



**Bu bir MMO
yayıdır**

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

PV SİSTEMİN ÇATI YÜZEYİNDE VE CEPHEDE GÖLGELEME ELEMANI OLARAK KULLANIMININ BİR OFİS BİNASININ ENERJİ PERFORMANSINA ETKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

**A. UMUR GÖKSU
GÜLAY ZORER GEDİK
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**



PV SİSTEMİN ÇATI YÜZEYİNDE VE CEPHEDE GÖLGELEME ELEMANI OLARAK KULLANIMININ BİR OFİS BİNASININ ENERJİ PERFORMANSINA ETKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Evaluation of the Energy Performance of an Office Building using the PV System on the Roof and the Facade as a Shading Device

A. Umur GÖKSU
Gülay ZORER GEDİK

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, orta ölçekli bir ofis binasında aynı yüzey alanına sahip PV sistemin, binanın çatısında sadece aktif bir sistem olarak kullanılması ile binanın cephesinde pasif sistem olan gölgeleme elemanı olarak kullanılmasının binanın enerji performansına etkisinin karşılaştırılarak değerlendirilmesidir.

Çalışmadan beklenen, aynı PV sisteme yapı kabuğunda ikincil bir işlev tanınarak binanın enerji performansının artırılmasıdır. Hem aktif hem de pasif bir sistem olarak tasarlanan bu bütünleşik sistemin mimar ve mühendis ortak çalışması sonucunda, geleceğe yönelik enerji endişelerimiz altında, potansiyeli ortaya konulacaktır.

Çalışma kapsamında, referans bir ofis binası tasarlanmış ardından gölgeleme elemanı ile bütünleşik PV sistem uygulaması ve çatıda PV sistem uygulaması yapılmıştır. Binanın enerji performansının değerlendirilmesinde energy plus tabanlı bir simülasyon programı kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: BAPV sistem, BIPV sistem, gölgeleme elemanı, bina enerji performansı, bütünleşik tasarım.

ABSTRACT

The purpose of this study is to evaluate the use of a PV system with the same surface area in a medium sized office building as a BAPV system and as a BIPV system by comparing the effect on the energy performance of the building. In this study, BAPV system is an active system on the roof of the building and BIPV system is an active and passive system as a shading device on the façade of the building.

It is expected to increase the energy performance of the building by giving a secondary function on the building envelope of the same PV system. This integrated system, designed as both an active and a passive system, will be revealed as a potential result of joint engineering and engineering work. This integrated system is expected to be a solution to our future energy concerns.

Within the scope of the study, the reference office building is designed. Then the PV system integrated with the shading element application on the front of the building and the PV system application on the roof of the building were performed. An energy plus based simulation program was used to evaluate the energy performance of the building.

Key Words: BAPV system, BIPV system, shading device, building energy performance, integrated design.

1. GİRİŞ

Enerji sorunu çağımızın en büyük sorunlarından biridir. Petrol, doğalgaz ve kömür gibi fosil kaynaklı yakıt türleri tükenmektedir. Aynı zamanda fosil yakıtlar çevre kirliliğine de neden olmaktadır. Bu enerji kaynaklarının bazı ülkelerin denetiminde olması enerji sorununu oluşturan bir diğer sebeptir. Yenilenebilir enerji kaynakları, enerji sorununa çözüm olarak görülmektedir.

PV sistemler, yenilenebilir enerji kaynaklarından en büyüğü olan güneş enerjisinden elektrik üretmektedir. PV sistemler binalarda kullanılabilir. PV sistemlerin binalarda kullanımı ile binalar kendi tükettikleri enerjiyi üretebilir ve kullandığından fazlasını da üreterek şebekeye satabilir. Dünyada üretilen enerjinin büyük bir kısmını tüketen konutların, kendi enerjilerini üretebilmesi ekonomiye ve enerji sorununa büyük katkılar sağlayabilir.

PV sistemlerin binalarda kullanım biçimi iki türdür. BAPV (Building Applied PhotoVoltaic- Binaya Eklenmiş FotoVoltaik) olarak bilinen kullanım biçiminde PV sistem binaya eklenir. BAPV sistem sadece aktif bir sistem olarak tasarlanır ve amacı enerji üretmektir. İkinci kullanım biçimi olan BIPV (Building Integrated PhotoVoltaic-Binaya Entegre FotoVoltaik) sistem ise binanın bir parçasıdır. BIPV sistem hem pasif hem de aktif bir sistem olarak tasarlanır. BIPV sistem enerji üretmenin yanında binada ikinci bir işlev üstlenir. BIPV sistemler binada gölgeleme elemanı, parapet, korkuluk, cephe kaplaması gibi işlevler üstlenebilir.

Binalarda PV kullanımı üzerine; binalarda güneş enerjisi ile çalışan aktif sistemler [1], PV sistemlerin binalarda kullanımında enerji performanslarını etkileyen değişkenler [2], PV sistemlerin binalarla birleşim biçimleri [3], gölgeleme elemanı olarak PV kullanımı [4] gibi konuları içeren çalışmalar bulunmaktadır. Mimarların ele aldığı çalışmaların çoğunda PV sistemlerin binalarda kullanım biçimi, PV sistemlerle ilgili genel bilgiler ve PV sistemin ürettiği enerjinin binanın enerji tüketimi ile karşılaştırılması gibi konular incelenmektedir. Sadece mühendislik açısından ele alınan çalışmaların çoğunda ise PV sistem tasarımı ve PV sistem verimliliği ile ilgili teknik konular [5] incelenmektedir.

Bu çalışmanın amacı, orta ölçekli bir ofis binasında aynı yüzey alanına sahip PV sistemin, binanın çatısında aktif bir sistem olarak kullanılması ile binanın cephesinde pasif sistem olan gölgeleme elemanı olarak kullanılmasının binanın enerji performansına etkisinin karşılaştırılarak değerlendirilmesidir.

Çalışmadan beklenen, aynı PV sisteme yapı kabuğunda ikincil bir işlev tanınarak binanın enerji performansının artırıldığı ortaya konulmasıdır.

BAPV sistem mühendislik çalışması olarak, BIPV sistem ise mimar mühendis işbirliği gibi görülebilir. Bu çalışma BIPV sistemin önemine vurgu yapacaktır. BIPV sistemler arasında gölgeleme elemanı olarak kullanım, binanın enerji performansını doğrudan etkileyen bir kullanım biçimidir. PV sistemler ile ilgili yerel çalışmalar oldukça önemlidir çünkü sistem verimleri konumdan konuma göre farklılıklar gösterebilir. Türkiye’de PV sistemler üzerine yapılan çalışmalar sınırlıdır. Bu çalışmada gölgeleme elemanı olarak BIPV sistem kullanılarak, bu eksikliği gidermeye yönelik örnek bir çalışma yapılmıştır.

2. YÖNTEM

Çalışmanın yöntemi, çalışılacak iklim bölgelerinin tanımlanması, referans binanın tasarlanması ve senaryoların oluşturulmasından şeklindedir.

2.1. İklim Bölgelerinin Tanımlanması

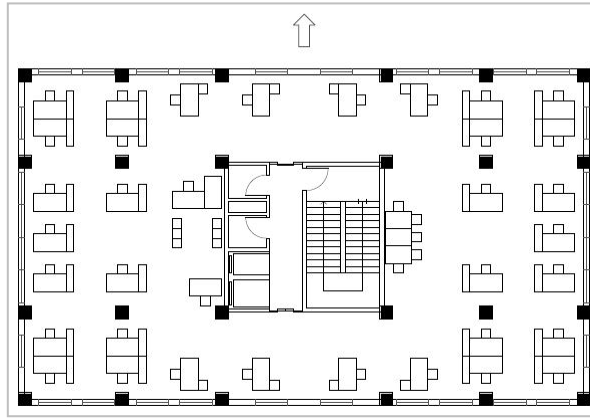
Çalışma kapsamında Türkiye’den Antalya ve İstanbul illeri üzerinde çalışılmıştır. İl seçimi yapılırken güneş ışınım değerlerinin az ve çok olduğu aynı zamanda farklı iklim bölgelerinde olması istenmiştir. Bu sayede farklı yerlerdeki sonuçlar karşılaştırılarak konumsal açıdan genelleme yapılabilmesi beklenmektedir. Antalya ili sıcak nemli iklim bölgesinde ve güneş ışınım değerlerinin (Akdeniz

Bölgesi'nde toplam güneş enerjisi 1390 kWh/m²-yıl) [6] yüksek olduğu bir konumdur. İstanbul ili ise ılımlı nemli iklim bölgesinde ve güneş ışınım değerlerinin (Marmara Bölgesi'nde toplam güneş enerjisi 1168 kWh/m²-yıl) [6] düşük olduğu konumdur.

2.2. Referans Bina Tasarımı

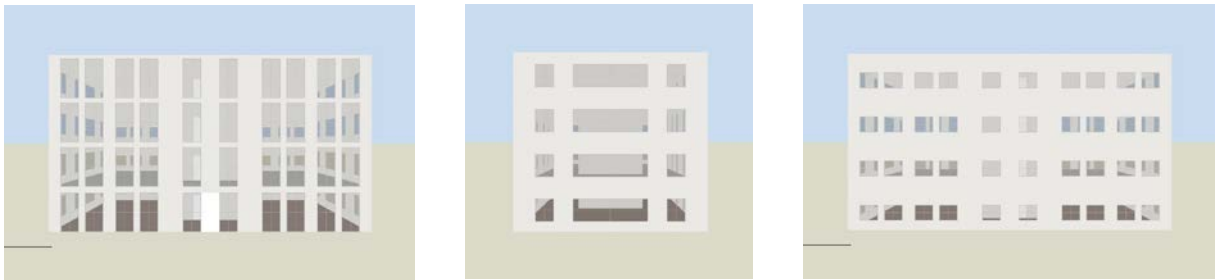
Referans bina, çalışmanın yapıldığı yerdeki yönetmeliklere ve iklim özelliklerine bağlı olarak tasarlanan sanal bir binadır. Bina tipi olarak ofis binası seçilmiştir. Bunun nedeni, ofis binasının kullanım saatlerinin çalışmada yer alan PV sistem ve gölgeleme elemanlarının etkin olduğu saatleri içine almasıdır.

Bina biçim oranı olarak 1'e 1,7 alınmıştır. Bu oran iklime uyumlu tasarım açısından, her iki ilin iklim bölgesi için de önerilen ortak orandır [7]. İmar yönetmeliği [8] gerekliliklerine uyularak açık ofis tipi kat planı tasarlanmıştır. Orta ölçekli bir ofis binası olarak 4 katlı tasarlanan binanın tüm kat planları aynıdır. Ofis binasının toplam alanı 1636 m²'dir. Referans binanın doğu batı doğrultusunda konumlandırıldığı ve geniş cephesinin güneye baktığı kabul edilmiştir. Şekil 1'de kat planı verilmiştir.



Şekil 1. Referans ofis binası normal kat planı.

Türkiye şartlarında genelde yönlere bağlı olarak önerilen saydamlık oranlarının kullanılmasına karar verilmiştir. Bu durumda güney cephesinde %50, doğu ve batı cephelerinde %30 ve kuzey cephesinde %20 saydamlık oranı kullanılmıştır. Şekil 2'de referans binanın cephe görünüşleri verilmiştir.



Şekil 2. Referans ofis binası (soldan sağa) güney cephesi, yan cepheler ve kuzey cephesi.

Antalya ve İstanbul illeri için tasarlanan tek farklılık kesit U değerleridir. Referans bina tasarımında iki il arası farklılıklar azaltılarak sonuçların daha doğru karşılaştırılabilmesi amaçlanmıştır. Referans ofis binasının kesiti oluşturulurken TS825'de derece gün bölgeleri için önerilen U değerlerinin üst sınırı [K] alınmıştır.

Ofisin kullanım aralığı hafta içi günleri 8:30 ve 18:30 olarak kabul edilmiştir.

Referans ofis binasının, kullanılan simülasyon programında tanımlanması gereken etkinlik ile ilgili değişkenleri Tablo 1'de verilmiştir. Burada verilen değişkenler açık ofis mahalinin değişkenleridir.

Tablo 1. Simülasyon programında etkinlik değişkenleri ile ilgili yapılan seçimler

Etkinlik düzeneği:	Genel ofis alanı
Yoğunluk:	0,12 kişi/m ²
Metabolizma etkinliği: Etkinlik tipi Etkinlik değeri Giyim	Hafif ofis işi, oturarak, yürüyerek 0,90 met Kışın 1,00 clo, yazın 0,50 clo
Sıcak kullanım suyu tüketimi:	0,20 l/m ² -günlük
Çevresel kontrol: Isıtma ayar sıcaklıkları Soğutma ayar sıcaklıkları En az temiz hava gereksinimi Havalandırma ayar sıcaklıkları (Doğal havalandırma, İç mekanda en az sıcaklık kontrolü)	Isıtma 20°C, geri ısıtma 12°C Soğutma 26°C, geri soğutma 28°C 10 l/s-kişi 24°C
Aydınlatma gereksinimi:	400 lux
İç kazançlar:	10 W/m ² (5 W/m ² bilgisayarlar ve 5 W/m ² ofis ekipmanları)

HVAC (Isıtma-havalandırma-İklimlendirme) sistem seçimleri Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Simülasyon programında HVAC değişkenleri ile ilgili yapılan seçimler

HVAC düzeneği:	FCU (4 borulu), Air cooled chiller
Mekanik havalandırma: Ekonomizör Isı geri kazanımı, türü	Açık Kapalı Açık, entalpi
Isıtma: Yakıt türü Isıtma sistemi mevsimlik CoP	Açık Doğalgaz 0,83
Soğutma: Yakıt türü Soğutma sistemi mevsimlik CoP	Açık Elektrik 1,67
Sıcak kullanım suyu: (wc’lerde) Türü Yakıt türü Sıcak kullanım suyu mevsimlik CoP Su ısıtma noktası	Açık Sadece anlık sıcak su Doğalgaz 0,85 55°C
Doğal havalandırma: Dış hava (ac/h) Dış hava sıcaklık limiti	Açık 1,50 Açık

Referans binanın kabullerinden bir diğeri ise ayrıık nizamda, orta ölçekli binaların bulunduğu bir dış mekânda yer alması ve yapma çevre ve doğal çevreden gölge almamasıdır.

2.3. Senaryolar

Çalışma kapsamında üç senaryo oluşturulmuştur. İlk senaryo referans binada herhangi bir PV sistem kullanılmadan mevcut durumun enerji yüklerinin hesaplanmasıdır. İkinci senaryo, BAPV sistem olarak çatıda PV sistem kullanılarak enerji yüklerinin hesaplanmasıdır. Üçüncü senaryo ise, BIPV sistem olarak cephede gölgeleme elemanı olarak PV sistem kullanılarak enerji yüklerinin hesaplanmasıdır.

İkinci senaryo ile üçüncü senaryo arasındaki ilişki, kullanılan PV sistemin eş ve aynı yüzey alanına sahip olmasıdır. Üçüncü senaryoda gölgeleme elemanı olarak kullanılan PV sistem alanına göre ikinci senaryoda aynı PV sistem alanı kullanılmaktadır.

2.3.1 Senaryo1

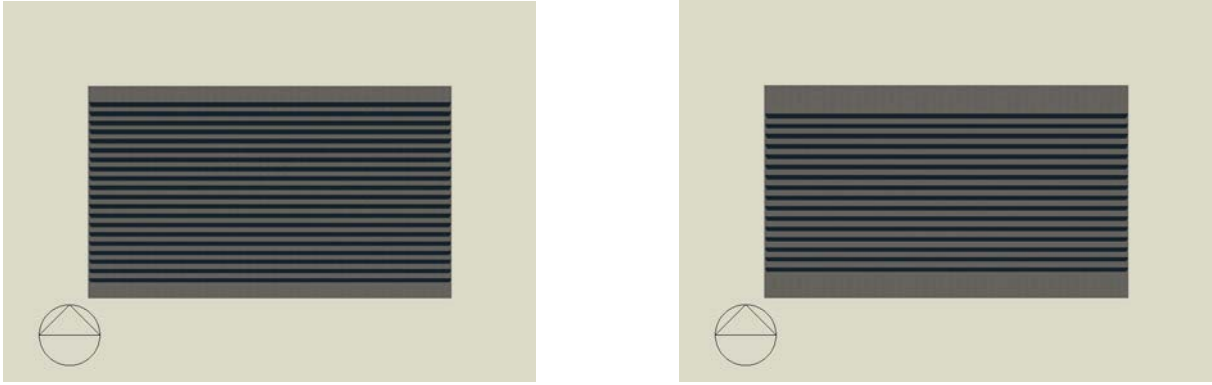
İlk senaryo referans ofis binasının pasif veya aktif herhangi bir ekleme yapılmadan, binanın toplam enerji tüketimi hakkında bilgi vermektedir. Diğer senaryolardaki BAPV ve BIPV sistemlerin etkisinin gözlemleneceği referans toplam enerji tüketimini gösterecektir.

2.3.2 Senaryo2

İkinci senaryoda, gölgeleme elemanı olarak PV kullanımı senaryosundaki aktif PV alanı kadar PV sistem, çatıya yerleştirilmiştir. Bu senaryo BAPV sistem uygulamasıdır. PV sistemler referans binanın teras çatısına sadece elektrik üretmek için eklenmiştir.

BIPV senaryosunda olduğu gibi bu senaryoda da PV sistem güneşe bakmaktadır ve eğim açısı olarak 30° kabul edilmiştir. Ayrıca PV modül tipi olarak shellst40 modeli kullanılarak PV sistemler açısından şartların eşit olması sağlanmıştır.

PV sistem verimliliğinin düşmemesi için PV sistemler arası gölgeleme mesafesi hesaplanarak çatıda PV sistem dizilim planı oluşturulmuştur. Referans binanın teras çatısında PV sisteme gölge atmayan şeffaf parapet uygulandığı varsayılmıştır. Şekil 3'de Antalya ve İstanbul'daki çatıda PV dizilim planı gösterilmektedir.



Şekil 3. Antalya (sol) ve İstanbul'daki (sağ) çatıda PV dizilim planı

İstanbul'daki referans binada uygulanması gereken BAPV sistem aktif alanı 134,4 m²'dir. Kuzey güney aksında sıralama için bırakılması gereken gölgeleme mesafesi 74 cm hesaplanmıştır.

Antalya'daki referans binada uygulanması gereken BAPV sistem aktif alanı 168 m²'dir. Kuzey güney aksında sıralama için bırakılması gereken gölgeleme mesafesi 67 cm hesaplanmıştır.

2.3.3 Senaryo3

Üçüncü senaryoda, güney cephesinde PV sistem ile bütünleşik yatay gölgeleme elemanı tasarımı yapılmıştır. Bu uygulamanın güney cephesinde yapılmasının sebeplerinden birisi, gölgeleme elemanı açısından, güney cephesinin doğrudan güneş ışınımı aldığı saat aralığının geniş olması ve bu sebeple güneşten korunma istenen saat aralığının da fazla olmasıdır. İkinci sebebi, PV sistem açısından, PV sistemlerin en verimli çalıştığı yönün güney olmasıdır. Gölgeleme elemanı olarak kullanılacak PV sistem tasarımı hem PV sistem verimlilik gereksinimlerine hem de gölgeleme elemanından beklenen özelliklere göre ortak tasarlanmalıdır.

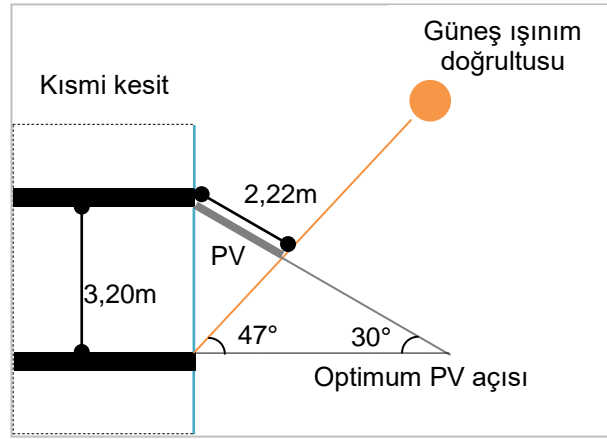
Güney cephesinde, güneşin hareketinden dolayı tasarlanabilecek gölgeleme elemanı tipi yatay tiptir. Gölgeleme elemanı görsel konfor açısından rahatsızlık veren doğrultulu güneş ışınımını engellemenin yanında güneşin ısıtıcı etkisini de engellemiş olur ve soğutma yüklerini düşürür. Enerji açısından yapılan bu çalışmada güneşin ısıtıcı etkisini engellemek gölgeleme elemanın asıl hedefidir.

Soğutma yüklerinin baskın olduğu dönemde güneşten korunmayı sağlamalı fakat ısıtma yüklerinin baskın olduğu dönemde güneşin ısıtıcı etkisini engellememelidir.

PV sistem ile bütünleşik yatay gölgeleme elemanı (BIPV sistem) tasarımı için oluşturulan 5 aşamalı bir yaklaşım [9] kullanılmıştır. Yaklaşımın aşamaları:

1. Birinci aşamada, yılın hangi döneminde PV etkinliğinden yararlanılmak istendiği belirlenerek, optimum PV eğim açısına karar verilir,
2. İkinci aşama, ilk aşamada açılal doğrultusuna karar verilen gölgeleme elemanının, cephedeki saydam alanı istenen dönemde güneşten korunmasını sağlayacak sınır ölçülerini veren karakteristik gün ve saate karar verilir,
3. Üçüncü aşamada ise karakteristik gün ve saatteki güneşin yükseklik açısını bulma yoluyla yatay gölgeleme elemanının cepheden dışa doğru olan uzunluk ölçüsü bulunur,
4. Dördüncü aşamada PV sistem ile bütünleştirilmiş gölgeleme elemanı tasarımının görsel verim açısından denetimi yapılır.
5. Beşinci aşamada, bulunan boyutların istenen PV tipi ile oluşturulup oluşturulamayacağı denetlenir.

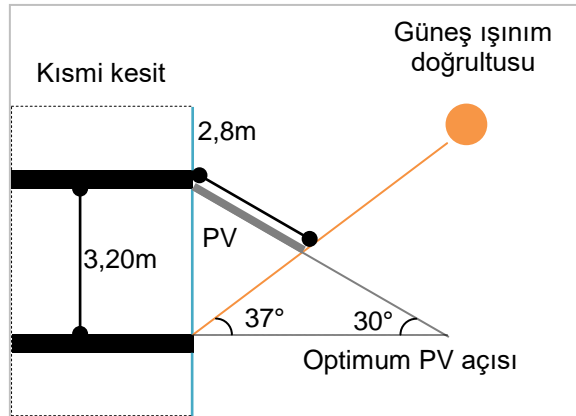
İstanbul'daki referans bina için tasarlanan BIPV sistem şekil 4'de şematize edilerek gösterilmiştir.



Şekil 4. İstanbul'daki referans bina için tasarlanan BIPV sistem

İstanbul'daki bina için tasarım aşamalarında, PV sistemden tüm yıl boyunca yararlanılmak istendiği, optimum PV açısının Türkiye için 30° (tüm yıl kullanımı için) olduğu, güneşten korunma istenen dönemin 1 haziran ile 1 ekim arası ve karakteristik tarihin 1 ekim saat 12 olduğu kabul edilmiştir. BIPV sistem her bir pencerede 1,5m genişliğinde, 2,2m uzunluğunda ve 3,33 m² alana sahiptir.

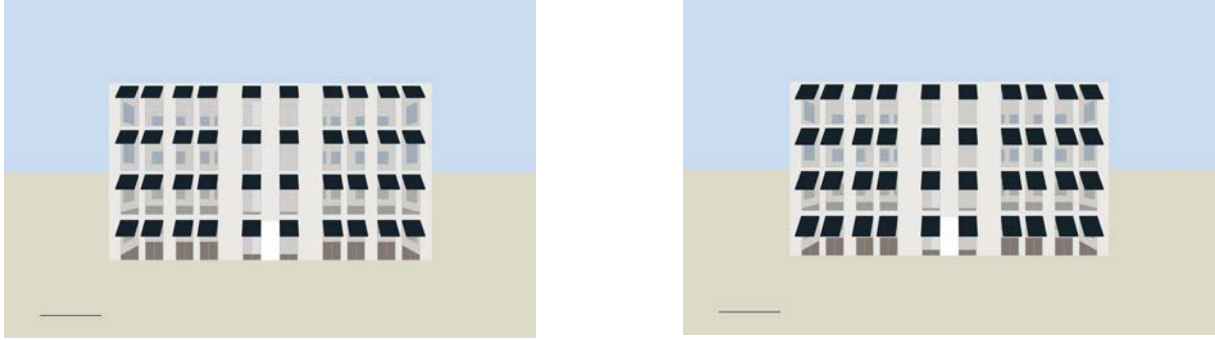
Antalya'daki referans bina için tasarlanan BIPV sistem şekil 5'de şematize edilerek gösterilmiştir.



Şekil 5. Antalya'daki referans bina için tasarlanan BIPV sistem

Antalya'daki bina için tasarım aşamalarında, PV sistemden tüm yıl boyunca yararlanılmak istendiği, optimum PV açısının Türkiye için 30° (tüm yıl kullanımı için) olduğu, güneşten korunma istenen dönemin 1 Mayıs ile 1 Kasım arası ve karakteristik tarihin 1 Kasım saat 12 olduğu kabul edilmiştir. BIPV sistem her bir pencerede 1,5m genişliğinde, 2,8m uzunluğunda ve $4,2 \text{ m}^2$ alana sahiptir.

İstanbul ve Antalya'daki referans binada BIPV sistem uygulamasının görüntüsü Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. İstanbul (sağ) ve Antalya'da (sol) BIPV sistem uygulama görüntüleri

Simülasyon programında kullanılan PV modülün genel özellikleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Simülasyon programında kullanılan PV modülün genel özellikleri

Genel bilgiler	Shell ST40
Hücre tipi	Kristalize Silikon
Seri bağlı hücre sayısı	36
Aktif alan (m^2)	0,42
Geçirgenlik soğurma sonucu	0,90
Yarıiletken bant aralığı (eV)	1,12
Paralel bağlı direnç (ohms)	1000000,00
Referans sıcaklık ($^\circ\text{C}$)	25,00
Referans güneş alımı (W/m^2)	1000,00
Modül ısı kayıp katsayısı ($\text{W}/\text{m}^2\text{-K}$)	30,00
Toplam ısı kapasitesi ($\text{J}/\text{m}^2\text{-K}$)	50000,00
Elektrik güç çıkış puanı (W)	48000,00

Simülasyon programında PV sistem kullanımı aktif alan üzerinden tanımlanmıştır. Seçilen PV modülün aktif alanı $0,42\text{m}^2$ 'dir. İstanbul örneğinde her bir gölgeleme elemanı üzerinde 8 modül, Antalya'da ise 10 modül kullanılmıştır.

3. ENERJİ PERFORMANS ANALİZLERİ VE DEĞERLENDİRME

Simülasyon programında hesaplatılan süre 8760 saattir (1 yıl). İklimlendirilen bina alanı başına enerji (kWh/m^2) şeklindeki enerji performans sonuçları üzerinden değerlendirilme yapılmıştır. Bu değerlendirme biçimi, iklimlendirilen binanın m^2 başına şebekeden kullandığı enerji tüketimini verir. Toplam enerji, binanın tüm enerji tüketen sistemlerinin toplam tüketimini gösteren enerji değeridir. Net enerji, binada enerji üreten bir sistem varsa toplam tüketilen enerji miktarından üretilen enerji miktarının çıkartılmasıyla elde edilen enerji değeridir. Sonuçlarda toplam enerji tüketimi, net enerji tüketimi, PV sistem enerji üretimi, ısıtma yükü, soğutma yükü ve aydınlatma yükleri verilmiştir.

Senaryo 1'in enerji simülasyon sonuçları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Senaryo 1'in enerji simülasyon sonuçları

* kWh/m ²	Antalya	İstanbul
m ² başına toplam enerji tüketimi	131.37*	123.64*
m ² başına net enerji tüketimi	131.37*	123.64*
PV sistem enerji üretimi	-	-
Isıtma yükü	2.34*	20.49*
Soğutma yükü	87.14*	60.02*
Aydınlatma yükü	7.31*	8.44*

Senaryo 1'de PV sistem kullanılmadığı için toplam enerji tüketimi net enerji tüketimine eşittir. İstanbul'daki referans binanın net enerji tüketimi 123,64 kWh/m² hesaplanmıştır. Antalya'daki referans binanın net enerji tüketimi 131.37 kWh/m² hesaplanmıştır. Antalya'da soğutma döneminin baskınlığından dolayı net enerji tüketimi İstanbul'dan 7,73 kWh/m² daha fazladır.

Senaryo 2'nin enerji simülasyon sonuçları Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Senaryo 1'in enerji simülasyon sonuçları

	Antalya	İstanbul
m ² başına toplam enerji tüketimi	130.35	123.13
m ² başına net enerji tüketimi	116.80	114.25
PV sistem enerji üretimi	13.55	8.88
Isıtma yükü	2.44	20.56
Soğutma yükü	86.03	59.44
Aydınlatma yükü	7.31	8.44

Senaryo 2'de referans binanın çatısında PV sistem kullanıldığı için toplam enerji tüketimi net enerji tüketiminden fazla olmuştur. İstanbul'daki referans binanın net enerji tüketimi 114,25 kWh/m² hesaplanmıştır. Antalya'daki referans binanın net enerji tüketimi 116,80 kWh/m² hesaplanmıştır. Antalya'da net enerji tüketimi İstanbul'dan 2,55 kWh/m² daha fazladır. Senaryo 1'e göre senaryo 2'de İstanbul ile Antalya arasındaki net enerji tüketim farkı azalmıştır. Bu durumun sebebi PV sistem alanının Antalya'da daha fazla olması ve iklim-güneş ışınım değerlerinden dolayı PV sistemden üretilen enerjinin daha fazla olması şeklinde yorumlanabilir.

Senaryo 2'nin PV sistemin ürettiği enerjiyi hesaba katmayan toplam enerji tüketimleri senaryo 1'dekinden farklıdır. Senaryo 1'in ve senaryo 2'nin toplam enerji tüketimleri arasında, Antalya'da 1,02 kWh/m², İstanbul'da ise 0,51 kWh/m² fark vardır. Bu farklar çatıya uygulanan PV sistemlerin öngörülme pasif etkileridir. İhmal edilebilecek miktarda oluşan bu farklar, PV sistemin çatı yüzeyini gölgelendirme etkisi ile oluştuğu açıklanabilir.

Senaryo 3'ün enerji simülasyon sonuçları Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Senaryo 1'in enerji simülasyon sonuçları

	Antalya	İstanbul
m ² başına toplam enerji tüketimi	117.52	114.41
m ² başına net enerji tüketimi	106.69	107.12
PV sistem enerji üretimi	10.82	7.29
Isıtma yükü	5.22	24.47
Soğutma yükü	70.27	46.51
Aydınlatma yükü	7.46	8.74

Senaryo 3'de referans binanın cephesinde gölgeleme elemanı ile bütünleşik PV sistem kullanıldığı için toplam enerji tüketimi net enerji tüketiminden fazla olmuştur. İstanbul'daki referans binanın net enerji tüketimi 107,12 kWh/m² hesaplanmıştır. Antalya'daki referans binanın net enerji tüketimi 106,69 kWh/m² hesaplanmıştır. Bu sefer Antalya'da net enerji tüketimi İstanbul'dan 0,43 kWh/m² daha azdır.



Senaryo 2'den farklı olarak, senaryo 3'te Antalya'nın İstanbul'a göre daha düşük net enerji tüketimine ulaşabilmesinin sebebi, PV sistemin gölgeleme işlevinin Antalya'da daha etkin olmasıdır. Antalya'da güneşten korunmak istenen dönem aralığı daha geniş olduğu için gölgeleme elemanından daha çok yararlanılmıştır.

PV sistemin ürettiği enerjiyi hesaba katmayan toplam enerji tüketimleri, senaryo 3 ile senaryo 1 arasında farklıdır. Senaryo 1'in ve senaryo 3'ün toplam enerji tüketimleri arasında, Antalya'da 13,85 kWh/m², İstanbul'da ise 9,23 kWh/m² fark vardır. Bu farkları PV sistem ile bütünleşik gölgeleme elemanı pasif olarak sağlamıştır. PV sistemin gölgeleme elemanı işlevi açısından beklenen bir durumdur.

PV sistem enerji üretimi açısından senaryo 2 ve senaryo 3 karşılaştırıldığında, aynı PV alanına sahip olmasına rağmen senaryo 2'deki PV sistemin ürettiği enerji Antalya'da 2,73 kWh/m² ve İstanbul'da 1,59 kWh/m² daha fazladır. Bu durumun sebebi PV sistemin bağlanma biçimleri, çatıda güneş ışınım değerlerinin daha yüksek olması veya gölgeleme elemanları şeklinde kullanılan PV sistemlerin katlar arasında birbirlerine gölge atma olasılığı olabilir.

SONUÇ

Senaryolar, kendi içlerinde incelenip ve aralarında karşılaştırılarak birtakım sonuçlara varılmıştır. Bina enerji performansı açısından, BIPV sistem kullanımına sahip olan senaryo 3 BAPV sistem kullanımına sahip senaryo 2'ye göre daha başarılı sonuç vermiştir. Aynı PV sistem alanının çift işlevli olarak referans binada kullanılması ile net enerji tüketimi daha düşük bina elde edilebilmiştir. Bu durumun en açık sebebi, senaryo 3'te PV sistemin gölgeleme işlevi ile soğutma yüklerini düşürmesidir. BIPV sistem olarak kullanımda hem aktif hem de pasif etkenler net enerji tüketiminin düşürülmesini sağlamıştır. BAPV sistem olarak kullanımda, PV sistemin aktif bir sistem olarak enerji üretimi yoluyla binanın net enerji tüketimi düşürülmüştür. Senaryo 2'de düşük bir pasif etki de olmuştur fakat BAPV sistemin baskın olarak aktif rolü ön plana çıkmaktadır.

İklim bölgeleri arasında karşılaştırma yapıldığında, hem senaryo 2'de hem de senaryo 3'te net enerji tüketimlerinin daha fazla düştüğü görülmüştür. Bu durumun sebebi hem PV sistemin enerji üretimi açısından hem de gölgeleme elemanı etkisi açısından güneş ışınımına bağlıdır. Bu durumda, güneş ışınım değerlerinin daha yüksek olduğu yerlerde BIPV ve BAPV sistemlerin daha verimli çalışabileceği söylenebilir.

BIPV sistemi diğer cephelerde de ve büyük ölçekli, çok katlı binalarda da kullanabiliriz. Sadece enerji üreten bir sistem gözüyle bakılıp çatıya yerleştirilen BAPV sistemlerin çatılarda kullanım alanı sınırlıdır. Küçük ve orta ölçekli binalarda, çatı alanı istenen PV sistem alanı için yeterli olurken, büyük bina boyutlarında cephenin kaldırabileceği kadar PV sistem alanını kaldıramayacak düzeye ulaşacaktır.

Sonuç olarak, binaların enerji ihtiyaçlarını kendilerinin karşılayarak enerji sorununa çözüm oluşturabilmesi için PV sistemlere sadece çatıya yerleştirilen aktif sistemler olarak bakılmamalı, yapı kabuğuna entegre edilerek birden fazla işlevi yerine getirmesi ve kullanım alanının artırılması sağlanmalıdır. BIPV sistemlerin bina tasarımına katılması bütünleşik bir süreçtir, hem mimari açıdan hem de teknik mühendislik bilgisi açısından mimar ve mühendislerin ortak tasarımını gerektirmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Sakınç, E., 2006. Sürdürülebilirlik Bağlamında Mimaride Güneş Enerjili Etken Sistemlerin Tasarım Ögesi Olarak Değerlendirilmesine Yönelik Bir Yaklaşım, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [2] Mangan, S. D., (2014). Yaşam Döngüsü Enerji ve Maliyet Etkinliği Açısından Konut Binalarının Performanslarının Değerlendirilmesinde Kullanılabilecek Bir Yaklaşım, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [3] Yasan, A., 2011. Bina Tasarım Parametrelerinin Enerji Harcamalarına Etkilerinin Belirlenmesine Yönelik Bir Çalışma, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [4] Vincenzo, M. C., Kesten D. ve Infield D. (2012). "Assessment of PV Shading Device on Building Energy Consumption Taking into Account Site Layout", Journal of Energy and Power Engineering, 6: 346-352.
- [5] Wang, D. and Chang, Y., (2010). "Optimization of Tilt Angle for Photovoltaic Modules Based on the Neural-Genetic Algorithm", Journal of Nan Kai, 7 (1): 57-70.
- [6] Özkılıç Keleş, C., 2008. Türkiye’de Binalarda Enerji Verimliliği Açısından Fotovoltaik Sistemlerin Kullanılmasına Yönelik Bir İnceleme, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [7] V. Olgyay, (1963). "Design With Climates," Princeton University Press, N .J. Princeton.
- [8] İBB, (2007). İstanbul İmar Yönetmeliği, 1512, İstanbul.
- [9] Göksu, A. U., 2016. Farklı İklim Bölgelerinde Gölgeleme Elemanı Olarak PV Sistemlerin Ofis Binalarının Enerji Performansına Etkisinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

A. Umur GÖKSU

2014 yılında YTÜ Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü’nü bitirmiştir. 2016 yılında YTÜ’de Yapı Fiziği Yüksek Lisans Programı’nı bitirerek Yüksek Mimar unvanını almıştır. 2016 yılında aynı üniversitede Yapı Fiziği Doktora Programı’na başlamış ve doktora eğitimine devam etmektedir.

Gülay ZORER GEDİK

1984 yılında YTÜ Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü’nü bitirmiştir. Aynı üniversiteden 1987 yılında Yüksek Mimar, 1995 yılında Doktor Mimar, 2003 yılında Doçent ve 2009 yılında Profesör unvanını almıştır ve halen YTÜ’de Yapı Fiziği alanında özellikle ısı, nem, rüzgâr ve güneş ışınimleri konularında akademik çalışmalarını sürdürmektedir. "Okul Yapılarının İyileştirilmelerinde Güneş Enerjisinden Yararlanma ve Bir Uygulama Örneği" başlıklı (2005) TÜBİTAK MAG ve "Toplu Konut Yerleşimlerinin Rüzgâr ve Gürültü Denetimi Açısından Optimizasyonu" başlıklı (2014) TÜBİTAK 1001 projelerinin yürütücülüğünü yapmıştır. Ayrıca, yürütücü ve araştırmacı olarak görev aldığı çok sayıda BAP ve 1 adet SAN-TEZ projesi tamamlanmıştır. YTÜ Enerji ve Uygulama Merkezi, "BEP-TR Binalarda Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Metodolojisi İyileştirme Projesi’nde danışman olarak görev almış ve Net Enerji bölümünün yürütücülüğünü yapmıştır (2013).