sistem
Pencere (Up)	P.V.C Doğrama Çift Cam Low-e Kaplamalı	P.V.C Doğrama Çift Cam Low-e Kaplamalı	P.V.C Doğrama Çift Cam Low-e Kaplamalı
Çatı (UT)	Şap (2 cm) EPS (10 cm) Ahşap Dikme (15 cm) Tuğla Dolgu (15 cm) Ahşap Tavan (2 cm)	Şap (2 cm) EPS (10 cm) Betonarme Döşeme (15 cm) Alçı Sıva (2 cm)	Şap (2 cm) EPS (10 cm) Gazbeton Dolgulu Asmolen Döşeme (23+7 cm) Alçı Sıva (2 cm)
Zemin (Ut)	Doğal Taş (3 cm) Yapıştırıcı (3 cm) Buhar Kesici (1 cm) EPS (10 cm) Geçirimsiz Şap (3 cm) Grobeton (10 cm) Blokaj (15 cm)	Seramik (1 cm) Yapıştırıcı (1 cm) Şap (2 cm) EPS (10 cm) Geçirimsiz Şap (3 cm) Grobeton (10 cm) Blokaj (15 cm)	Şap (2 cm) EPS (10 cm) Radye Temel (50 cm) Grobeton (10 cm) Blokaj (15 cm)
Duvar (Ud)	Ahşap İskelet (15 cm) Tuğla Dolgu (15 cm) EPS (10 cm) Yalıtım Sıvası (1 cm)	Alçı Sıva (2 cm) Taşıyıcı Tuğla (20 cm) EPS (10 cm) Yalıtım Sıvası (1 cm)	Alçı Sıva (2 cm) Gazbeton (20 cm) EPS (6 cm) Yalıtım Sıvası (1 cm)

Çizelge 3. Binaları oluşturan yapı elemanlarının özellikleri ve iyileştirilmiş ısı geçirgenlikleri (U Değerleri)

	Sistem Kesiti			Özellikler	
	Ahşap İskelet Sistem	Yığma Sistem	Betonarme İskelet Sistem	Yapı Elemanı	U Değeri W/m <sup>2</sup> K
				Pencere (Up)	1,7
				Çatı (UT)	0,3
				Duvar (Ud)	0,3
				Zemin (Ut)	0,3

#### 4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME



Binaların Senaryo 1-2-3'e göre; değişiklik gösteren saydam yüzey alanları (%), yıllık net ısıtma enerjileri (kWh/m<sup>2</sup>), yıllık enerji tüketimleri (kWh/m<sup>2</sup>), birincil enerji tüketimleri (kWh/m<sup>2</sup>), yıllık CO<sub>2</sub> emisyonları (kg/kg/m<sup>2</sup>) ve enerji maliyetlerine (TL,TL/m<sup>2</sup>) Çizelge 3'de verilmektedir (Altınöz, 2019, s:80).

Çizelge 3.Binaların üç farklı senaryoya göre enerji, CO<sub>2</sub>, maliyet sonuçları

Senaryo	Bina Durumu	Saydam Yüzey Alanı %	Net Isıtma Enerjisi kWh/m <sup>2</sup>	Enerji Tüketimi kWh/m <sup>2</sup>	Birincil Enerji Tüketimi kWh/m <sup>2</sup>	Yıllık CO <sub>2</sub> Emisyonu Kg/m <sup>2</sup>	Enerji Maliyeti TL/m <sup>2</sup>
S1	B1	6	120,27	132,38	155,60	28,55	16,75
	B2	3	125,07	137,17	158,90	29,37	17,01
	B3	5	58,55	63,38	79,42	13,75	8,88
	B4	5	155,13	172,50	201,70	37,21	21,64
	B5	8	72,93	86,01	104,80	18,53	11,56
	B6	14	46,67	60,32	76,66	12,99	8,69
S2	B1	6	56,50	68,62	85,45	14,78	9,56
	B2	3	38,30	49,41	63,42	10,63	7,23
	B3	5	32,58	37,41	58,29	9,60	6,72
	B4	5	77,66	95,04	116,50	20,48	12,91
	B5	8	45,29	58,85	75,01	12,67	8,52
	B6	14	29,76	43,43	58,08	9,34	6,78
S3	B1	6	56,50	68,62	82,53	11,55	7,61
	B2	3	38,30	49,41	60,58	8,55	5,80
	B3	5	32,58	37,41	55,32	6,73	4,91
	B4	5	77,66	95,04	114,50	17,33	11,16
	B5	8	45,29	58,85	72,64	10,38	7,08
	B6	14	29,76	43,43	56,29	7,56	5,68

Binaların yalıtımsız durumda ortalama ısıl geçirgenlik katsayısı (U Değeri) 1,04 W/m<sup>2</sup>K ve 2,32 W/m<sup>2</sup>K aralığında iken yalıtımlı durumda ortalama ısıl geçirgenlik katsayısı (U Değeri) 0,52 W/m<sup>2</sup>K ve 0,75 W/m<sup>2</sup>K aralığında değişmektedir.

Binaların yalıtımsız durumda CO<sub>2</sub> emisyonları 12,99 kg/m<sup>2</sup> ve 37,21 kg/m<sup>2</sup>, yalıtımlı durumda 9,34 kg/m<sup>2</sup> ve 20,48 kg/m<sup>2</sup>, yalıtımlı ve yenilenebilir güneş enerji sistemlerinin entegre edildiği durumda 6,73 kg/m<sup>2</sup> ve 17,33 kg/m<sup>2</sup> aralığında değişmektedir (Çizelge 3). Binaların toplam CO<sub>2</sub> emisyonları toplam inşaat alanı ile doğru orantılı olarak arttığı gözlenmiştir. B1, B2 ve B4 binaları az katlı bina sınıfında bulunmasına rağmen B3 binasından daha yüksek CO<sub>2</sub> emisyonuna sahip olması; B3 binasının bitişik nizamlı ve küçük taban alanından kaynaklanan enerji tüketiminin düşük olmasıyla ilişkili olabileceği belirlenmiştir.

Binaların yalıtımsız durumda enerji maliyetleri 8,69 TL/m<sup>2</sup> ve 21,64 TL/m<sup>2</sup>, yalıtımlı durumda 6,72 TL/m<sup>2</sup> ve 12,91 TL/m<sup>2</sup>, yalıtımlı ve yenilenebilir güneş enerji sistemlerinin entegre edildiği durumda 5,68 TL/m<sup>2</sup> ve 11,16 TL/m<sup>2</sup> aralığında değişmektedir. Binaların imar durumu ve yakıt maliyetleri arasında doğru orantılı bir ilişki olduğu görülmüştür. Bitişik nizamlı B1, B2 ve B3 binalarının ayrık nizamlı B4, B5 ve B6 binalarına göre yakıt maliyetlerinin daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Binaların yalıtımsız durumda (S1) net ısıtma enerjileri 46,67 kWh/m<sup>2</sup> ve 155,13 kWh/m<sup>2</sup>, yalıtımlı (S2) ve yenilenebilir güneş enerji sistemlerinin entegre edildiği durumda (S3) 29,76 kWh/m<sup>2</sup> ve 77,66 kWh/m<sup>2</sup> aralığında değişmektedir. S2 ve S3 arasında net ısıtma enerjisi tüketimi binaların yalıtım durumu değişmediğinden sabit kalmıştır. Binaların yalıtımlı durumda net ısıtma enerjileri değerlendirildiğinde B6 binasının net ısıtma enerjisinin diğer binalardan düşük olması bina taban alanı ve kat adedine bağlı olarak kullanıcı sayısının fazla olması ve bina kabuğundan kaynaklı ısı kayıplarının az olması ile ilişkilendirilmiştir. B4 binasında net ısıtma enerjisinin yüksek olması ise binanın kompakt olmamasına bağlı olarak artabileceğine dayandırılmaktadır. Binaların yalıtımsız durumda enerji tüketimleri 60,32 kWh/m<sup>2</sup> ve 172,5 kWh/m<sup>2</sup>, yalıtımlı ve yenilenebilir güneş enerji sistemlerinin entegre edildiği durumda 37,41 kWh/m<sup>2</sup> ve 95,04 kWh/m<sup>2</sup> aralığında değişmektedir. Binaların yalıtımlı durumda enerji tüketimleri değerlendirildiğinde B3 binasının enerji tüketiminin diğer binalardan düşük olması bitişik nizamlı inşa edilen binanın taban alanının da küçük olmasıyla ilişkilendirilmiştir. B4 binasında enerji tüketiminin yüksek olması ise mevcut bina planının kompakt olmamasına bağlı olabileceğine dayandırılmaktadır.

Binaların yalıtımsız durumda birincil enerji tüketimleri 76,66 kWh/m<sup>2</sup> ve 201,70 kWh/m<sup>2</sup>, yalıtımlı durumda 58,08 kWh/m<sup>2</sup> ve 116,50 kWh/m<sup>2</sup>, yalıtımlı ve yenilenebilir güneş enerji sistemlerinin entegre edildiği durumda 55,32 kWh/m<sup>2</sup> ve 114,5 kWh/m<sup>2</sup> aralığında değişmektedir (Çizelge 3). B1, B2 ve B4 1-2 katlı binaların yıllık birincil enerji tüketimi, 3-5 katlı B3, B5 ve B6 binalarından yüksek olduğu gözlenmektedir. Betonarme yapı sistemiyle inşa edilen B4 binasında planlamanın kompakt olmaması binanın birincil enerji tüketiminin yüksek olmasına sebep olmaktadır. Betonarme iskelet sistemiyle inşa edilen B3 binasının birincil enerji tüketiminin düşük olması yapı taban alanının küçük ve bitişik nizamlı inşa edilmiş olmasıyla ilişkilendirilmektedir.

## 5. SONUÇLAR

Yapı sektörünün sebep olduğu doğal kaynak kullanımı ve olumsuz çevresel etkiler ile sera gazı salınımı artmaktadır. Bunların neticesinde enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması önem kazanmaktadır. Kırklareli İli yenilenebilir güneş enerji potansiyeli açısından Türkiye'nin az güneş ışınımına sahip bir bölgesinde yer almaktadır. Buna rağmen çalışmada bina kabuğunun doğru tasarımı ve aktif güneş enerji sistemlerinin de binalarda kullanılmasıyla çevresel etkilerin azaltılabileceği vurgulanmak istenmiştir.

Elde edilen sonuçlarda binaların yalıtımsız ve yalıtımlı durumları arasında enerji tüketimi ve çevresel etkileri oldukça değişmektedir. Senaryo 1 ve 2 arasında binaların ısı geçirgenliklerinde (U değeri) %38-73, yıllık net ısıtma enerjilerinde %36-70, enerji tüketimlerinde ise %28-64 oranında tasarruf sağlandığı görülmüştür. Ayrıca renovasyon ile yalıtımlı duruma getirilen binaların ısı geçirgenlikleri (U değerleri) dikkate alındığında TS 825 Isı Yalıtım Kuralları Standardına göre 3. Bölgede bulunan yalıtımlı binalar için tavsiye edilen U değerleri sınırları içerisinde kaldığı gözlenmektedir (Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, 2008).

Binaların yalıtımsız durumda yıllık enerji tüketimleri değerlendirildiğinde 60,32 kWh/m<sup>2</sup> ve 172,5 kWh/m<sup>2</sup> aralığında kaldığı görülmektedir. Yalıtımlı ve yenilenebilir enerji sistemlerinin entegre edildiği durumda B2, B3 ve B6 binalarında enerji tüketimlerinin 37,41 kWh/m<sup>2</sup> ve 95,04 kWh/m<sup>2</sup> aralığında olduğu görülmektedir (Çizelge 3).

Binaların enerji tüketimlerine bağlı olarak gerçekleşen karbon salınımları bina büyüklüğü ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Ancak doğru yenilenebilir enerji kaynakları tasarımı ile binaların karbon salınımları azaltmak mümkündür.

Bu çalışmanın sonucunda binaların Senaryo 1 ve 2 karşılaştırıldığında yıllık birincil enerji tüketiminde, yıllık CO<sub>2</sub> emisyonunda, enerji maliyetlerinde kullanılan kaynağa göre fosil kaynakta (doğalgaz) %32 ile %67, yıllık toplam enerji tüketimleri değerlendirildiğinde ise %29 ile %64 oranında iyileşme sağlandığı görülmektedir.

Binaların Senaryo 2 ve 3 karşılaştırıldığında ise yıllık birincil enerji tüketiminde, yıllık CO<sub>2</sub> emisyonunda, enerji maliyetlerinde kullanılan kaynağa göre fosil kaynakta (doğalgaz) %17 ile %32, yıllık toplam enerji tüketimleri değerlendirildiğinde ise %16 ile %30 oranında iyileşme sağlandığı görülmektedir.

Binaların Senaryo 1 ve 3 karşılaştırıldığında yıllık birincil enerji tüketiminde, yıllık CO<sub>2</sub> emisyonunda, enerji maliyetlerinde kullanılan kaynağa göre fosil kaynakta (doğalgaz) %45 ile %70, yıllık toplam enerji tüketimleri değerlendirildiğinde ise %35 ile %65 oranında iyileşme sağlandığı görülmektedir.

Binalarda kullanılan yenilenebilir güneş enerji sistemlerinde binaların imar durumlarının (ayrık/bitişik) ve bina toplam yüzey alanının (kat adedi) binaların ısı kazanımlarında etkili olduğu görülmektedir. Bu nedenle çok katlı betonarme yapılarda yenilenebilir güneş enerji sistemlerine etkisinin daha fazla olduğu belirlenmiştir.

## KAYNAKLAR

Alparslan, Bengü, "Ekoloji Tasarım Ölçütleri Kapsamında Ankara'da Örnek Bir Yapı Tasarımı ve Değerlendirmesi", Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2010, Türkiye.

Altınöz, Meryem, Binaların Çevresel Etkilerinin Enerji Verimliliği ve Karbon Ayak İzi Açısından İncelenmesi: Kırklareli Örneği, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tamamlanmış Yüksek lisans tezi, s:3, 51-56, 60-79, 80, 2019, Edirne.

Bellido Montesinos, Pablo; Lozano Galant, Fidel; Castilla, Francisco Javier and Lozano Galant, Jose Antonio, "Experiences learned from an international BIM contest: Software use and information workflow analysis to be published in: Journal of Building Engineering", Journal of Building Engineering 21, 2019, p.149-157. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.10.012>

Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, Türk standartları Enstitüsü, (2008), Ankara Türkiye.  
Csun Solar, Polikristal Güneş Kollektörü, 2017  
<http://www.chinasunergy.com/product/csun-275-60p>, Erişim Tarihi: 26.09.2019 Erişim Saati: 11: 20

European Commission, PVGIS-Grid Connected, 2017b, [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html#PVP](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#PVP), Erişim Tarihi: 26.09.2019 Erişim Saati: 11: 20

European Commission, PVGIS-Monthly Data, 2017a, [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html#MR](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#MR), Erişim Tarihi: 26.09.2019 Erişim Saati: 11: 20

Graphisoft, Archicad, 2019, <https://www.graphisoft.com/archicad/>, Erişim Tarihi:  
26.09.2019 Erişim Saati: 11: 20

International Energy Agency (IEA), “Key Word Energy Statistics”, 2018 s 2, 18, 19, 21.  
International Energy Agency (IEA), “Turkey”, 2016a,  
<https://euagenda.eu/upload/publications/untitled-69960-ea.pdf>, Erişim Tarihi:  
26.09.2019 Erişim Saati: 11: 20

İlhan, Bahriye ve Yaman, Hakan, “Green building assessment tool (GBAT) for integrated BIM-based design decisions”, Automation in Construction 70, 2016, p. 26-37. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2016.05.001>

Karaca, Ülger Bulut ve Uçar, Setenay, “Konut çatı ve cephelerinde farklı fotovoltaik sistem uygulamalarının değerlendirilmesi”, Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 19(2), 2018, s.65-76 ISSN 2147–0308

Kardinal Jusuf, Steve; Mousseau, Benjamin; Godfroid, Gaele and Soh Jin Hui, Vincent, “Integrated modeling of CityGML and IFC for city/neighborhood development for urban microclimates analysis”, Energy Procedia 122, 2017, p.145-150. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.329>

Kocakaya, Habib, Güneş Paneli Üretim Tesisi Analizi, 2012  
[http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya\\_ekler/ba5492f3bc2f401\\_ek.pdf?tipi](http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/ba5492f3bc2f401_ek.pdf?tipi), Erişim Tarihi: 26.09.2019 Erişim Saati: 11: 20

Mahdi Tahmasebi, Mohammed; Banihashemi Saeed and Shakouri Hassanabadi, Mahmoud, “Assessment of the variation impacts of window on energy consumption and carbon footprint”, Procedia Engineering 21, 2011, p.820-828. doi:10.1016/j.proeng.2011.11.2083

MGM, Isıtma ve Soğutma Gün Dereceleri, 2018a  
<https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/gun-derece.aspx?q=yillik&m=06-00&y=2018&a=10#>, Erişim Tarihi: 26.09.2019 Erişim Saati: 11: 20

MGM, Kırklareli Resmi İstatistikler, 2018b,  
<https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=undefined&m=KIRKLARELI>, Erişim Tarihi: 26.09.2019 Erişim Saati: 11:20

MGM, Yıllık Ortalama Günlük Güneşlenme Süresi, 2017  
<https://mgm.gov.tr/kurumici/turkiye-guneslenme-suresi.aspx>, Erişim Tarihi: 26.09.2019 Erişim Saati: 11: 20

Mohajeri, Nahid; Assouline, Dan; Guiboud, Berenice; Bill, Andreas; Gudmundsson, Agust and Scartezini, Jean-Louis, “A city scale roof shape classification using machine learning for solar energy applications”, Renewable Energy 121, 2018, p.81-93 <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.12.096>

Movahhed, Yasin; Safari Amir; Motamedi, Sina and Haghighi Khoshkhoo, Ramin, “Simultaneous use of PV system and green roof: A techno-economic study on power generation and energy consumption”, Energy Procedia 159, 2019, p.478-483. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.12.037>

Popa, Larisa- Georgiana and Brumaru, Mariana, "Optimizing buildings energy performance though photovoltaic panel integration within a mobile shading system", *Procedia Manufacturing* 22, 2018, p.765-772  
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.109>

Poulek, Vladislav; Matuska, Tomas; Libra, Martin; Kachalouski, E. And Sedlacek, Jan, "Influence of increased temperature on energy production of roof integrated PV panels", *Energy&Building* 166, 2018, p.418-425.  
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.01.063>

Saretta, Erika; Caputo, Paola and Frontini Francesco, "A review study about energy renovation of building facades with BIPV in urban environment", *Sustainable Cities and Society* 44, 2019, p.343-355. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.10.002>

Save Energy, Enerji Tasarruflu Güneş Kollektörü, 2018  
<https://saveenergysolar.com/producto/calnetador-solar-save-energy/>, Erişim Tarihi: 26.09.2019 Erişim Saati: 11: 20

Sendy, Andrew, Monokristal ve Polikristal Güneş Panelleri Artıları ve Eksileri, 2019, <https://www.solarreviews.com/blog/pros-and-cons-of-monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels>, Erişim Tarihi: 26.09.2019 Erişim Saati: 11: 20  
The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), "Climate Change Synthesis Report", 2014,  
[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_wcover.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf), Erişim Tarihi: 26.09.2019 Erişim Saati: 11: 20

TÜİK, 2018 <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr>, Erişim Tarihi: 26.09.2019 Erişim Saati: 11: 20

TÜİK, 2019 Erişim Linki: <https://biruni.tuik.gov.tr/yapiizin/giris.zul>, Erişim Tarihi: 26.09.2019 Erişim Saati: 11: 20

YEGM, Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası, 2017, <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/pages/39.aspx>, Erişim Tarihi: 26.09.2019 Erişim Saati: 11: 20

Yeşil Bina Dergisi,2012, Sayı 14 [http://www.yesilbinadergisi.com/yayin/708/yuksek-verimli-gunes-kolektoru-buderus-sks-4-0\\_21367.html#.XeJS2egzZPY](http://www.yesilbinadergisi.com/yayin/708/yuksek-verimli-gunes-kolektoru-buderus-sks-4-0_21367.html#.XeJS2egzZPY), Erişim Tarihi: 26.09.2019 Erişim Saati: 11: 20

Zuhur, Sadık; Ceylan İlhan and Ergün, Alper, "Energy, exergy and environmental impact analysis of concentrated PV/cooling system in Turkey", *Solar Energy* 180, 2019, p.567-574. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.01.060>