



Kamu binalarında çatı üzeri fotovoltaik panel kurulum potansiyelinin belirlenmesi ve enerji üretim artışı için mimari tasarımın ele alınması: Yalova ili örneği

Furkan Arslan^a, Sunay Türkdogan^{b*}

^aEnerji Sistemleri Mühendisliği, Yalova Üniversitesi, Yalova, Türkiye, 77200

^bElektrik-Elektronik Mühendisliği, Yalova Üniversitesi, Yalova, Türkiye, 77200

MAKALE BİLGİSİ

Makale Geçmişi:

Geliş 18 Haziran 2022

Düzeltilme 17 Temmuz 2022

Kabul 26 Temmuz 2022

Çevrimiçi mevcut

Anahtar Kelimeler:

Fotovoltaik,
Solar Enerji,
Solar Mimarisi,
Yeşil Enerji

ÖZET

Günümüzde, teknolojik ve ekonomik gelişmelerin artması beraberinde yaşam standartlarını arttırmış ve nüfusun da her geçen gün artmaya devam etmesi yüksek enerji ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. İhtiyacımız olan enerjinin büyük kısmının fosil yakıtlardan üretildiği düşünüldüğünde artan enerji talebinin tükenmekte ve çevreye zararlı olan fosil yakıtlarla karşılanması hem ekonomik hem de çevresel açıdan mümkün değildir. Bundan dolayı daha temiz ve tükenmeyen enerji kaynaklarına yönelim hızla artmaktadır. Tüm yenilenebilir enerji kaynaklarının direkt veya dolaylı enerji kaynağı güneş olup dünyanın enerji ihtiyacının çok üzerinde bir üretim potansiyeline sahiptir. Ülkemiz coğrafi konumu itibarıyla güneş enerjisinden yararlanma konusunda diğer ülkelere nazaran önemli bir potansiyele sahip olup enerji üretim kapasitesi tüm ihtiyaçları karşılayabilecek büyüklüktedir. Bu çalışmada, bu denli yüksek kapasiteye sahip enerji üretim potansiyelinin Yalova ili genelindeki kamu binalarının çatılarında kurulabilecek güneş enerji santralleri ile ne kadarının karşılanabileceği incelenmiş olup mevcut potansiyelin artırılması için mimari planların tasarım aşamasında nasıl değiştirilebileceği ve mimari optimizasyon ile enerji üretim miktarlarının ne oranda artabileceği gösterilmiştir. Bu çalışma bugüne kadar mimari çizimlerde güneş enerji potansiyelinin göz önüne alınmadığını ancak bundan sonra, çalışmada gösterilen %592'ye kadar artış oranlarıyla birlikte Yalova ili genelinden tüm ülkedeki kamu veya özel bina mimari çizimlerinde solar enerjinin dikkate alınması gerektiğini ve bu vesileyle ülkemize kazandırılacak enerji miktarının ne kadar yüksek olduğunu gösterecektir.

2022 JIENS Tüm hakları saklıdır.

Determination of rooftop photovoltaic panel installation potential in public buildings and consideration of architectural design for energy production increase: a case study of Yalova

ARTICLE INFO

Article history:

Received 18 June 2022

Received in revised form 17 July 2022

Accepted 26 July 2022

Available online

Keywords:

Photovoltaic,
Solar Energy,
Solar Architecture,
Green Energy

ABSTRACT

Today, the increase in technological and economic developments has increased the living standards and the increase in the population has revealed the need for high energy. Considering that the majority of the energy we need is produced from fossil fuels, it is not possible to meet the increasing energy demand by fossil fuels due to both economically and environmentally because the fossil fuels are running out and harmful to the environment. Therefore, the trend towards cleaner and sustainable energy sources is increasing rapidly. The direct or indirect energy source of all renewable energy sources is the sun, and it has a production potential far above the world's energy needs. Due to its geographical location, our country has a significant potential to benefit from solar energy compared to other countries, and its energy production capacity is large enough to meet all needs. In this study, it has been studied how much of the energy production potential with such a high capacity can be met by solar power plants that can be installed on the roofs of public buildings in Yalova province, and it is shown how architectural plans can be changed to increase the existing potential during the design stage and how much energy production can be increased with architectural optimization. This study will show that solar energy potential has not been taken into account in architectural drawings until now, but with up to 592% increase rates shown in the study from now on, solar architecture should be taken into account in public or private building architecture plans throughout the country from Yalova province and on this occasion how high the amount of energy that can be brought to our country is.

2022 JIENS All rights reserved.

I. GİRİŞ

Dünya nüfusunun ve teknolojinin artmasıyla birlikte fosil yakıtların kullanımı da artış göstermiştir ve bu yakıtların yakılmasından kaynaklanan zararlı sera gazı emisyonları, küresel ısınmanın her geçen gün daha da etkili olmasına

neden olmaktadır [1]. Çevreye salınan gazların, güneş ışınlarının atmosferde daha uzun süre kalmasına ve yer küreye tekrar geri yansımaya neden olmakta ve bu da küresel ısınmaya neden olmaktadır. Küresel ısınma hem faunayı hem de florayı olumsuz etkilemektedir [2]. Bu gibi sorunların giderilmesi için ve fosil yakıt bağımlılığını azaltmak için temiz ve yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı yaygınlaşmaktadır [3]. Başlıca yenilenebilir enerji kaynakları güneş, rüzgâr, hidroelektrik, jeotermal ve biyokütle enerjileridir [4].

Dünyanın en önemli ve en yaygın yenilenebilir enerji kaynağı güneş olup jeotermal haricindeki diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının oluşumundaki ana etkidir. Son yıllarda güneş enerjisi, yerel uygulanabilirliği, gelişen teknolojilerle birlikte enerji üretim kapasitesinin artması ve enerji piyasalarındaki durmak bilmeyen fiyat artışları gibi nedenlerle tercih edilen bir enerji kaynağı haline gelmiştir [2]. Güneş enerji sistemlerinin yaygınlaşması durumunda enerji konusunda dışa bağımlılık azalacak ve bu sayede ekonomik ve çevresel fayda sağlanmış olacaktır [4].

Enerji tüketim miktarı, ülkelerin teknolojik ve ekonomik yönden gelişmişlik seviyesini gösteren önemli parametrelerden bir tanesidir. Ülkemizde de artan teknolojik ve ekonomik gelişmeler beraberinde artan bir enerji gereksinimini doğurmuştur. Artan enerji gereksinimini karşılamak için, tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de fosil yakıtlara alternatif olarak temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı yaygınlaşmaktadır [5]. Dünya genelinde yenilenebilir enerji kaynaklarının birincil enerji kaynaklarına katkısı 2019'da %27 iken 2020'de %29'a yükselmiştir [6].

Türkiye'de 2020 yılı itibari ile üretilen toplam enerji miktarı 306.73,1 GWh'dır. Güneş enerjisinden üretim 10.950,2 GWh ve toplam üretimin %3,57'sine denk gelmektedir. Türkiye'de üretilen enerjinin %57,74'ü fosil yakıtlardan karşılanırken geri kalan kısım yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilmektedir [7]. Yapılan araştırmalar tüm enerji tüketiminin %40'ının binalar tarafından yapıldığını göstermiştir [8].

Güneş enerjisi yüksek bir üretim kapasitesine sahip olmasına rağmen mimari planlarda bu enerjiden daha fazla yararlanılabilmesi için yapılan çok fazla çalışma yoktur. Bu nedenle, 2009-2012 yılları arasında Uluslararası Enerji Ajansı tarafından (IEA SHC Task 41) "Güneş Enerjisi ve Mimarisi" projesi yürütülmüştür [9]. Yakın geçmişte ise California Bina Standartları Komisyonu, bölgede kurulacak olan yeni binaların güneş enerji sistemleri içermesi gerektiğini ve 2020'de uygulanmaya başlayacağını duyurmuştur [10]. Bu ve benzeri yasalar/çalışmalar, bina mimarisinde güneş enerjisi sistemlerinin kullanılmasını teşvik etmekte ve daha verimli enerji üretimi için mimari planlarda dikkat edilmesi gereken hususları ortaya koymaktadır [9]. Bu çalışmada ise Yalova ili genelindeki kamu binalarının çatılarında kurulabilecek güneş enerji santrallerinin mevcut enerji üretim potansiyelleri ortaya konacak olup bugüne kadar hiçbir mimari planda dikkat edilmeyen unsurlarla binanın çatı revizyonunun tasarımı aşamasında yapılması sonucu ortaya çıkabilecek enerji üretim kapasitesi artışının ne kadar olabileceği ortaya konmuş olacaktır. Yapılan bu çalışma birçok konuda teşvik edici olup bundan sonraki süreçlerde mimari planların yapımında bazı standartların ortaya çıkmasına, milli ve yerli daha fazla enerji üretiminin gerçekleşmesine ve birçok çalışmaya referans olmasına vesile olacaktır.

1.1 Dünyada Güneş Enerji Potansiyeli

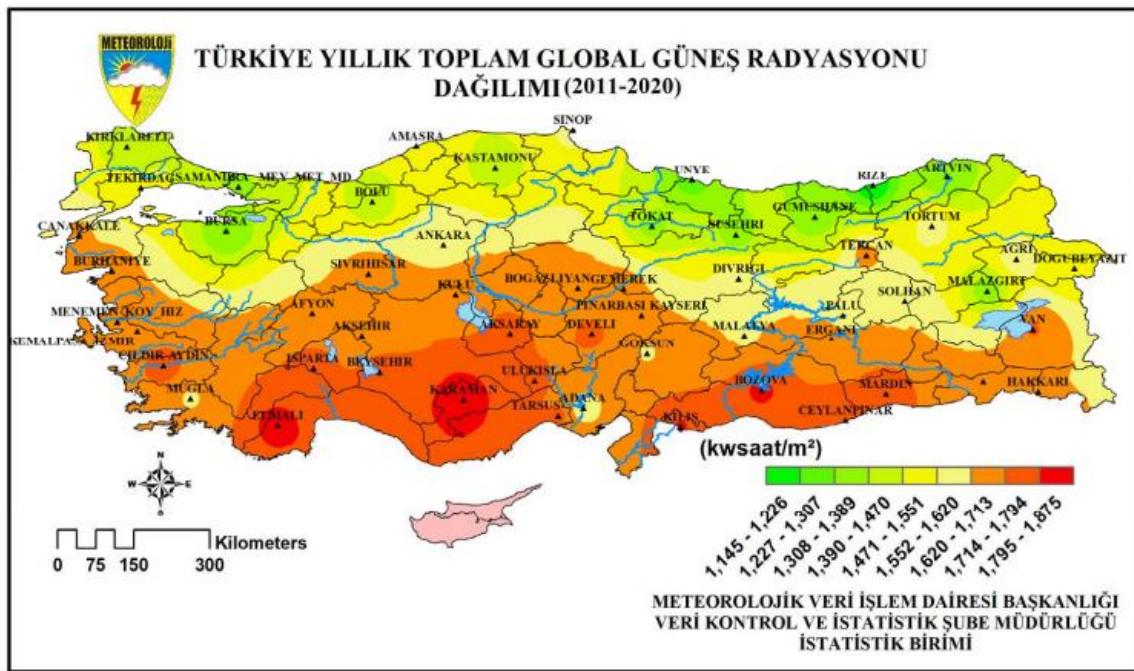
Güneşten dünyaya gelen güneş enerjisi tüm dünyanın enerji ihtiyacının çok üzerindedir. Dünya ya düşen bir yıllık güneş enerjisi miktarı geçmişten günümüze kadar kullanılan toplam fosil yakıtın çok daha fazlasına karşılık gelmektedir. Yer yüzeyine ulaşan ortalama güneş enerji yoğunluğu yaklaşık 1,37 kW/m²'dir [11]. Dünyanın yıllık elektrik enerjisi ihtiyacı yaklaşık 17,000 TWh iken güneşten dünyaya gelen günlük enerji miktarının 174.000 TWh olduğu düşünülmektedir. Bu durum güneşten gelen birkaç saatlik enerjinin tüm dünyanın enerji ihtiyacını sağlayabileceğini ortaya koymaktadır [12].

Gelen güneş ışınlarının dik olarak yer yüzüne inmesinden dolayı güneş enerjisinin en yoğun olduğu bölge Ekvatorun 35° kuzey ve güney enlemleri arasındaki bölgesidir. Bu bölgelerde enerji kazanımı da daha yüksek olmaktadır. Yılda 2000 ila 3500 saat güneş alır ve yaklaşık güneş enerji potansiyeli 3,5-7 kWh/m²/gün arasında değişmektedir. Dünya üzerindeki ortalama yıllık güneş radyasyonu miktarı kurak bölgelerde 2000-2500 kWh/m²'dir. Daha üst enlemlerde bu değer 1000-1500 kWh/m² arasında değişmektedir [11].

Ref [6]'daki verilere göre 2021 yılına gelindiğinde güneş enerjisinden elektrik üretiminin önemli oranda arttığı görülmektedir. Küresel olarak, PV elektrik üretiminin 145 TWh artarak (%18) 2021'de 1000 TWh'ye ulaştığı görülmektedir. Tüm yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimindeki payı 2021 yılında %30 civarlarında olup dünyada birçok ülkede yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimi ve yenilenebilir enerji payı dünya genelinde hızla artmaktadır [6].

1.2 Türkiye'de Güneş Enerji Potansiyeli

Türkiye coğrafi konumundan dolayı güneş enerjisi potansiyeli bakımından önemli bir yere sahiptir [2]. Şekil 1'de ülkemizin güneş radyasyonunun dağılımı gösterilmiştir. Koyu kırmızı ile gösterilen iller en fazla radyasyonun olduğu iller olup güneyden kuzeye doğru gidildikçe güneşlenme potansiyeli Ekvator bölgesinden uzaklaştığı ve kuzey bölgesindeki fazla yağışın güneş ışınlarını engellenmesinden dolayı azalmaktadır [4]. Bu nedenle ülkemizde en az ışınım Karadeniz bölgesinde olmaktadır. Karadeniz bölgesini sırasıyla Marmara, Doğu Anadolu, İç Anadolu, Ege, Akdeniz ve Güney Doğu Anadolu bölgeleri takip etmektedir. En fazla ışınım alan bölgemiz Güney Doğu Anadolu bölgesidir [5, 13].



Şekil 1. Türkiye'nin yıllık toplam güneş radyasyonu dağılımı [14]

Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlas'ına (GEPA) göre, Türkiye'nin yıllık toplam güneşlenme süresi 2737 saat, yıllık toplam gelen güneş enerjisi ise 1527 kWh/m²'dir [13, 14]. Bu değerler güneş enerjisi kurulu gücü yüksek olan birçok ülkenin çok üzerinde olmasına rağmen Türkiye'de güneş enerjisi potansiyelinden yeterince yararlanılmamaktadır [2, 11]. Güneş enerjisinin avantajları olduğu gibi bazı dezavantajları da vardır. Geniş arazi ihtiyacı, panellerin yerleşim sorunu, ilk yatırım maliyetinin yüksek olması, depolama için yüksek maliyet gibi etkenler güneş enerjisine yapılacak olan yatırımları kısıtlamaktadır. Bu çalışmada geniş arazi ihtiyacı ve panellerin yerleşim sorunlarına karşı çatı üzeri kurulum ve optimum mimari ile daha verimli panel yerleşimi yaparak çözüm bulmaya çalışacağız.

1.3 Binalarda Güneş Mimarisinin Önemi

Güneş radyasyonundan en verimli şekilde yararlanmanın yolu bina mimarisinin buna uygun yapılmasıdır. Binadaki pencere duvar oranı, binanın yüksekliği, yönü ve çatı yapısı güneş enerjisinden yararlanmayı doğrudan etkilemektedir. En büyük etkenlerden birisi de bölgenin güneş enerji potansiyelidir. Güneş radyasyonunda yıl boyunca değişimler gözlemlenmektedir. Tasarımı yapılacak olan bir binanın çeşitli bölgelerindeki güneşlenme

süresinin ve güneş radyasyonunun ölçülmesi uygun bir proje tasarımı için gereklidir [15]. Binalar enerji kullanımı açısından önemli bir yere sahip olduklarından uygun mimari tasarımlarla kendi enerjilerini tamamen veya büyük bir çoğunlukla üretebilirler. Enerji fiyatlarındaki artışlarla birlikte tüm binalar sıfır enerjili bina yaklaşımını benimsemek durumunda kalacaktır [16]. Bu sayede binalar için üretilcek başka enerjiye gerek olmadan kaynakların daha etkin ve verimli kullanılması sağlanmış olacaktır [2,17].

1.3.1. Pasif Solar Enerji Teknolojisi

Pasif güneş enerji teknolojisi, güneş enerjisinin herhangi bir mekanizma kontrol sistemi olmadan toplandığı, korunduğu ve dağıtıldığı anlamına gelir. Binadan izole edilemez [2, 16]. Pasif güneş mimarisi, minimum çevresel etki ile maksimum yaşam kalitesini hedefler. Pasif güneş enerjisi, bina içindeki ısıtma ve gün ışığı açısından etkilidir [15]. Pasif güneş enerji bina tasarımı ve enerji tasarrufu açısından önemlidir. Güneşten gelen enerjiyi kullandıkları için binanın diğer enerji kaynaklarından enerji tüketimini azaltmış olur [18].

1.3.2. Aktif Güneş Enerjisi Teknolojisi ve Solar PV Teknolojisi

Aktif güneş enerji teknolojisi, binaların çatıları ve cepheleri kullanılarak güneş enerjisi sistemleri (solar termal ve/veya solar fotovoltaik) vasıtasıyla enerji üretilmesidir [10]. Aktif solar termal sistemler, ısı enerjisi üretmek için güneş enerjisini toplayan, koruyan ve bu enerjisinden yararlanmak için mekanik ekipman ilavesi içeren sistemlerdir [2]. Bu teknoloji ile genellikle kullanım suyu ısıtma ve alan ısıtma uygulamaları yapılmaktadır. Kurulacak olan kollektörler genellikle binanın çatısına kurulur ve ısı dağılımı otomatik kontrol edilir [16].

Bir diğer aktif güneş enerji teknolojisi ise solar fotovoltaik sistemlerdir. Bu sistemler binanın elektrik enerji ihtiyacını herhangi bir hareketli aksam olmadan güneş ışınlarını doğrudan elektrik enerjisine çevirmesiyle sağlamaktadır. Aktif olarak kullanılmayan bina çatıları solar termal ve fotovoltaik panellerin kurulumu için uygun olup maksimum enerji elde edilmesi için doğru yönün, optimum açının ve minimum engel/gölge oluşturacak şekilde bir tasarımın yapılmasını gerekli kılmaktadır.

1.4 Güneş Enerjisi Kullanan Binaların Tasarımında Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar

Güneş enerjisinden maksimum oranda yararlanabilmemiz için güneşten gelen ışınlarla solar termal veya solar fotovoltaik panellerimizin yüzeyinin birbirine dik olması gerekmektedir. Işınların geliş açısı 90° 'den ne kadar çok ayrılırsa elde edilebilecek enerji oranında da o denli bir düşüş söz konusu olmaktadır. Ancak güneş ışınları dünyanın dönüş hareketinden dolayı sürekli sabit konumda ve sabit açıyla gelmediğinden güneş enerji santrallerinin kurulduğu lokasyonlarda kullanım amacına göre sabit bir açı belirlenmektedir. Bu açı panellerin yatay düzleme olan açısı olup tüm sezonlar için santralin kurulduğu lokasyondaki enlem açısı civarında, yaz sezonu için enlem açısından 15° daha eğik, kış aylarında ise 15° daha dik olacak şekilde planlanmaktadır. Yazın güneş ışınlarının daha dik, kışın ise daha yatay gelmesinden dolayı paneller güneş ışınları arasında 90° 'ye yakın bir eğim olması istendiğinden kış aylarında $+15^\circ$ yaz aylarında ise -15° açı farklılığı olmaktadır. Bunların yanı sıra tek eksenli veya iki eksenli takip sistemleri kullanılarak panellerin güneşin pozisyonunu takip etmesiyle güneş enerjisinden maksimum oranda yararlanılmış olur. Genelde yapılan çalışmalar yıl bazlı ve tüm sezon boyunca enerji üretimi için tasarlandığından panellerin sabit kurulum açısı bulunulan lokasyonun enlemine yakın değerlerdir. Panellerin baktığı yön ise bulunulan yarımkürenin tam zıt yönü olmalıdır ki güneş ışınlarından gün boyunca faydalanılsın. Tam kuzey veya tam güney yöne bakmayan panellerin optimum açıdan kayması üretimdeki verimliliği düşürmektedir. Bu makale için yapılan çalışmalar Yalova ili için gerçekleştirildiğinden panel yönleri mümkün olduğunca tam güney, panel açıları ise çeşitli benzetimler sonucunda çatı üzeri kurulum özelinde optimum 31° olarak belirlenmiştir [17].

Güneş enerjisi büyük bir potansiyele sahip olmasının yanında büyük bir yer işgaline neden olmaktadır. Ancak binalardaki eğimli veya düz çatılar enerji elde edilmesi için uygun bir ortam sağlamakta olup çatı üzeri santral kurulumu git gide artmaktadır. Çatı üzeri kurulumlarda sadece güneşin geliş açısı değil aynı zamanda panelin soğumasına veya çok ısınmasının önüne geçebilecek doğal havalandırma etkisi yaratılmalı ve rüzgâr geliş yönlerinin de dikkate alınması gerekmektedir. Güneş mimarisinde sadece güneş radyasyonu miktarı önemli olmayıp panellerin kurulumu yapılacak olan yüzeye çevre binaların, bitkilerin veya çeşitli objelerin neden olduğu potansiyel gölgeleme koşulları da araştırılmalıdır [16]. Paneller üzerine şu veya bu nedenlerle gelen her gölge

üretilebilecek olan enerji miktarında büyük düşümlere neden olabilmektedir. Bunun yanı sıra güneş panellerinin aşırı ısınmasına ve işlevsiz hale gelmesine de neden olabilmektedir.

Gelen güneş ışın açışı ve gölge etkenleri dışında panel verimliliği bağıl nemin artmasıyla birlikte de düşmektedir. Bağıl nemin yüksek olduğu yerlerde panellere gelen güneş ışınlarının dik gelmesinin önüne geçilmiş olmaktadır. Bağıl nemin %17'den %25'e çıkması durumunda, güneş ışınımı 950 W/m² değerinden 500 W/m² değerine düştüğü örnek olarak verilmektedir [4]. Yalova ilinin yıllık ortalama bağıl nem oranı %76'dır [14].

Kurulum şekline bakılmaksızın güneş enerji santrali kurulumunda enerji üretim performansını etkileyen aşağıdaki parametreler dikkate alınmalıdır.

Binanın bulunduğu yer; güneş panellerinin kurulumunun yapılacağı arazinin özellikleri, mimari tasarıma başlamadan incelenmelidir [19]. Güneş ışınımının, hava sıcaklığının, hava hareketi ve nem gibi iklim elemanlarının önceden ölçülmesi ayrıca arazinin eğim özellikleri bilinmesi ve bu doğrultuda proje geliştirilmesi gerekmektedir [20].

Binanın diğer binalara göre konumu; binanın konumu, güneşten gelen ışınım miktarını etkileyen, binanın çevresindeki hava akış hızını ve tipini belirleyen önemli bir faktördür. Binanın çevresindeki diğer yapıların yüksekliği, bina çatısına kurulan güneş panellerine gölge oluşturması konusunda önemlidir. Bu nedenle binanın arazideki konumu özellikle güneş enerjisinden yararlanmak için uygun olarak belirlenmelidir [20].

Binanın yönü; Binanın yönü cephelerin doğrudan güneş ışınımından yararlanması ve güneş enerjisi kazancını etkileyen önemli bir parametredir. Güneş panellerinde maksimum verim alınabilmesi için paneller ekvator çizgisine paralel olacak şekilde dizilmeli ve yönü ekvatora bakmalıdır [20].

Gölgeleme (Shading); gölgeleme güneş panellerinin verimini etkileyen diğer bir parametredir. Kullanılacak olan panellerin arazi durumuna bağlı olarak veya binanın kendi durumundan kaynaklı gölgelemeler olabilmektedir. Binanın çatısında bulunan bacalar, antenler, depolar ve duvarlar güneş panellerin verimliliklerini önemli oranda etkilemektedir. Bu yapıların çatının ekvator çizgisinin zıt yönüne bakan tarafına (Türkiye için Kuzey) konumlandırılması gölgelemeden kaynaklı enerji eldesinin azalmasının önüne geçecektir [19].

II. DENEYSEL METOD

Bu çalışmada, Türkiye'nin kuzeybatısında yer alan Yalova ilinde bina mimarisinin güneş enerjisi üretim potansiyeline olan etkileri araştırılmıştır. Yapılan tüm çalışmalar Sketchup, Skelion, PVGIS ve PVWatts çizim ve benzetim programları kullanılarak yapılmıştır. Yapılan çalışma Yalova ilindeki birçok kamu binasını kapsamakta olup ağırlıklı olarak Yalova Üniversitesi Merkez Kampüsünde bulunan binalar üzerinden yürütülmüştür.

2.1 Yalova'nın iklim şartları

Güney Marmara Bölgesi'nde yer alan Yalova, 28° 45' ve 29° 35' Doğu Boylamları, 40° 28' ve 40° 45' Kuzey Enlemleri arasında bulunan 893 km'lik bir ildir. Yalova'da, Akdeniz ve Karadeniz iklimlerinin özelliklerini göstermesi nedeniyle makro klima iklim tipi olduğu söylenebilir. Kış mevsimi yağışlı ve orta sıcaklıkta, yaz mevsimi ise sıcak ve kuraktır. Yıllık ortalama sıcaklık değeri 17,7 °C'dir. Yalova ilinin güneş ışınımı ortalaması yaklaşık 1303-1389 kWh/m² değerlerindedir [5]. Günlük olarak metre kare başına düşen radyasyon miktarı en fazla temmuz en az ise aralık ayındadır [21]. Yalova iline ait meteorolojik veriler NASA veri tabanından alınarak Tablo 1 hazırlanmıştır [22]. Değerlere göre de en çok güneş radyasyonu temmuz ayında en düşük ise aralık ayında gerçekleşmiştir [14]. En yüksek ve en düşük aylarda değişim oranı %388,52'tir.

Panel sıcaklıkları direkt olarak ortam sıcaklığına bağlı olduğundan kurulum gerçekleşecek ortamdaki hava sıcaklığı da önemlidir. Verimli enerji üretimi her zaman soğuk ortamda ve güneş ışınlarının geldiği aydınlık ortamda gerçekleşmektedir. Tablo 1'de belirtildiği üzere Yalova ilinin en sıcak ayı Ağustos olup 23,71 °C ortalama sıcaklığa sahipken en düşük sıcaklık ise ocak ayında ve 4,94 °C ortalama sıcaklığa sahiptir.

Tablo 1’de ayrıca Yalova’nın aylara göre ortalama günlük güneşlenme süresi görülmektedir. Yaz aylarında gündüzlerin daha uzun olması güneşlenme süresinin fazla olmasına neden olmuştur. Kışın ise geceleri daha uzun olduğu için güneşlenme süresi daha azdır. Yıllık olarak ortalama günlük güneşlenme süresi 7,9 saattir. Güneşlenmenin en yüksek ve en düşük olduğu aylar arasında %188’lik değişim gerçekleşmiştir. Tabloda aynı zamanda eşdeğer güneşlenme sürelerinde belirtilmiştir [19]. Ülkemizde ve bu coğrafyada kullanılan paneller büyük çoğunlukla standart test koşullarında (1000 W/m²) test edilip ona göre etiket değerleri oluşturulmaktadır. Eşdeğer güneşlenme direkt olarak m² başına 1000 W’lık güneş radyasyon değerinin geldiği durumu baz aldığından panellerin güç değerleriyle eşdeğer güneşlenme değerlerinin çarpımından günlük üretilebilecek enerji miktarı yaklaşık olarak bulunmaktadır. Netlik indeksi ise bir lokasyondaki belirli bir sürede gelen güneş ışınım miktarının aynı lokasyondaki teorik maksimuma olan oranıdır. İndeksin artış göstermesi o lokasyondaki güneş ışığından maksimum oranda yararlanılabileceği anlamına gelmektedir.

Tablo 1. Yalova’nın iklim özellikleri [22]

| Aylar | Günlük ortalama sıcaklık değerleri (°C) | Güneşlenme süresi (h) | Eşdeğer Güneşlenme süresi (h) | Radyasyon miktarı (Kwh/m ² /gün) | Netlik indeksi |
|---------|---|-----------------------|-------------------------------|---|----------------|
| Ocak | 4,940 | 4,6 | 1,67 | 1,670 | 0,405 |
| Şubat | 5,030 | 5,4 | 2,31 | 2,310 | 0,418 |
| Mart | 7,160 | 6 | 3,49 | 3,490 | 0,463 |
| Nisan | 11,630 | 7,3 | 4,46 | 4,460 | 0,466 |
| Mayıs | 16,380 | 9,3 | 5,91 | 5,910 | 0,537 |
| Haziran | 20,940 | 11,7 | 6,71 | 6,710 | 0,579 |
| Temmuz | 23,490 | 12,1 | 6,79 | 6,790 | 0,602 |
| Ağustos | 23,710 | 11,3 | 5,93 | 5,930 | 0,588 |
| Eylül | 20,200 | 9,8 | 4,69 | 4,690 | 0,571 |
| Ekim | 15,610 | 7,1 | 2,99 | 2,990 | 0,489 |
| Kasım | 10,700 | 5,6 | 1,88 | 1,880 | 0,424 |
| Aralık | 6,690 | 4,2 | 1,39 | 1,390 | 0,375 |

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Daha öncesinde de açıklandığı gibi Yalova ilindeki çoğu kamu binası incelenmiş ancak ağırlık Yalova üniversitesi merkez kampüste bulunan mühendislik fakültesi ve İslami ilimler fakültesi binalarına verilmiştir. Detaylı açıklama bu iki bina için verilecek olup diğer kamu binalarına ait simülasyon sonuçları mimari gelişim öncesi ve sonrası olmak üzere daha yüzeysel olarak verilecektir. Çalışmanın sonunda mimari planda yapılan değişikliklerle birlikte binaların çatıları üzerinden elde edilebilecek enerji değerleri karşılaştırılacak ve yüzde olarak meydana gelen artış oranları tablo halinde sunulacaktır. Şekil 2’de Yalova üniversitesi mühendislik fakültesi ve İktisadi İdari Bilimler fakültelerinin uydu görüntüleri yer almaktadır. Kampüs içerisindeki binalara ait çizimler Sketchup programı kullanılarak ve Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı’ndan alınan mimari projeye göre çizilmiştir.

Şekil 2 Yalova Üniversitesi Merkez kampüsüne ait bir uydu resmini göstermektedir. En sağda bulunan bina mühendislik fakültesine ait olup binanın lokasyonu güneş panel kurulumu için elverişli yöndedir. 3D çizimler Sketchup’ta çizilmiş olup çizilen binalardaki farklı yüzeylere Sketchup programına eklenti olan Skelion programı ile panel yerleşimi en uygun şekilde ve gölgelemeler dikkate alınarak yapılmıştır.

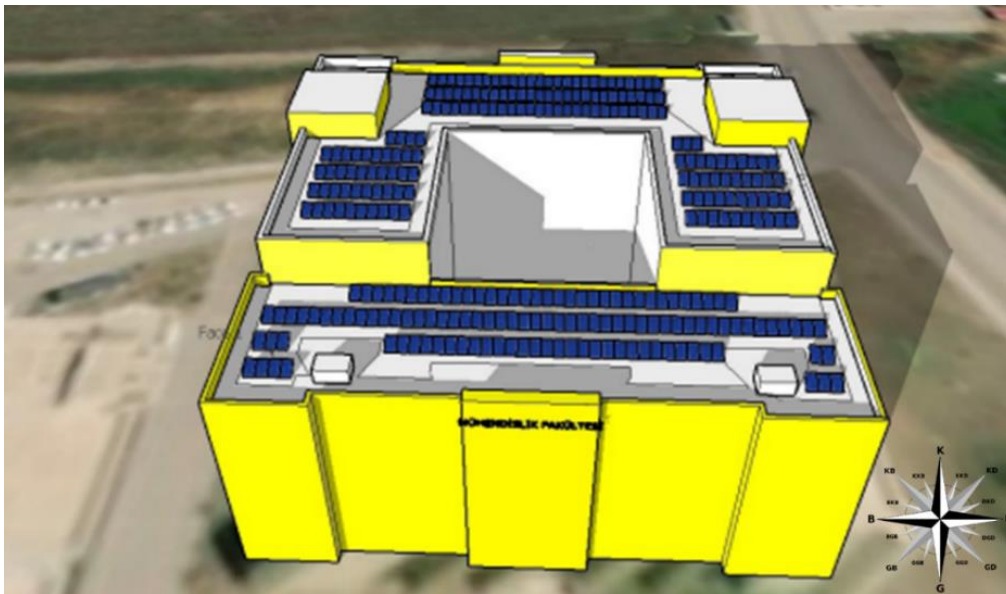
Şekil 3 Yalova üniversitesi mühendislik fakültesi binasının mevcut haliyle çizilen bina ve muhtemel panel kurulumunu göstermektedir. Bina çatısında havalandırma çıkışları, merdiven çıkış odası ve çatının ortasında da büyük bir boşluk mevcuttur. Skelion ve PVGIS programları kullanılarak çatı alanının güneşin etkin olduğu saatlerde (10:00-15:00 arası) gölgeleme durumu hesaplanmış ve Şekil 3’te detaylıca gösterilmiştir [23]. Görüleceği üzere yüksek duvara yakın yerler, baca kenarları, havalandırma kenarları ve merdiven yapısı civarında kalan yerler gün boyunca gölgeye maruz kalmakta, bundan dolayı bu alanlara panel kurulumu önerilmemektedir. Bu durum mevcut çatı alanının etkin kullanılmamasına ve kapasitenin altında enerji üretimine neden olmaktadır.

Şekil 3’te görülen panellerin yerleşimi binanın ön ve arkasının kuzey ve güney cepheye bakmasından dolayı herhangi bir azimut açısına ihtiyaç duymadan yapılmıştır. Çatı incelendiğinde çatının çok katlı yapıya sahip olduğu ve giderek artan çatı kat yüksekliğinin kuzey cepheye doğru olduğu görülmektedir. Bu da en güneydeki katın diğer kata gölge yapmasının önüne geçmiş olup uygun bir mimari tasarıma sahiptir. Ancak çatının yükselme mimarisi

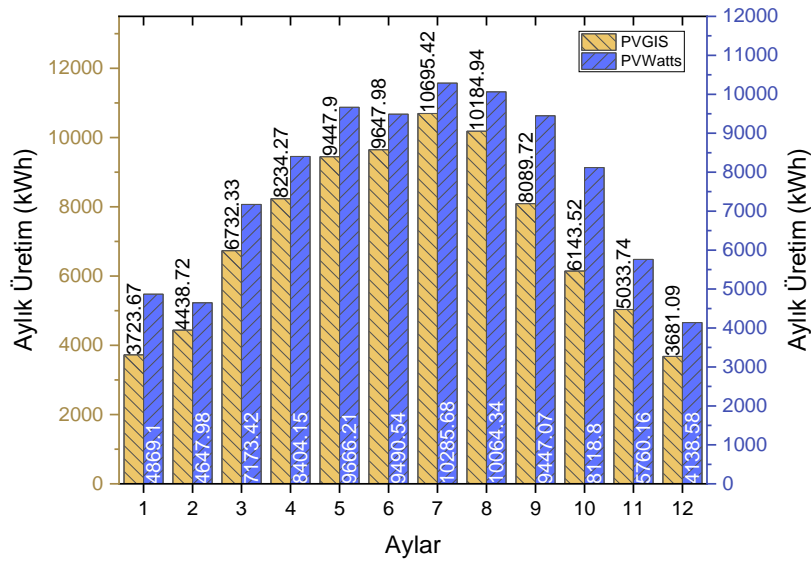
dışındaki diğer güney cephede kalan gölge unsurları binanın potansiyelinin altında enerji üretmesine neden olmaktadır. Benzetim için AİDE SOLAR 230 W paneller (1,64 m x 0,99 m) tercih edilmiştir. Binanın mevcut haliyle ve gölgelenmenin olmadığı noktalara toplamda 287 adet panel kurulumu yapılmış ve bu panellerden elde edilen enerji değerleri aylara göre Şekil 4'te farklı iki programdaki (PVGIS, PVWatts) benzetim sonuçlarına göre karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir [21]. Her iki programdan alınan değerler birbirine çok yakın olup yapılan benzetimlerin doğruluğunu ortaya koymaktadır. PVGIS'ten alınan sonuçlara göre binanın mevcut haliyle üretebileceği yıllık enerji değeri 86,053MWh/yıl'dır. Aynı sistemin PVWatts programı ile elde edilen üretebilecek enerji değeri ise 96,066 MWh/yıl'dır [24]. İki programın birbirinden farklı olması, kullandıkları veri tabanlarının farklı ve seçilen lokasyona en yakın verinin farklı uzaklıklardaki sensörlerden alınmasından kaynaklanmaktadır. PVGIS; -cmsaf, -sarah, -era5, -cosmo veri tabanlarını kullanırken PVWatts; NSRDB gridded data, usa tmy2, usa tmy3 ve international station veri tabanlarını kullanmaktadır. Bundan dolayı %11 gibi bir fark meydana gelmektedir. PVWatts Amerika Birleşik Devletleri tarafından üretilmiş olup PVGIS Avrupa birliği tarafından oluşturulmuştur. Avrupa'da bulunan bir lokasyon için PVGIS'in daha sağlıklı sonuç vereceği düşüncesiyle yorumlar ağırlıklı olarak PVGIS sonuçlarına göre yapılmıştır.



Şekil 2. Yalova üniversitesi merkez kampüs uydü görüntüsü

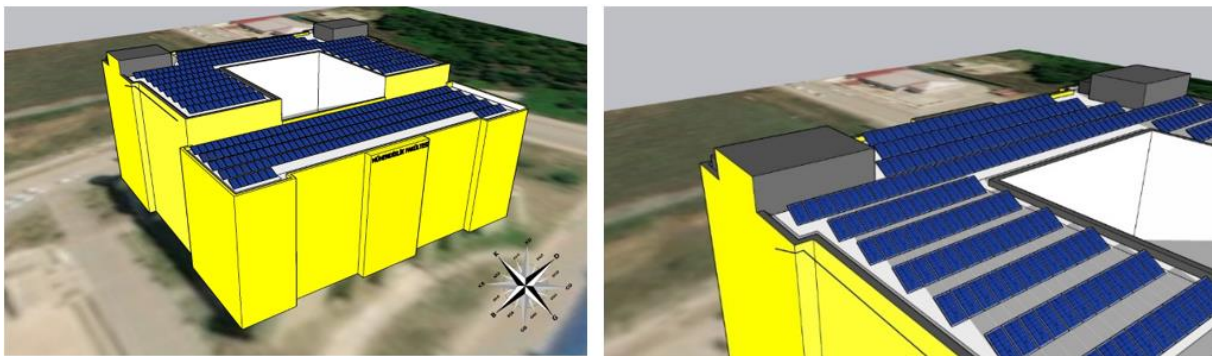


Şekil 3. Mühendislik fakültesinin mevcut tasarımına ait çatı üzeri güneş panelli 3D çizim ve gölgeleme görseli



Şekil 4. Mühendislik fakültesi binasının mevcut durumdaki panel kurulumuyla üretebileceği enerji değerlerinin farklı iki programa göre karşılaştırması

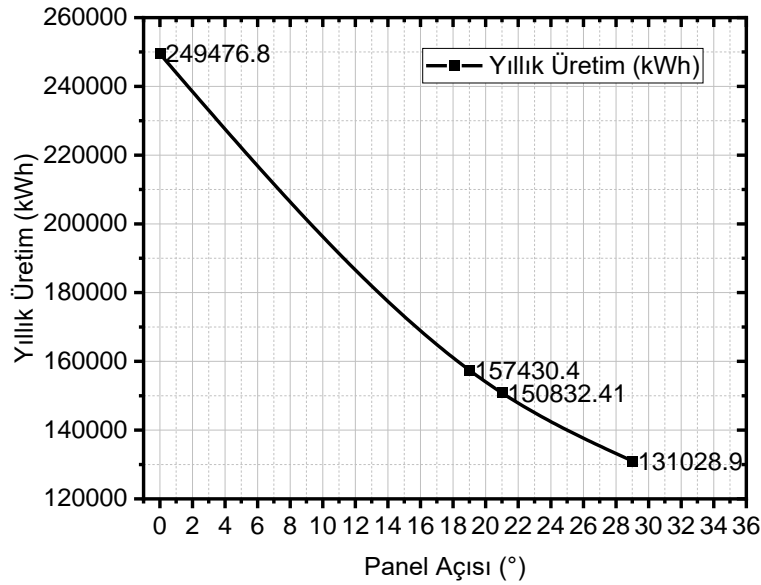
Şekil 4 incelendiğinde enerji üretim değerlerinin aylara göre değiştiği gözlenmiş ve en yüksek enerjinin temmuz en düşük enerjinin ise aralık ayında üretildiği görülmüştür. Üretim değerleri Yalova iline ait Tablo 1’ de verilen solar radyasyon değerleriyle paralel olarak değişmiştir. Ancak mayıs ayından haziran ayına geçişte artması beklenen enerji miktarının hem PVGIS’ te hem de PVWatts’ta azaldığı görülmüştür. Bunun nedeni panellerin 31 derecelik eğim açılarının haziran ayındaki tam tepe nokta olan güneşe göre optimize edilmemiş olmasıdır. Panel kurulumu tüm sezonları kapsayacak şekilde düşünüldüğünden mevcut açı ile her ne kadar solar radyasyon değeri artsa da elde edilen enerji miktarının artmadığı görülmektedir. Mayıs ayından haziran ayına geçişte meydana gelen yüksek sıcaklık artışı da panellerin verimliliğinin bir miktar düşüp elde edilen enerjinin azalmasına neden olan ikincil etmenlerden bir tanesidir. Mevcut binadan üretebilecek maksimum enerji minimum enerjinin neredeyse üç katıdır. Temmuz ve aralık aylarına ait solar radyasyon değerleri karşılaştırıldığında temmuz ayı değeri aralık ayının 4,88 katı olduğu görülmektedir. Bu durumda temmuz ayı enerji üretim değeri aralık ayına göre 4,88 kat olması beklenirken değer tam olarak 2,9 katıdır. Buradaki farklılığın nedeni artan sıcaklık kaynaklı panel verimliliğinin düşmesi ve eğim açısının güneş ışınlarını kesmedeki uygun açıdan sapmasıdır.



Şekil 5. Mühendislik fakültesi binasının enerji açısından düzenlenmiş mimari görseli

Mühendislik Fakültesi binasında daha fazla enerji üretilebilme potansiyelini göstermek için bir dize çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalar; ön kısımda bulunun iki adet havalandırma ve baca çıkışlarının kuzey uca taşınması ve çatı katta çevrili olan duvar yüksekliğinin yarıya indirilerek daha az gölge oluşmasının sağlanmasıdır. Böylelikle çatı zemininde meydana gelebilecek gölgelemeler olabildiğince ortadan kaldırılmıştır. Şekil 5 enerji

açısında yapılmış olan basit değişikliklerin gösterildiği çizimi ve bu haliyle kurulabilecek panel yerleşimini göstermektedir. Şekil 3'teki haliyle karşılaştırıldığında çok daha fazla panelin çatı zeminine montajının yapılabileceği görülmektedir [24]. Şekil 5'te görüldüğü gibi binanın güney tarafından herhangi bir engel olmadığından panel yerleşimi için uygun bir zemin oluşturulmuştur. Zemin uygun olduğundan çeşitli açılarda panel yerleşimi mümkün olmaktadır. Şekil 6 farklı açılarla yerleşimi yapılan panellerin Mühendislik Fakültesinden üretebileceği enerji miktarlarını yıllık olarak göstermektedir. Paneller (933 adet 267W'lık PV panel) tamamen zemine yerleştirildiğinde (0° eğim açısıyla) maksimum oranda enerji (250MWh) üretildiği görülmektedir. Bu değer her ne kadar yüksek olsa da çatıda veya panellerde yapılması gereken bakım onarım faaliyetleri için uygun bir yerleşim olmayıp uygulanması mümkün değildir. Bakım onarıma ve hava sirkülasyonuna müsaade edebilecek panel yerleşimi açılı olup gölgeleme durumuna göre diziler arasında belirli bir mesafenin olduğu yerleşim şeklidir. Mesafelerden dolayı da kurulabilecek panel sayısı tamamen yatay duruma göre daha az olmaktadır.

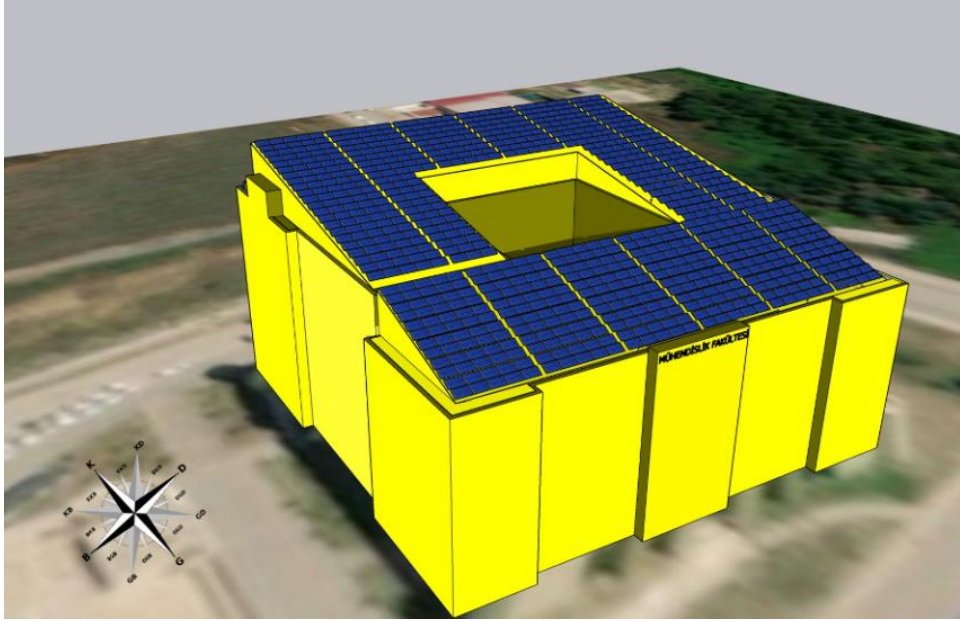


Şekil 6. Farklı panel açılarıyla mühendislik fakültesinin iyileştirilmiş durumu (gölgelemeden dolayı panel açısına bağlı olarak kullanılan panel sayısı da değişiklik göstermiştir)

Eğimli kurulum ile kullanılan panel sayısı 19° , 21° ve 29° de sırasıyla 534, 509 ve 437 adettir. Yıl boyunca üretilen enerji 19° , 21° ve 29° açılarda sırasıyla 157 MWh, 151 MWh ve 131 MWh olarak bulunmuştur. Mühendislik fakültesi binasının daha fazla enerji potansiyeline sahip olması için yapılan iyileştirmelerin yanı sıra artan panel sayısı ile birlikte panel açılarının farklı olması üretilen enerjinin değişmesine yol açmaktadır. Mimari açıdan bir iyileştirme olmadan önce üretilen enerji miktarı 86 MWh/yıl iken basit mimari düzenlemelerle ve bakım onarımına müsaade edecek şekilde kurulan santralle (19° eğim açılı) 157 MWh/yıl'lık enerji üretimi gerçekleştirilebilecektir. İki durum karşılaştırıldığında üretilen enerji miktarında %82,5 (71 MWh) oranında artış olduğu ve sadece bu artış miktarı ile binanın neredeyse iki aylık enerji ihtiyacının tamamen karşılanacağı sonucu ortaya çıkmaktadır. Yapılan ölçümlere göre Mühendislik Fakültesi binasındaki enerji tüketimi; hafta içi 1600 kWh/gün, hafta sonu ise 600 kWh/gün'dür. Aylara göre enerji üretim profili Şekil 4'teki gibidir. Üretimin en fazla (Temmuz) ve en az (Aralık) olduğu aylar bir önceki durumda olduğu gibidir.

Buraya kadar yapılan mimari değişiklikler basit unsurları içermektedir. Çizimlerden ve uydu resminden de görüldüğü gibi mühendislik fakültesi binası açık çatı planına sahiptir. Bu kısımda yapmayı planladığımız değişiklik ise açık çatı modeli yerine eğimli çatı (sundurma çatı) modelini benimsemektir. Binanın ön ve arka cephesi kuzey ve güneye baktığından uygun çatı eğimiyle ve güney cepheye bakacak şekilde bir çatı düzenlemesi yapılabilir. Yapılan bu değişiklik ile eğimli çatı altında ofislerin olması sağlanabilirken çatı üzerinde de doğrudan panel kurulumuna izin verilecektir. Bu tasarımda panellerin konstrüksiyon kullanılmadan direkt olarak eğimli çatı zeminine yerleştirilmesi amaçlanmıştır. Bu tasarımla daha fazla enerji üretilmesi, konstrüksiyon maliyetinin

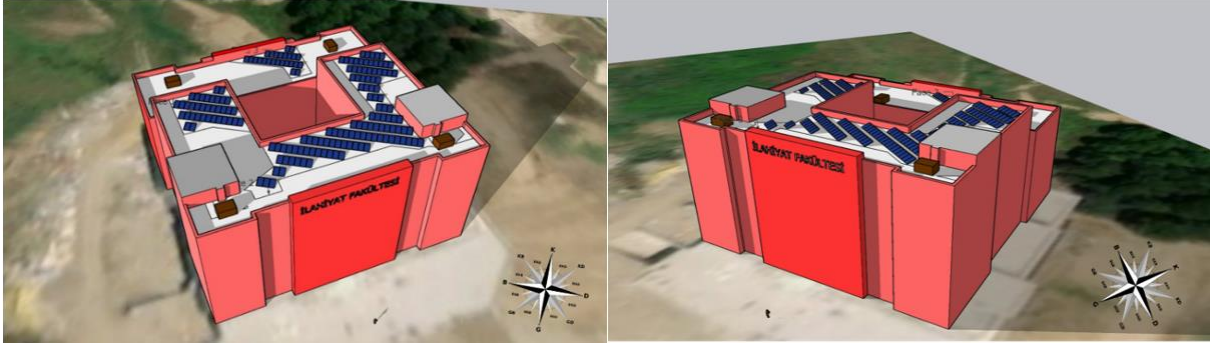
düşmesi, yeni ofis alanlarının açılması ve açık çatıdaki su akma gibi problemlerin giderilmesine de olanak sağlanmış olacaktır.



Şekil 7. Mühendislik fakültesi binasının eğimli çatı modeli ve panel kurulum görseli

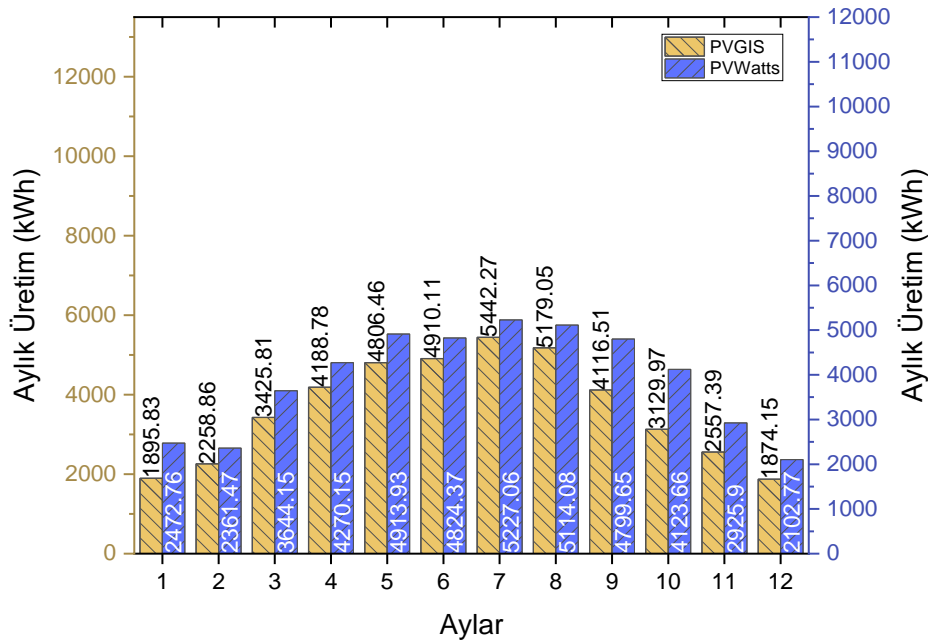
PVGIS ile yapılan hesaplamalarda en verimli panel açısının 31° olduğu saptanmıştır. Ancak çatının 31° eğime sahip olması için kuzey cephedeki duvar yüksekliğinin neredeyse bina yüksekliği kadar olması gerekmektedir. Bu da mimari açıdan uygulanabilir bir değişiklik değildir. Şekil 7’de görüldüğü gibi kuzey cephedeki duvar yüksekliği makul seviyede tutularak daha yatay ve uygulanabilir bir çatı elde edilmiştir. Çatıya bakıldığında iki grup halinde olduğu görülmektedir. Daha dik ve güneyde kalan kısım mevcut yükselteli çatının yüksekliğine bağlı olarak yapılmıştır. Çatılı tasarım ile mühendislik fakültesi adeta bir enerji üretim santrali görüntüsüne bürünmüş ve 300 MWh/yıl’lık enerji üretim potansiyeline sahip olduğu yapılan simülasyonlarla ortaya konmuştur. Elde edilebilecek bu enerji miktarı ilk duruma (mevcut mimari plan) göre 3,5 kat (214 MWh) daha fazla olup Mühendislik Fakültesinin fazladan altı aylık enerji ihtiyacını sağlayacak büyüklüktedir. Çatılı durumda üretilen enerji binanın mevcut yıllık enerji tüketiminin %60-65 oranında karşılanmasını sağlayabilmektedir. Her ne kadar yapılması mümkün olmasa da yapılan simülasyonlar 31° ’lik eğime sahip bir çatının yapılması durumunda direkt çatı üzerine kurulacak panellerle üretilen enerji yaklaşık 355 MWh/yıl olduğu ortaya konmuştur.

Yalova Üniversitesi merkez kampüste bulunan iktisadi ve idari bilimler fakültesi, hukuk fakültesi ve rektörlük binalarının mimarisi mühendislik fakültesine benzediğinden bu binalardaki mimari tasarım ile meydana gelen değişikliklerden bahsedilmemektedir. Ancak, mühendislik fakültesinden elde edilen artış oranlarının yaklaşık olarak bu binalardan elde edilebileceği ortaya konmuştur. Merkez kampüste bulunana bir diğer inceleme yapılacak olan bina ise islami ilimler fakültesidir. Şekil 8 mevcut fakültenin 3D modelini mimari özelliklere ve binadaki gölge unsurlarına dokunmadan göstermektedir. Önceki paragraflarda bahsedildiği üzere mühendislik fakültesinin açık çatı olduğu ve bu çatının kademeli bir şekilde ve kademe basamaklarının kuzey cepheye doğru arttığı ve bundan dolayı güney kesimde kalan kısmın kuzeyde kalana herhangi bir gölge oluşturmayıp panel kurulumu için uygun olduğu bahsedilmişti. Ancak mevcut islami ilimler fakültesine bakıldığında binanın ön ve arka cephelerinin yine kuzey batı ve güney doğu yönüne baktığı ancak açık çatı modelindeki kademe artışlarının kuzeyden güneye doğru olduğu görülmektedir. Bu da en güney cephede kalan tarafın en yüksek olduğunu ortaya koymakta, kuzey yönde ve alçakta kalan çatı bölgelerine güney yöndeki yükseltinin gölge oluşturacağını göstermektedir. Yapılan simülasyonlar sonucunda çatıdaki unsurların ve çatı yapısının çatı yüzey alanında yaptığı gölge miktarının ne kadar çok olduğu Şekil 8’de ortaya konmaktadır. Gölge kısımlarda verimli enerji üretimi olmayacağından bu alanlara panel kurulumu fizibil değildir ve bundan dolayı benzetim programı panel yerleşimi yapmamaktadır. Binanın mimari planı solar enerji bakımından tamamen yanlış olup mevcut durumdaki panel yerleşimi (146 adet 230W) ile 43,9 MWh/yıl’lık enerji üretimi gerçekleştirilmektedir.



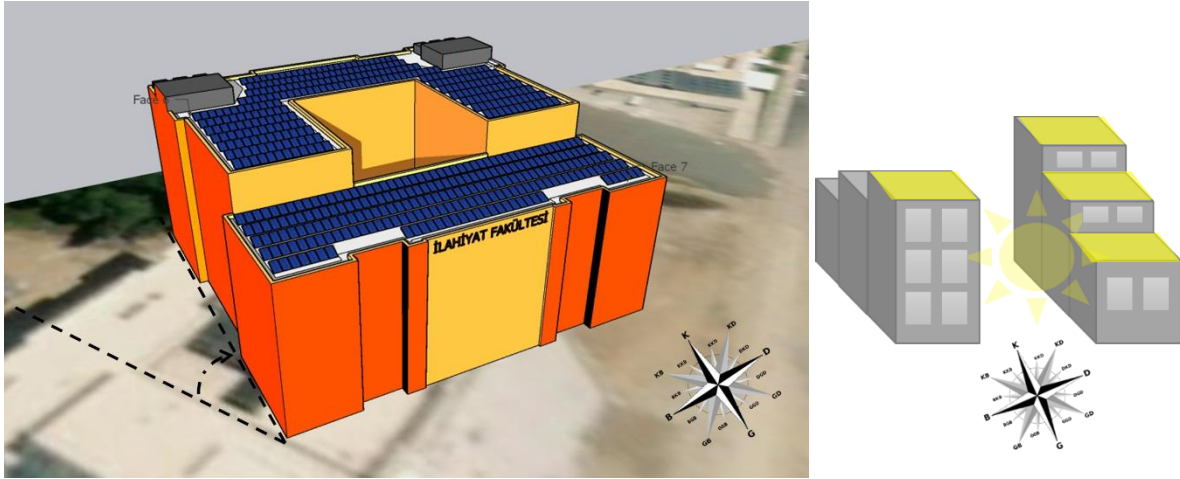
Şekil 8. İslami ilimler fakültesinin mevcut tasarımına ait çatı üzeri güneş panelli 3D çizim ve gölgeleme görseli

İslami ilimler fakültesinin mevcut durumda aylara göre üretebileceği enerji miktarı iki farklı benzetim programına göre Şekil 9’da gösterilmiştir. Diğer binalarda olduğu gibi burada da en fazla üretim temmuz ayında olurken en az üretim aralık ayında gerçekleşmiş ve ikisi arasında 2,9 katlık bir fark söz konusudur. PVGIS ile yapılan çalışmada yıllık enerji üretimi 43,9 MWh çıkmışken PVWatts ile yapılan çalışmada 46,8 MWh çıkmıştır. İki değer birbirine yakın değerler olup binanın mevcut halinin üretim potansiyelinin 44-47 MWh/yıl olduğunu ortaya koymaktadır.

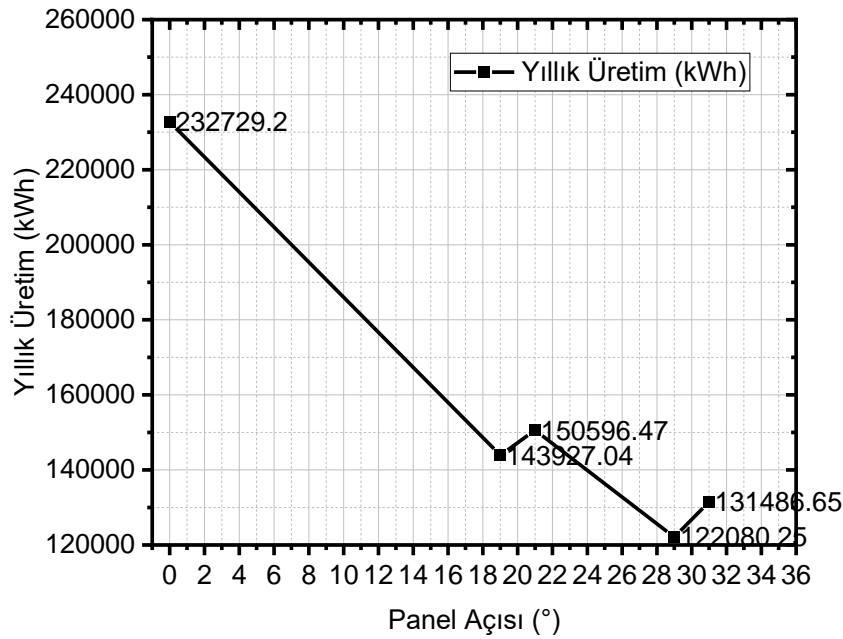


Şekil 9. Aylara göre İslami ilimler fakültesinde mevcut durumda üretililecek enerji miktarlarının karşılaştırması

İslami ilimler fakültesinin mimari açıdan iyileştirilmiş hali Şekil 10’da gösterilmektedir. Binada yapılması gerekenler sırasıyla binanın yönünün kuzey batı ve güney doğu değil de kuzey ve güneye bakması, çatının kat yüksekliğinin kuzeyden güneye değil de güneyden kuzeye doğru artması sağlanmalıdır. Bu şekilde binanın çatısına kurulabilecek olan PV panellerle üretilen enerji miktarında artış olacaktır. Binanın yönünün kuzey ve güney olması panel kurulumu esnasında azimut açısına ihtiyaç duyulmamasına ve bu şekilde daha fazla panel yerleşimi ile üretililecek enerjinin artmasına neden olmaktadır. Çatının yükselme yönü ise mühendislik fakültesindeki tasarım gibi olmalı ki güney yönde kalan duvarların gölgesinin kuzeydekilerin üzerine düşmesi engellensin ve maksimum oranda güneş enerjisinden yararlanılsın. Yapılacak olan diğer mimari değişiklikler ise çatı kenar duvarlarının yüksekliğini yarıya düşürmek ve güney cephede kalan baca, boru ve havalandırma gibi yerlerin kuzey cepheye alınmasını sağlamaktır.

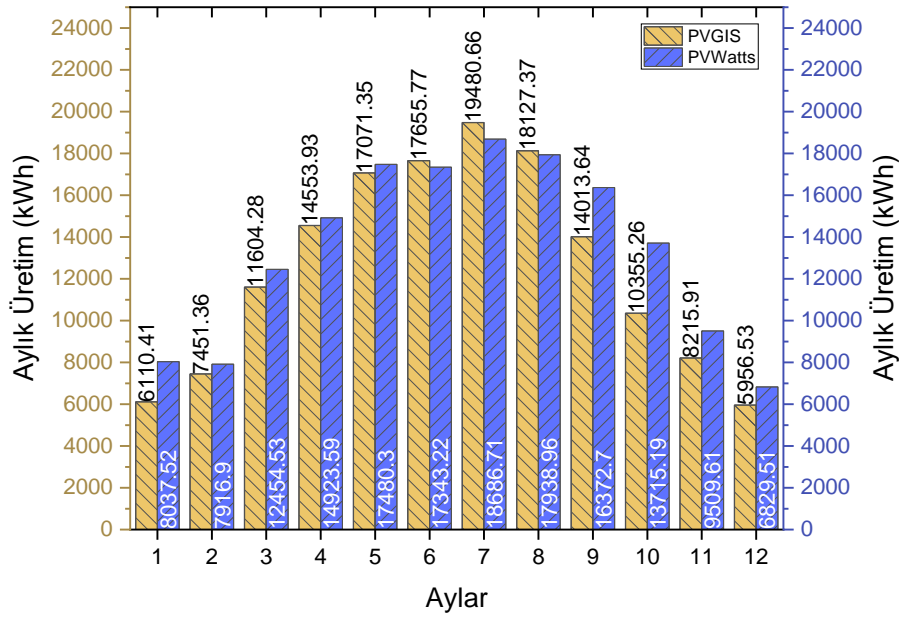


Şekil 10. İslami ilimler fakülte binasının enerji açısından düzenlenmiş mimari görseli ve farklı yönde çatı yüksekliğine sahip binaların güneşlenme gösterimleri (sol şekildeki kesikli çizgiler binanın optimum enerji üretimi için panel yönlerinin tam olarak güneye bakmasını sağlayabilecek gerekli açısız değişikliği göstermektedir)



Şekil 11. Farklı panel açılarıyla İslami ilimler fakülte binasının iyileştirilmiş durumu (gölgelemeden dolayı panel açısına bağlı olarak kullanılan panel sayısı da değişiklik göstermiştir)

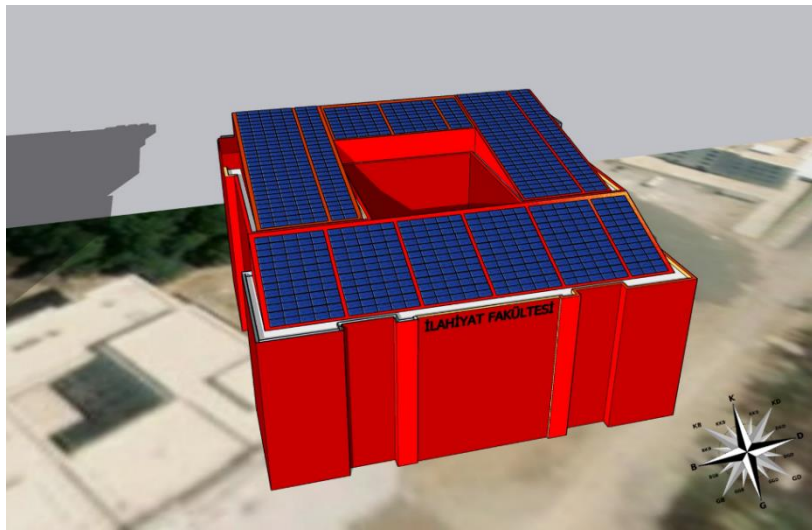
İslami İlimler Fakültesinin güneş enerji potansiyelini arttırmak için bina mimarisinde yapılan değişiklikler sonucunda üretilen yıllık enerji miktarları panel kurulum açılarına bağlı olarak Şekil 11'de görülmektedir. Çatı zeminine herhangi bir eğim açısı olmadan kurulum yapıldığında 870 adet 230 W'lık panelin kurulması sağlanmış olup 232,7 MWh/yıl'lık enerji üreteceği bulunmuştur. Ancak; mühendislik fakültesi binasında da yaptığımız yorum her hâlükârda geçerli olup bakım onarım için gerekli mesafelerin gelmesi olmazsa olmazlar arasındadır. Dolayısıyla panel kurulumu açılı olarak olmalı ve diziler arasında bakım onarıma izin verecek mesafeler olmalıdır. İlgili binadaki en uygun eğim açısının bulunması için dört farklı eğim değerine sahip kurulum gerçekleştirilmiş ve Şekil 11'de bu panellerden üretilebilecek yıllık enerji miktarı gösterilmiştir. 19°'lik eğim açısı 488 panel adedi ile 144 MWh/yıl (488 panel), 21°'lik eğim açısı 508 panel adedi ile 150,5 MWh/yıl ve 29°'lik eğim açısı 407 panel adedi ile 122 MWh/yıl'lık enerji üretimine imkân sağlamaktadır.



Şekil 12. İyileştirilmiş durumdaki İslami ilimler fakülte binasında 21° panel açısıyla kurulmuş enerji santralinden aylara göre elde edilebilecek üretim değerlerinin iki farklı benzetim programına göre karşılaştırılması

Görüldüğü gibi mevcut bina için en uygun açının 21° olduğu ortaya konmuş ve bu haliyle elde edilebilecek enerji miktarının mevcut mimari tasarımda elde edilebilecek enerjiye göre 3,42 katı olacağı bulunmuştur. İnşaat maliyetinde herhangi bir değişikliğe yol açmadan sadece mimari planda ve konumda yapılan bu değişikliklerin solar enerjiden daha fazla yararlanılmasına ve 106,6 MWh/yıl'lık daha fazla enerjinin üretilmesine neden olmaktadır. Sadece solar mimariye dikkat ederek, ekstra maliyete gerek kalmadan 64 ton'luk CO₂'nin atmosfere salınımının önüne geçilmiş olacaktır.

Mühendislik fakültesinde olduğu gibi, İslami ilimler fakültesinde de ekstra maliyet ile eğimli çatı yapılması mümkündür. Bu hem daha fazla panel kurulumu ile yüksek elektrik enerjisi üretimine izin verecek hem de çatı altında personel için ofis alanlarının açılması sağlanabilecektir.



Şekil 13. İslami ilimler fakülte binası eğimli çatı modeli ve panel kurulum görseli

İslami ilimler fakülte binası için tasarlanan başka bir model ise çatılı halidir. Bu tasarımda panellerin konstrüksiyon kullanılmadan direkt olarak yüzeye montajı amaçlanmıştır. Şekil 13 binanın çatılı halini göstermekte olup panel kurulumu direkt olarak çatı zeminine yapılmıştır. Çatı mevcut duvar yüksekliğinde oluşan açığa göre tasarlanmıştır. Güney cephede kalan kısmın açısı 16,89° olup kuzeye bakan ikinci bölgenin eğim açısı ise 21,97°'dir. Çatılı haliyle ve tüm yüzeye panel yerleşimi yapılması suretiyle elde edilebilecek enerji değeri 304 MWh/yıl olarak bulunmuştur. Binanın mevcut ve kullanımda olan hali 43,9 MWh/yıl'lık enerji üretim potansiyeline sahipken basit değişikliklerle üretim potansiyeli 150,5 MWh/yıl'a ve eğimli çatı tasarımı ile 304 MWh/yıl'lık enerji üretilbileceği bulunmuştur. İlk durum ile son durum arasında neredeyse yedi kat fark olup 260 MWh'lik fazladan enerji üretimi sağlanmış olacaktır (43,9 MWh→150,5 MWh→ 304 MWh). Türkiye'de dört kişilik bir ailenin yıllık enerji tüketiminin 3000 kWh olduğu düşünülürse, fazladan üretilebilecek olan bu değer yaklaşık 87 hanenin bir yıllık enerji ihtiyacını karşılayabilecek büyüklüktedir.

Önceki paragraflarda belirtildiği gibi çalışma ağırlıklı olarak kampüs içerisindeki mühendislik ve islami ilimler fakülte binaları üzerinden yapılırsa da Yalova ilindeki birçok kamu binasının mevcut ve solar enerji için optimize edilmiş halleri de çizilmiş ve gerekli simülasyonlar yapılarak enerji üretim potansiyelleri karşılaştırılmıştır.

Herhangi bir değişiklik yapmadan belediye binası, devlet hastanesi, il emniyet müdürlüğü, belediye otoparkı ve valilik binasına montajı yapılabilecek 230W'lık panel sayısı sırasıyla 156, 478, 72, 531 ve 139'dur. Yapılan basit değişiklikler daha öncesinde bahsedildiği gibi çatı kenar duvar yüksekliğinin azaltılması, baca havalandırma unsurlarının binanın kuzey tarafına alınması ve bazı binalarda uygun olmayan eğimli çatının kaldırılması olmuştur. Şekil 14 binaların mevcut ve solar mimari açısından optimize edilmiş hallerindeki durumu ve kurulabilecek fotovoltaik panel yerleşimini göstermektedir. Her ne kadar kampüs içerisinde incelenen binalarda eğimli çatı eklenmesiyle üretilebilecek enerji miktarının önemli oranda artacağı belirtilmiş olsa da her bina kendi özelinde incelenmelidir. Yalova il emniyet müdürlüğüne ait bina eğimli bir çatıya ve uygun bir yöne sahip olsa da çatının yapısı gereği yüksek enerji üretimine izin vermemektedir. Bu gibi durumlarda kırma çatı yerine beşik çatı veya açık çatı modeli kullanılmalıdır.

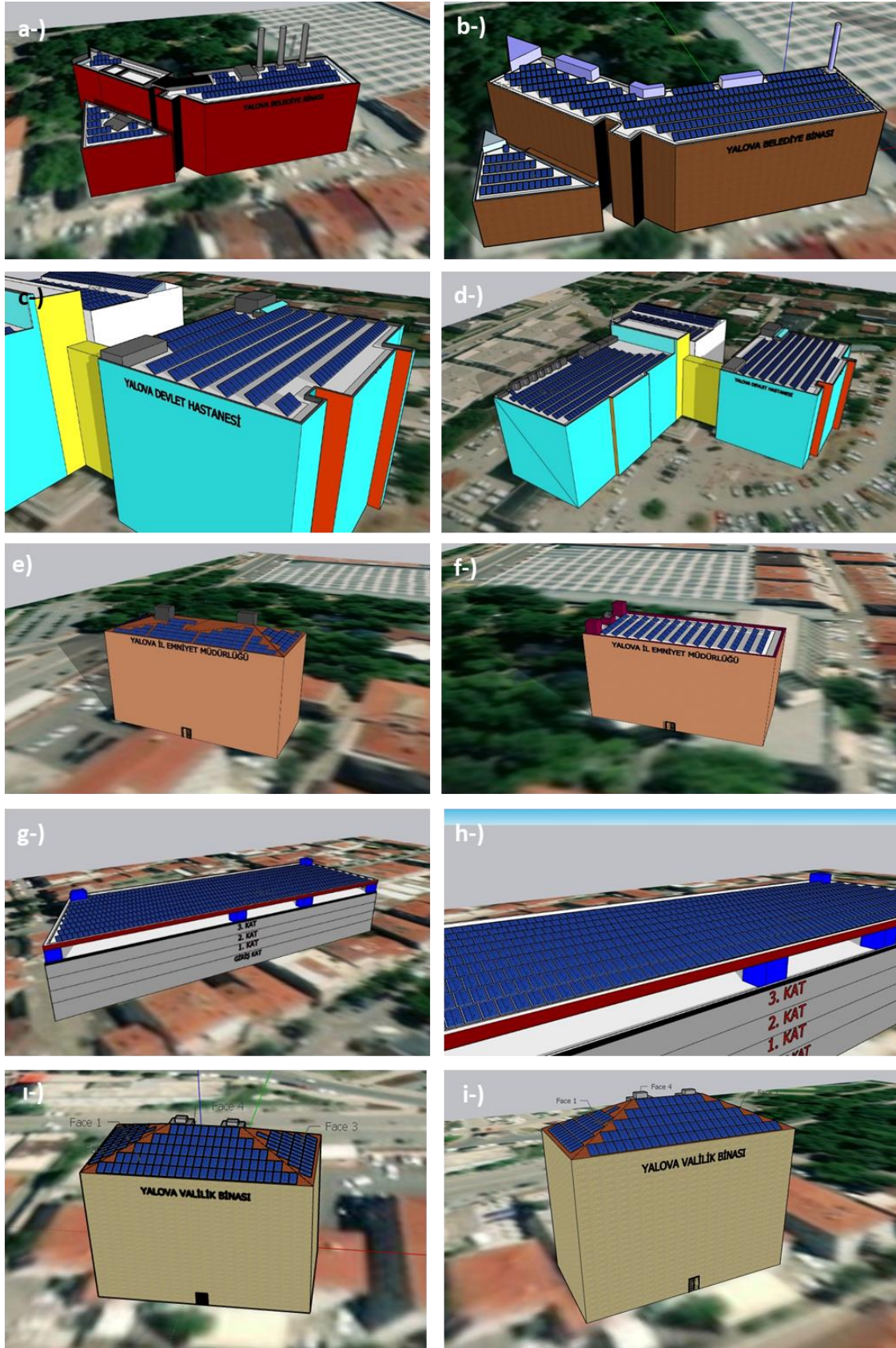
Tablo 2. Kamu binalarının mevcut ve iyileştirilmiş durumdaki farklı panel eğim açılarıyla elde edilmiş yıllık enerji üretim değerleri ve kullanılan panel sayıları (*bakım-onarım açısından mümkün olmayan durum)

| | Mevcut Durum | | İyileştirilmiş Durum | | | | | | | | | | Geliştirme Çarpanı | |
|----------------------|--------------|---------------------|----------------------|---------------------|-----------------|---------------------|-----------------|---------------------|-----------------|---------------------|-----------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| | Panel sayısı | Yıllık üretim (kWh) | 0° panel açısı | | 19° panel açısı | | 21° panel açısı | | 29° panel açısı | | 31° panel açısı | | | |
| | | | Panel sayısı | Yıllık üretim (kWh) | Panel sayısı | Yıllık üretim (kWh) | Panel sayısı | Yıllık üretim (kWh) | Panel sayısı | Yıllık üretim (kWh) | Panel sayısı | Yıllık üretim (kWh) | Panel sayısı | Yıllık üretim (kWh) |
| Devlet Hastanesi | 478 | 143.207,91 | - | - | 809 | 235.094,3 | 828 | 240.763,7 | 713 | 208.071,8 | 697 | 203.045,7 | | 1,68 |
| Belediye Binası | 156 | 47.254,63 | - | - | 344 | 102.432,7 | - | - | 354 | 126.566,4 | 286 | 86.710,2 | | 2,67 |
| İl Emniyet Müdürlüğü | 72 | 24.682,95 | 165 | 44.541,7 | 98 | 29.176,4 | 92 | 27.532,1 | 88 | 26.650,9 | 80 | 34.320 | | 1,8* 1,3 |
| Belediye Otoparkı | 531 | 167.476,55 | - | - | 774 | 230.382 | 731 | 218.704,8 | 636 | 192.541,36 | 689 | 280.760,6 | | 1,68 |
| Valilik Binası | 139 | 39.452,68 | - | - | - | - | 193 | 51.023,7 | 139 | 29.205,4 | 140 | 29.205,4 | | 1,29 |

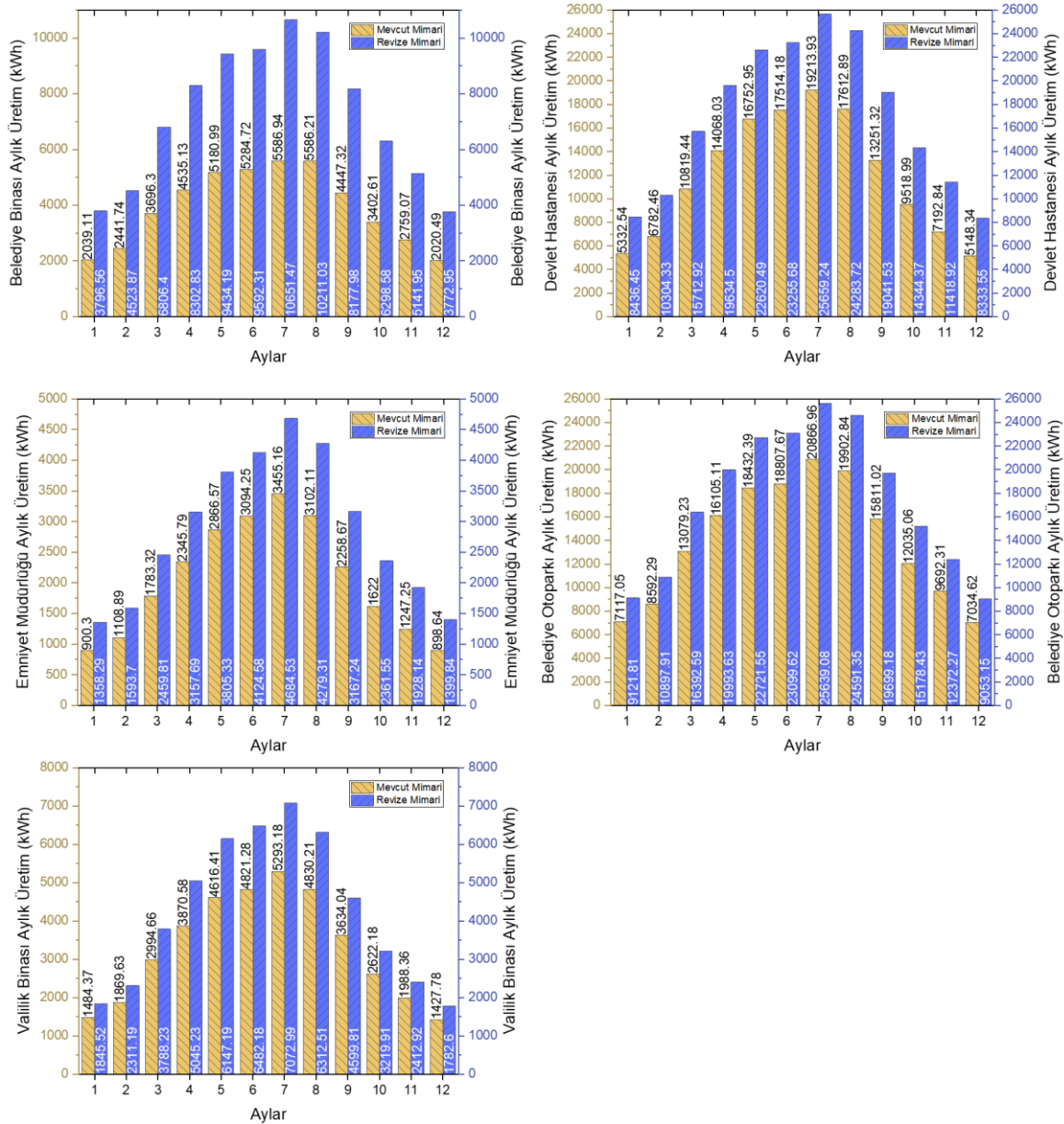
Tablo 2 diğer kamu binalarının mevcut ve iyileştirilmiş durumdaki farklı panel açılarıyla elde edilebilecek yıllık enerji miktarını göstermektedir. Görüleceği üzere basit mimari plan değişiklikleri ile enerji üretim potansiyeli tüm binalar için ortalama %70 oranında artarak mevcut duruma göre 1,5-2,5 katı oranlarda enerji üretilmesi sağlanmaktadır. Şekil 15 bu binaların mevcut ve geliştirilmiş hallerinin aylara göre üretilen enerji değerlerini göstermektedir. Enerji üretim farklılığının en fazla olduğu aylar yaz aylarında olmakla birlikte kış aylarına doğru düştüğü ve kış aylarından yaz aylarına doğru gittikçe arttığı görülmektedir. Basit dokunuşlarla meydana gelen elektrik enerjisi üretim artışı ile tonlarca CO₂'nin doğaya salınmasının önüne geçilmiş ve milli sermayenin ülkemizde kalması sağlanmış olacaktır.

Şekil 16'ya bakıldığında Yalova ili sınırları içerisinde yer alan birçok kamu binasının çatı üzeri güneş enerji santrali ile üretilen enerji miktarları görülmektedir. Kampüs içerisinde yer alan binaların iki farklı revize planı yapılmış olup 1. Mimari revizyon tüm binalar için

sadece basit ve bina yapımı esnasında ekstra maliyet gerektirmeyen değişiklikleri içerirken 2. Mimari revizyon planı ekstra bütçeye ihtiyaç duyulan eğimli çatı kurulumunu içermektedir.

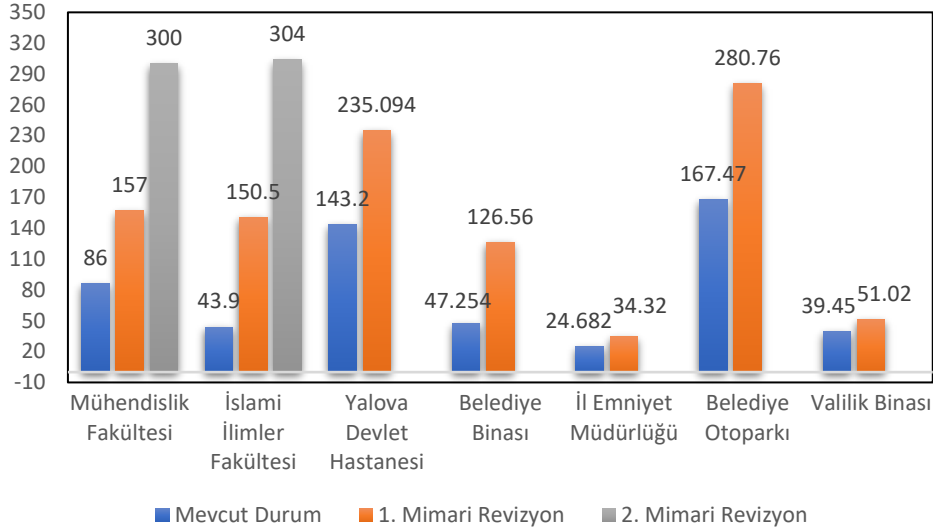


Şekil 14. Farklı kamu binalarının mevcut ve optimize edilmiş mimariye sahip panel yerleşimli 3D görselleri (belediye otoparkı ve valilik binasındaki değişim sadece gölge unsurlarının kuzey yöne alınmasıdır)



Şekil 15. Mevcut ve iyileştirilmiş durumdaki kamu binalarının aylara göre enerji üretim miktarları.

Grafik incelendiğinde binalardaki enerji artış oranlarının mühendislik fakültesi, islami ilimler fakültesi, devlet hastanesi, belediye, il emniyet müdürlüğü, belediye otoparkı ve valilik binalarında yüzde olarak sırasıyla 82,55 (248,83) / 242,82 (592,48) / 64,17 / 167,82 / 39,04 / 67,64 ve 29,32 olduğu bulunmuştur. Parantez içindeki ifadeler 2. Mimari revizyon planı ile gerçekleşen artış oranını vermektedir. Elde edilen bu sonuçlardan güneş enerji potansiyelinden yararlanma açısından mimari tasarımı uygun olmayan binanın islami ilimler fakültesi başta olmak üzere Yalova belediye binası olduğu ortaya konmuştur. Mimari açıdan güneş enerjisinden maksimum oranda yararlanabilecek binaların ise valilik ve il emniyet müdürlüğü binaları olduğu ortaya konmuştur. Ancak bu binalarda dahi yapılabilecek mimari dokunuşlarla %30-40 aralığında daha fazla güneş enerjisinden elektrik elde edilmesi mümkün olabilmektedir.



Şekil 16. Kamu binalarının mevcut ve çeşitli mimari revizyonlar sonrası çatı üzeri kurulu enerji santrali ile yıllık üretebileceği elektrik enerji değerlerinin karşılaştırılması (MWh)

IV. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Fotovoltaik hücreler yüksek enerji üretim potansiyeline sahip olmasına rağmen büyük bir alana ihtiyaç duyduğundan uygulama konusunda bazı sıkıntılar doğurmaktadır. Binalarda hali hazırda bulunan çatı yüzeyleri fotovoltaik panel kurulumu için uygun olup günden güne çatı üzeri panel kurulumu artmaktadır. Bu çalışmada gösterildiği gibi tasarlanan binaların birçoğu solar mimari açısından irdelenmemiş ve potansiyelinin çok altında enerji üretim kapasitesine sahiptir. Bu çalışmada Yalova'daki bazı kamu binalarının güneş enerji potansiyellerini analiz etmek için çeşitli çizim ve benzetim programları kullanılmış ve binaların mevcut ve geliştirilmiş mimarili halleriyle üretilebilecek elektrik enerji potansiyeli ortaya konmuştur. Yapılan mimari tasarım değişiklikleri iki gruba ayrılmış ve incelenmiştir. Birinci grup yapım esnasında mevcut haline göre ekstra yatırım maliyetine gerek kalmadan yapılacak basit değişiklikleri içerirken, ikinci grup eğimli çatı kurulumu için ekstra yatırım maliyeti gerektiren değişiklikleri içermektedir. Her iki durum da mevcut duruma göre elektrik enerji üretimini büyük oranda arttırmıştır. Basit değişikliklerle modifiye edilen mimari planın enerji üretim potansiyelini %242,82, eğimli çatı inşası ile elde edilebilecek enerji potansiyelinin ise %592,48'e kadar arttırdığı yapılan çalışmalarla gösterilmiştir. Yapılan bu değişikliklerle yüzlerce ton CO₂ ve diğer zararlı gazların atmosfere salınması önlenmiş ve katkı sağlanan enerjiyle yüzlerce hanenin yıllık enerji ihtiyaçlarını karşılayacak miktarda enerji üretilmiştir. Basit ama dikkate alındığında ne kadar etkili olduğu gösterilen bu mimari yaklaşımlarla milli sermayenin ülkede kalması ve enerji bağımsızlığı için katkıda bulunulması sağlanmıştır. Bu çalışma birçok alanda mimari planların solar enerji göz önünde bulundurularak hazırlanmasını sağlayacak ve bu şekilde enerji konusunda bağımsız bir ülke olma yolunda katkı sağlayacaktır.

TEŞEKKÜRLER

Yapmış olduğum bitirme projemde, yanımda olan ve desteğini hiç eksik etmeyen, projeye ve makaleye yeni bir boyut kazandıran değerli hocam Doç. Dr. Sunay Türkdoğan'a teşekkürü borç bilirim.

KAYNAKLAR

- [1] Kefif N, Melzi B, Hashemian M, Assad MEH, Hoseinzadeh S (2022) Feasibility and optimal operation of micro energy hybrid system (hydro/wind) in the rural valley region. *International Journal of Low-Carbon Technologies* 17: 58-68.
- [2] Dikmen Ç, Gültekin A (2011) Usage of renewable energy resources in buildings in the context of sustainability. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi* 1(3):96-100.
- [3] Kalogirou SA (2015) Building integration of solar renewable energy systems towards zero or nearly zero energy buildings. *International Journal of Low-Carbon Technologies* 10(4):379-385.
- [4] Kılıç MY, Dönmez T, Adalı S (2021) Bursa ve Karaman illerinde konutlarda güneş enerji potansiyelinin uygulanabilirliğinin araştırılması. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi* 26(2):421-432.
- [5] Kaynar NK (2020) Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisinin Amasya ilindeki potansiyeli. *Bilge International Journal of Science and Technology Research* 4(2):48-54.
- [6] International Energy Agency, Assessing the effects of economic recoveries on global energy demand and CO₂ emissions in 2021, Paris: International Energy, 2021.
- [7] TEİAŞ, 2022 yılı aylık elektrik üretim tüketim raporları, istanbul: TEİAŞ, 2022.
- [8] Kadırgan P (2010) Binalarda güneş enerjisi uygulamaları p. 19
- [9] Wall M, Probst MCM, Roecker C, Dubois MC, Horvat M, Jørgensen OB, Kappel K (2012) Achieving solar energy in architecture-IEA SHC Task 41. *Energy Procedia* 30:1250-1260.
- [10] Baldwin E (2021) Solar design: how architecture and energy come together. *ArchDaily*.
- [11] Aksungur KM, Kurban M, Filik ÜB (2013) Türkiye'nin farklı bölgelerindeki güneş ışınım verilerinin analizi ve değerlendirilmesi. *Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, Eskişehir*, 3-6.
- [12] Türe PE (2008) Çatı malzemesi olarak güneş enerjisi sistemleri, 4. Ulusal Çatı ve Cephe Kaplamalı Çağdaş Malzeme Ve Teknolojiler , İstanbul, 2008.
- [13] ÇİFCİ A, ALTUNDAĞ E (2017) Burdur bölgesi güneş enerjisi potansiyelinin elektrik üretiminde kullanılabilirliği. *Mesleki Bilimler Dergisi (MBD)* 6(2):111-120.
- [14] Konu: Resmi İstatistikler, <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?> Erişim Tarihi: 10.02.2021.: T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü,, 2021.
- [15] Kanters J, Wall M, Dubois MC (2014) Typical values for active solar energy in urban planning. *Energy Procedia* 48:1607-1616.

- [16] Kim SY, Choi HS, Eum JH (2018) Energy-independent architectural models for residential complex plans through solar energy in Daegu Metropolitan City, South Korea. *Sustainability*, 10(2): 482.
- [17] Tzivanidis C, Bellos E (2018) Solar energy utilization in buildings. *Recent Advances in Renewable Energy* 3:119-165.
- [18] Chel A, Kaushik G (2018) Renewable energy technologies for sustainable development of energy efficient building. *Alexandria engineering journal*, 57:655-669.
- [19] Sayın S, İlhan KOÇ (2011) Güneş enerjisinden aktif olarak yararlanmada kullanılan fotovoltaik (PV) sistemler ve yapılarda kullanım biçimleri. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi* 26(3):89-106.
- [20] Yılmaz Z (2006) Akıllı binalar ve yenilenebilir enerji. *Tesisat Mühendisliği Dergisi* 91(7):15.
- [21] Satpathy PR, Sharma R, Panda S (2021) January. Optimal Sizing, Placement and Shading Analysis of a 19.2 kW Grid-Tied Residential Roof-Top PV System. In *2021 1st Odisha International Conference on Electrical Power Engineering, Communication and Computing Technology (ODICON)* (pp. 1-6). IEEE.
- [22] W.Paul: NASA surface meteorology and solar energy database, 2011.
- [23] Ayadi O, Al-Dahidi S (2019) Comparison of solar thermal and solar electric space heating and cooling systems for buildings in different climatic regions. *Solar Energy* 188:545-560.
- [24] Urcelay AD, Estimation of the photovoltaic potential integrated in buildings in the facilities of the Naval Military School, University Defense Center at the Naval Military School, Spain, 2015-2016.