

Bölüm 17

EĞİTİM YAPILARINDA GÜNEŞ PANELLERİNİN KULLANIMLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE MİMARİ TASARIMA ETKİSİ



Setenay UÇAR¹
Muhammet Fatih AK²

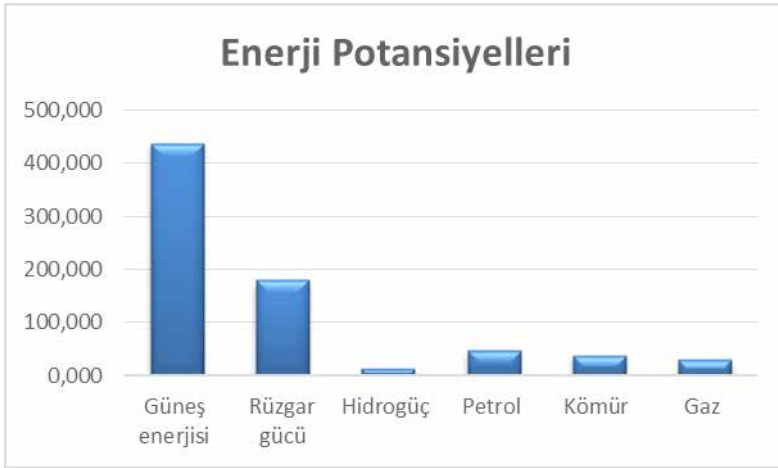
¹ Öğr. Gör., Antalya Bilim Üniversitesi, setenay.ucar@antalya.edu.tr

² Dr. Öğr. Üyesi, Antalya Bilim Üniversitesi, fatih.ak@antalya.edu.tr

1. Giriş

Günümüzde teknoloji ve nüfusun hızlı bir şekilde artması, sanayi devriminden sonra enerji ihtiyacını karşılamakta fosil yakıtların kullanımlarını arttırmıştır. Özellikle tükenbilir kaynaklardan olan kömür, petrol ve doğalgaz gibi çevreye zararlı gaz salınımı veren ve tüketim miktarı arttıkça fosil yakıtların tükenmesine yol açan bu enerji ihtiyacında farklı kaynaklara yönelimler gerekmektedir. Küresel ısınmanın artması ve sera gazı ile birlikte iklim değişikliklerinin yaşanmasının sebebi olarak gösterilen fosil yakıt tüketimine alternatif olarak yenilenebilir enerjiler kullanılması gerekmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji bunlardan birkaçıdır. Özellikle güneş enerjisi tüm fosil kaynaklardan ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından daha fazla enerji üretimi sağlamaktadır (Uçar 2018). Wikipedia'ya göre, yenilenebilir enerji kaynaklarının yıllık potansiyelleri sırasıyla Güneş enerjisi 438,000 TWh, rüzgar gücü 180,000 TWh, hidrogüç 14,000 TWh buna karşılık tükenmekte olan kaynaklar olan fosil enerji kaynakları ise sırasıyla petrol 48,204TWh, kömür 38,497TWh, gaz 30,134 TWh olarak verilmektedir (Url-10, 2019).

Tablo 1. Yenilenebilir ve fosil kaynakların enerji potansiyel tablosu



Mimaride de güneş enerjisinin kullanımları oldukça yaygındır. Su ısıtma ve elektrik ihtiyacını karşılamak üzere kullanılan güneş panelleri, Türkiye'de özellikle su ısıtmak için kullanımları yaygındır. Kollektör adı verilen bu sistemlere ek olarak güneşten daha fazla yararlanabilmek ve elektrik ihtiyacını karşılayabilmek için güneş panellerini (diğer adıyla fotovoltaik paneller) kullanmak elektrik tasarrufu ve ülkenin dışa bağımlılığını azaltması açısından önemlidir. Bununla birlikte fosil kaynakların tükenmesini engellemek, çevreye daha duyarlı ve ekolojik dengeyi bozmayan sistemler olması güneş panellerinin daha sağlıklı sonuçlar verdi-

ğini göstermektedir. Biyoçeşitliliğin azalmasını engellemek, su kaynaklarında kirliliğin engellenmesi ve kirli havanın oluşumunun önüne geçen güneş panellerinin kullanımları tüm canlılar için önemi büyüktür. Ancak güneş panelleri kullanımında bazı dezavantajlar da bulunmaktadır. Bulutlu günlerde elektrik üretiminin veriminin düşmesi, nemli bölgelerde güneşten gelen ışınların engellenmesiyle elektrik üretiminin olumsuz olarak etkilemesi, toz veya kar gibi güneş ışınlarının panellere ulaşmasını engelleyen bazı faktörlerin olması, güneşe göre yönlendirilmemesi ve çevresinde ağaç-bina gibi gölge yaratacak elemanların olması elektrik üretimini olumsuz olarak etkilemektedir. Güneş panellerinin özellikle mimari yapılarda kullanımları arazilerin üzerinde gereksiz yer kaplamalarını engellemek açısından önemlidir. Bu nedenle mimari olarak güneş panelleri çatılarda, cephelerde, rüzgarlık ve güneş kırıcı olarak uygulanmaktadır ancak güneş panellerinde mevcut yapıya sonradan entegre edildiklerinde estetik olarak bina ile bütünlük göstermemektedir (Danacı ve Gültekin, 2009). Bunların yanında kurulum maliyetlerinin yüksek olması da amorti sürelerini uzatmasına neden olmakta ve bu yüzden güneş panellerine yönelimler az olmaktadır.

Eğitim yapılarının kullanıcıları olan öğrencilere, gelişim süreçlerinde sürdürülebilirlik kavramı hakkında bilinçlenerek deneyim sağlamaları, geri dönüşüm ve yenilenebilir enerjiler hakkında farkındalık sağlamaları gelecek nesillere bir model olarak öğrenmelerinde katkıda bulunacaktır. Murphy ve Thorne'a (2010) göre, küçük yaşta öğrencilere eğitimlerin verilmesi ve uygulama olarak gösterilmesi geleceğe büyük bir potansiyel sağlamaktadır. Gün ışığına göre yönlendirilen binalarda güneş panellerinin yönlendirilmesinin önemi ve faydaları hakkında bilinçlenen öğrenciler ileride yatırım olarak kendileri de kullanacaklardır (Murphy ve Thorne, 2010). Okullarda enerji etkinliği sağlayan sistemlerin kullanılması, çocuklara yapılan çevreyle dostluk, enerji koruma ve kullanımı ile ilgili anlatımları desteklemektedir (Şahin ve Dostoglu, 2015). Prakash ve Fielding (2007), çocukların enerji etkinliği açısından bilinç kazanabilmeleri için, okullarda güneş panelleri gizlemek yerine, görülebilecekleri farklı yerlere yerleştirilmesinin ve ayrıca bu sistemden kazanılan enerjiyi izleyebileceği bir takip sisteminin de bulunmasının yararlı olacağını ifade etmektedir (Şahin ve Dostoglu, 2015). Davis'e (2010) göre, öğrencilere sürdürülebilirlik hakkında eğitimler verilmesi dışında duyarlı olabilmeleri için teorik eğitim dışında uygulamalı olarak da gösterilerek eğitimin günlük hayata etkisinin öğrenilmesi gerektiğini vurgulamaktadır (Davis, 2010). Yapılan araştırmalara göre gün ışığının yetersiz olması o mekanda bulunan insanların çalışma performansını ve verimlerini etkilediği ortaya çıkmıştır (Leslie, 2003).

2. Güneş panelleri kullanımının eğitim yapıları tasarımına etkisi

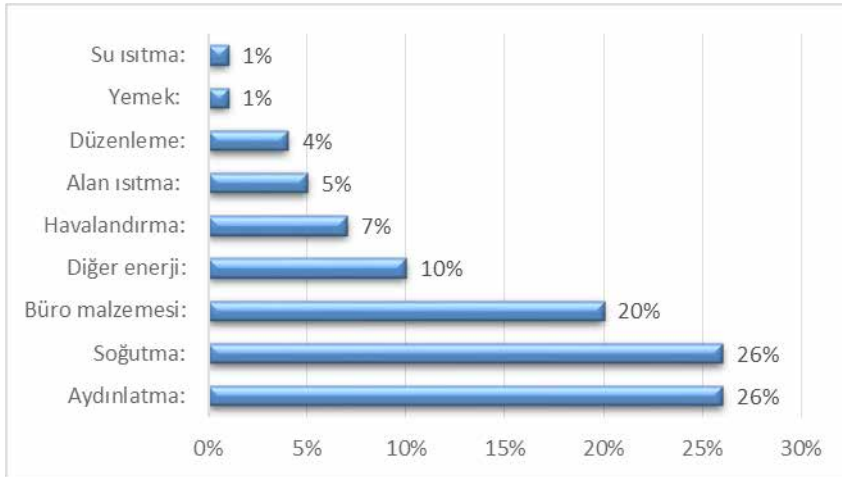
Eğitim yapılarının tasarlanması öncesinde tasarım aşamasında düşünülmesi gereken enerji etkin tasarım yaklaşımları bulunmaktadır. Bu yaklaşımlar binanın enerji korunumunu gerçekleştirmesi, aktif ve pasif iklimlendirmelere önem verilmesi, çevreye duyarlı olması ve tükenbilir enerji kaynaklarından olan fosil yakıt kullanımını azaltan hedeflerinin olmasıdır. Binaın güneşe göre yönlendirilmesi, yapı kabuğunun enerjiyi aktif kullanabilmesi için tasarlanması, binanın çevre binalara göre konumu ve doğal havalandırmayı sağlayabilmesi için önem taşımaktadır (Demircan ve Gültekin, 2017). Eğitim yapısı tasarlanırken bu faktörler göz önüne alınarak uygulanırsa öğrencilerin gün ışığından daha da faydalanabileceği öngörülmektedir. Günümüze kadar yapılan çalışmalara göre güneşten gelen doğal ışığın önemi insan sağlığını etkilemekte ve çalışma performansını artırarak üretken olmasını sağlamaktadır. Bu araştırmalara göre doğal ışık ile üretkenlik arasında da ilişki olduğunu kanıtlamaktadır. Kayıhan ve Tönük'e (2011) göre, Güneş ışığının cilt için önemi D vitamini senteziyi sağlaması, metabolizma için enzim süreçlerini hızlandırması, hormonal faaliyetlerin artması, merkezi sinir ve kas sistemlerinin güçlenmesini sağlamaktadır (Kayıhan ve Tönük, 2011). Eğitim binalarında ise öğrencinin öğrenme potansiyelini arttırmak, ders süresince aktif olarak derse katılmak, konsantrasyonun artması ve öğrenme potansiyeli arasında doğal ışığın olmasının olumlu yönde önemli katkısının bulunduğu incelenmiştir. İç mekan aydınlatmasında yetersiz kalan günışığı, öğrencide hormonal dengenin bozulmasına, hastalıkların artmasına ve konsantrasyonun olumsuz olarak etkilenmesine neden olmaktadır. Kandilli ve diğerlerine (2009) göre, "Deneyisel çalışmalar, insan bünyesinin yirmi dört saatlik iç periyodunun düzenlenmesinden sorumlu olan 'melatonin' hormonu salgılanmasının, maruz kalınan günışığı düzeyine ve süresine bağlı olduğunu göstermektedir" (Kandilli vd, 2009). Güneşe göre yönlendirilen binaların öğrencilere psikolojik ve sağlık açısından bu kadar önemli iken güneş panellerinin kurulumu açısından da binanın yönlendirilişi çok önemlidir. Güneş panellerinin uygulanması için binanın güneşi en fazla alabilecek tarafa yönlendirilmesi ile hem derse katılım performansı artacak hem de güneşten alınacak olan maksimum enerji üretimi artacaktır.

Güneş panellerinin kullanımlarının artması için çevredeki yapılarda var olan uygulamaları görmek farkındalık yaratması açısından önemlidir. Çevreye ve insan sağlığına olan yararlarına rağmen günümüzde yapılarda güneş panelleri kullanımları yaygınlaşamamıştır. Özellikle maliyetinin yüksek olması sebebi ile güneş panellerine yönelik yatırımlar özellikle ülkemizde geri planda kalmıştır. Bunu arttırabilmek ve kullanım hakkında bilinçlenebilmek için örnek olması adına panellerin eğitim yapılarında kullanılması oldukça önemlidir. Eğitim yapıları halk ile iç içe ve herke-

sin ulaşabileceği bir konumdadır. Bu sebepten dolayı güneş panellerinin eğitim yapılarında kullanılması güneş panellerinin kullanımları ve avantajları hakkında farkındalığa yardımcı olabilir (Url-1, 2019). Özellikle öğrenciler çalışma prensiplerine ve kullanım avantajlarına bilinçli olarak farkına vararak gelecekte daha da ileriye adım atabilirler. Yenilenebilir enerjilerin kullanılması ile çevreye karşı duyarlı olmayı erken yaşta fark ederler. Kendi evlerinde, işyerlerinde, yatırım yaptıkları binalarda yenilenebilir enerjileri kullanma fırsatını bulup, kendi istekleriyle sürdürülebilir binalar için ilham olabilirler. Öğrencilere yenilikçi ve yaratıcı ortamlar sunan eğitim yapıları, çevreye duyarlı ve temiz enerjinin farkında olan yeni nesiller mezun edeceklerdir. Eğitim yapılarında da fazla maliyet engelinin önüne devletin verdiği teşvikler göz önüne alınarak kullanımları arttırılabilir.

Eğitim yapılarında kullanılan güneş panellerinin birçok faydası bulunmaktadır. Karbon izinin azaltılması ve elektrik üretimi yaparak tasarruf sağlanması eğitim kurumlarındaki gerekli enerji ihtiyacının sağlıklı koşullarla ve çevreye zarar vermeden karşılamaktadır. Eğitim binalarında elektrik tüketimi fazladır, özellikle bina aydınlatması ve mekan soğutma konusunda fazla elektrik tüketimi olduğu Tablo 2’de gösterilmektedir.

Tablo 2. Eğitim binasında elektrik tüketim ihtiyaç tablosu (Url-2, 2019).



Eğitim yapılarına ait bu elektrik tüketim ihtiyaç tablosu elektrik ihtiyacının bir okul için oldukça fazla olduğunu göstermektedir.

Güneş panel kurulumları eğitim binaları için uygun bir zemin hazırlamaktadır. Eğimli çatılara ek strüktürlü sistemlerle desteklenerek kurulumu yapılan güneş panellerinin, düz çatılarda da ek strüktürler ile bölgeye uygun eğim açısı sağlayabilmektedir. Binaya ek strüktür ile bağlanan güneş panelleri hariç bina ile bütünleşik sistemlerde yapılara daha proje halinde tasarım esnasında dahil edilebilir. Eğitim yapıları bu an-

lamda avantaj sağlamaktadır. Güneş panelleri gerekli elektrik ihtiyacını karşılamak için çok fazla panele ihtiyacı vardır. Bu sebeple eğitim yapıları bu kadar güneş panelinin kurulumu için çatılar ideal malzemelere ve geniş bir çatıya sahiptir. Çatılar güneşi en fazla alabilen alanlar olmasından dolayı eğitim yapılarının çatılara güneş paneli kurulması hem malzeme hem de kurulum açısından kolaylık yaratmaktadır. Çatıların uygun alan yaratması için eğitim yapılarının etrafında fazla binanın olmaması veya güneş panellerine gölgelendirme yapabilecek elemanların yer almaması gerekmektedir. Aynı şekilde cephe için düşünülecek olursa çevre bina ve ağaç gibi gölgelendirme elemanlarının olması elektrik üretiminde azalmaya sebep olmaktadır. Bu nedenle elektrik üretiminin cephelerde daha az avantajı olacağı öngörülmektedir. Ancak bir cephede güneş panelleri kullanımına olumlu örnek olan Danimarka’da 2017 yılında yapılmış olan Kopenhag Uluslararası Okulu çevresinde herhangi bir gölgeleme elemanı olmadan açık bir alanda olması güneş panellerini cephelerde kullanılmasına uygun hale getirmiştir (Gibson, 2017).

3. Güneş panellerinin tasarıma entegre edilebilecek çözümleri

Binaların çatıları, cepheleri, rüzgarlık vb. gibi monteleri yapılabilen güneş panellerinde birden fazla şekilde uygulama yapılabilir. Ancak burada önemli olan güneş panellerinin bina ile bütünlük sağlamasıdır. Yeni tasarlanan binalara uygulanacak olan güneş panellerinde böyle bir problem çok ortaya çıkmasa da mevcut binalara uygulanan güneş panelleri estetik olarak sorun yaratabilir. Binaların çatılarına monte edilebilen güneş panelleri bölgenin iklimine göre farklı kurulum şekilleri olabilir. Örneğin çatının kendi eğimi var ise güneş panelleri eğimden yararlanarak binaya entegre edilebilirler. Eğer düz bir çatı ise ve iklim koşullarına göre eğim açısının olması gerekiyor ise ek strüktürler ile istenilen eğim verilebilir (Uçar ve Kokulu, 2018). Çatılar güneşi en fazla alabilen alanlardır. Bu sebeple elektrik üretiminde genel olarak çatılara kurulum tercih edilmektedir. Rüzgarlık, gölgelik elemanları olarak güneş panelleri cephelerde kullanılabilir. Hem şeffaf hem de opak güneş hücrelerinin olması mekana güneş ışığını girmesinin kontrolünü de sağlayabilmektedir. Alternatif olarak okulun bir bölümünü tamamen güneş panellerine de ayrılabilir. Bunu yapan okullarda “Solar Lab” ismi verilen güneş panellerine yönelik bilinçlendirilmelerine yönelik ek yapılar kurulabilir (Url-3, 2019).

Güneş panellerinin tasarımda estetik kaygısı yaratmaması için mimarların tasarım aşamasında güneş panellerini binanın kendi malzemesi gibi kullanmaya yönelik tasarım yapması gerekmektedir. Ek strüktür ile yapıya dahil edilen güneş panelleri rüzgar ile birlikte doğal havalandırma ile panel sıcaklığını düşürerek daha verimli elektrik üretimini sağlayabilir. Bina ile bütün güneş panellerinde ise iklim koşullarına göre ek havalandırma sistemi gerekebilir. Binaya sonradan eklenen güneş panelleri, çatı

veya cephe malzemesinin uygun olmamasından dolayı güneş panellerinde oluşacak aşırı sıcaklık sonucu yangın çıkması (Serteser ve Arpacı, 2018), binaya önceden tahmin edilmeyen ek yük dahil edilmesi ve estetik olarak binaya bütünlük sağlayamayan durumlar ortaya çıkması öngörülmektedir. Bina üzerine uygulamaların mevcut yapıya ve yeni tasarlanan yapıya uygulanması olarak ikiye ayrılmaktadır.

3.1 Mevcut yapıda güneş panellerinin kullanılması

Güneş panellerinin mevcut olan yapının çatılarında kullanılması ek strüktür yardımı ile uygulanmaktadır. Her çatı tipine uygun olarak güneş paneli kullanılabilir. Örneğin eğrisel yüzeyli çatılar için düz güneş panelleri kullanmak yerine ince film güneş hücrelerinin kullanılması çatıya uygun şekilde uyum sağlayacaktır.

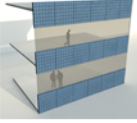


Şekil 1. *İnce Film güneş paneli eğrisel çatıda kullanımı (Demircan, 2016).*

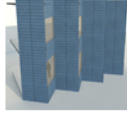
Şekil 1’de görülen ince film güneş panellerinde elektrik üretim verimi çerçeve sistemli güneş panellerine göre yarı yarıya düşmektedir. Bu sebepten bir eğitim yapısında kullanılacak olursa bu tür panellerin olması gerektiğinden daha fazla yer kaplayarak elektrik ihtiyacını karşılaması beklenebilir. Çerçevesiz sistem güneş panellerinin çatılara veya cephelere uygulanmasında bazı dezavantajlar bulunmaktadır. Ek strüktür ile yapıya dahil edilen bu sistemler binanın yükünü arttırmakta ve binanın bütünsel estetiğini bozmaktadır. Bu nedenle her panelin binaya sonradan eklenmesi durumunda bina ile bütünleştirilerek yapıya dahil edilmesi gerekmektedir.

Düz çatılarda güneş ışığından en uygun şekilde yararlanabilmek için çatı üzerine gün ışığını maksimum derecede alacak şekilde eğimi ayarlanmış çelik ayaklar üzerine, güneş panelleri oturtulur. Düz çatılarda genellikle çerçeve sistem uygulanmaktadır (Aygün, 2012). Mevcut yapıya dahil edilecek güneş panellerinde cephelerde kullanılması durumunda çevreye

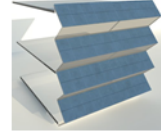
bağlı olarak bazı sorunlar ortaya çıkmaktadır. Cephesinde güneş panelleri kullanılacak olan bina çevresinde gölgeleme elemanları olamaması gerekmektedir. Gölge yapan ağaç veya çevredeki yüksek binaların gölgeleri güneş ışınlarının güneş panellerine dik olarak ulaşmasını engellemektedir. Güneş panellerinde elektrik üretimi yapılabilmesi için ışınların dik ulaşması önemlidir. Şekil 2’de güneş panellerinin cephede kullanım modellerinde bakılacak olursa güneş ışınlarını dik bir şekilde en az düz cephenin alacağı görülmektedir.



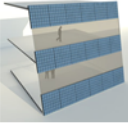
Düzlemsel Giydirme
Cephe



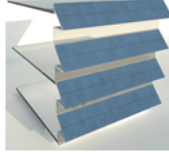
Düşeyde Kırıklı
Giydirm Cephe



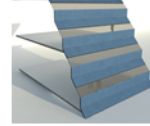
Akordeon Giydirm
Cephe



Eğimli Düzlemsel
Giydirm Cephe



Yatayda Kırıklı
Giydirm Cephe



Eğimli Kırıklı Giydirm
Cephe

Şekil 2. Güneş Paneli Giydirm Cephe Olarak Kullanım Çeşitleri (Uçar, 2018)

Bu durumda güneşi en fazla alabilecek modelin eğimli kırıklı cephe olacağı sonucuna varılmaktadır. Bu şekilde en fazla güneş ışınları panele ulaşarak tüm cephe modellerine göre daha fazla elektrik üretimine etki edecektir.

3.2 Yeni tasarlanan binalara güneş panellerinin kullanılması

Yeni tasarlanan binalarda güneş panellerinin proje tasarım halinde iken dahil edilmesi, yapı kabuğunda duvar veya çatı için malzeme ihtiyacı kalmaması, malzemelerden kaynaklanan binadan çevreye yayılan CO2 salınımının azalması ve bina ek yükünün azalması gibi avantajları bulunmaktadır. Bunlarla birlikte estetik olarak önceden tasarlandığı için bina bütünlüğü sağlanarak estetik olarak güneş panelleri yapının bir parçası olmaktadır. Cephede kullanılan güneş panellerinde çevrede gölgeleme elemanı var ise tasarımın ona göre yapılması, çatı da kullanılır ise çatı malzemesi yerine güneş paneli kiremitleri kullanarak yapıda malzeme görevi görmektedir. Güneş panelleri çatı ve cephe dışında, atriumlar, balkonlar,

kış bahçeleri veya rüzgarlık olarak da her bina üzerinde kullanılabilir. Cephelerde kullanılan güneş panelleri pencere gibi güneş ışığı geçebilecek gibi ya da güneşin geçilmesine ihtiyaç olmadığı durumlarda duvar önlerine yerleşimleri yapılmaktadır. Bina üzerinde doğal aydınlatma için giydirme camın en kullanışlı malzemedir. Cam giydirme cephe uygulamalarında panel arkalarındaki boşluk, panel pillerinin kablolarının geçişine olanak sağlaması yanı sıra hava sirkülasyonuna da olanak vermektedir. Yeni tasarlanan binada güneş paneli kullanımında mevcut kabloların geçişinin daha kolay sağlanmasından dolayı daha tercih edilen bir sistem olduğunu göstermektedir (Uçar, 2018).

4. Güneş panellerinin eğitim yapılarında uygulanmasında dünyada yapılmış örnekleri

İlkokul, lise ve üniversite binalarının güneş panellerini dünyada kullanım örnekleri bulunmaktadır. Bina cephelerinde ve çatılarında olmak üzere uygulamalar yapılmış olan bu yapılar Avustralya, İspanya, Danimarka ve Amerika Birleşik Devletleri'ndeki örnekler aşağıdaki gibidir.

Queensland Üniversitesi, Queensland /Avustralya: Queensland Üniversitesi'nin 4 kampüs binasının çatısında kurulan güneş panelleri 1.22 MW'lık tesis toplamda 5.000'den fazla panelden oluşmaktadır. Sistem, 800 evi aynı anda besleyebilecek kapasitede ve yılda toplamda 1,85GWh elektrik üretmektedir (Url-4, 2019). Üniversitenin çevreye yaydığı karbondioksit salınımının önemli ölçüde azalması, her yıl 335 arabanın kullanılmamasına eşdeğerdir. Yapıya sonradan dahil edilen güneş panelleri güneşi en fazla alabilen açık alan olarak çatı tercih edilmiştir. Kullanılmayan alan olan ve güneş panellerini koyacak kadar geniş bir alana sahip olması nedeniyle çatılar Queensland Üniversitesi için ideal alandır. Öğrencileri de bilgilendiren üniversite kendi web sitesinde interaktif bilgilendirme tablosuyla anlık ne kadar kar ne kadar çevreye faydalı olduğunu rakamsal olarak ifade etmektedir.



Şekil 3. Queensland Üniversitesi çatıda kullanılan güneş panelleri, Avustralya (Url-4, 2019).

St. Josephs Collegiate Enstitüsü, Buffalo/ABD: Enstitü binasının çatısına kurulan 25 kW kurulu güce sahip 108 güneş paneli yıllık ortalama 26.448 kWh elektrik üretimi yapmaktadır. Üretilen elektriğin yıllık mali değeri 3.068 \$ (15.340 ₺)'dir (Url-5, 2019). Daha az panel sayısı ile elektrik tüketiminde çevreye duyarlılığını gösteren Buffalo şehrinde bulunan bu enstitü binası üretilen elektriğin gerekli elektrik ihtiyacının bir kısmını karşılamaktadır. Bu sayede yıllık karbondioksit salınımının 18.2 tonu çevreye yayılması engellenmektedir. Aynı zamanda bu enstitü binasında yapılan araştırmaya göre güneş panellerinin kurulması ile fosil yakıtların tüketilmesiyle çevreye verilen zararlı gazların engellenmesinde 3.9 dönüm ağaçlandırma yapılması ile eşdeğer görülmektedir. Çatıya sonradan dahil edilen bu sistemde binanın bir bölümü kullanılmaktadır.



Şekil 4. *St. Josephs Collegiate Enstitüsü çatıda kullanılan güneş panelleri, ABD (Url-6, 2019).*

Arlington Devlet Okulu, Virginia/ABD: Çatı yüzeyleri 1.713 adet güneş panelleriyle kaplanan okulda, üretilen enerji verilerini gerçek zamanlı olarak izleyen bir bina gösterge panosu sistemi bulunmaktadır (Url-3, 2019). İdeal güneş yönüne göre yönlendirilerek tasarlanan bu okul binası özellikle sürdürülebilirlik faktörlerini uygulanmıştır ve öğrencilerinde bilinçli bir şekilde güneş panellerinin faydalarını öğrenebilmeleri için güneş laboratuvarları mevcuttur. Güneşten üretilen elektrik binanın ihtiyacı olan toplam elektrik ihtiyacını karşılamaktadır. Ek strüktür yardımıyla çatıda eğim verilen güneş panellerinin eğimi bölgenin iklimine göre uygulanmıştır.



Şekil 5. Arlington Devlet Okulu çatıda kullanılan paneller (Url-3, 2019).

Castlemont İlköğretim Okulu, Kaliforniya/ABD: Çatıya ek strüktürlü sistemler ile dahil edilen 474 adet panelin Castlemont İlköğretim okulunda sistem boyutu 90.735 W ve yıllık ortalama 57.033 kWh elektrik üretimi yapılmaktadır. Güneş panelleri sayesinde fosil yakıt tüketilmesini engelleyerek çevreye 40.1 ton sera gazı salınımını engellemektedir (Url-7, 2019).



Şekil 6. Castlemont İlköğretim Okulu çatıda güneş panelleri (Url-7, 2019).

Cantabria Üniversitesi, Santander/ İspanya: Louis Berger tarafından bir fizibilite çalışması ile birlikte detaylı bir tasarım hazırlayarak 8 katlı binanın cephesine tasarım halinde iken güneş panellerinin entegre edilmesi planlanmıştır. Binaya entegre edilen 65 kW güneş panelleri cıvatalı sütun ve kirişlerden yapılmış galvanizli çelik bir yapı ile bir arada tutulan 432 sabit güneş panelinden oluşan bir sistemdir. Güneye bakan paneller, sekiz sıra halinde dağıtılmış, maksimum güneş ışığını alabilecek şekilde eğim verilerek binaya uygulanmıştır. Güneş panellerinin ağırlığını destekleyen yatay desteklere sahip eğimli sütunlara dayanmaktadır (Url-8, 2019).



Şekil 7. Cantabria Üniversitesi cephede kullanılan paneller (Url-8, 2019).

Green Dot Animo Leadership Lisesi, Los Angeles/ABD: 2013 yılında tamamlanan Brooks & Scarpa tarafından tasarlanan okul bina tasarımı halinde iken güneş enerjisinden hem mekanların doğal aydınlatılması hem de güneş panellerine göre cephe tasarımının yapılması bu okulun en belirgin özelliğidir. Sürdürülebilir tasarım prensiplerine göre planın geliştirilmesi ve çevre dostu olması okulun öğrencileri dışında sokaktan geçen halkı da etkilemektedir. Cephede kurulan 650 güneş panellerinin çevresinde gölgeleme elemanının bulunmaması ile güneş panelleri elektrik üretimini verimli bir şekilde yapabilmektedir. Güney cephesi olan panel kaplı alan, okulun toplam enerji ihtiyacının yüzde 75'ini sağlamaktadır (Url-9, 2019). Öğrencilerin tasarım yoluyla yeni bir öğrenme deneyimine sahip olmaları, aynı zamanda bölgedeki diğer okul tipolojileri için bir örnek olmaktadır. Okulun amacı sadece çevreye fayda sağlamanın yanı sıra öğrencilere sürdürülebilirliğe dair canlı öğrenme olanağı sunmayı hedeflemişlerdir.



Şekil 8. Green Dot Animo Leadership Lisesi cephede kullanılan güneş panelleri (Url-9, 2019).

Kopenhag Uluslararası Okulu, Kopenhag/ Danimarka: Danimarka'da bulunan bu kampüs binası CF Moller Architects tarafından tasarlandı. Kopenhag'da bulunan renkli güneş panelleri ile eğitim yapısında gereken elektrik ihtiyacının yarısını sağlayan bu okulun cephesini neredeyse tamamen kaplamaktadır. Cephede toplam 12.000 güneş paneli bulunmaktadır. Toplam 6,048 metrekairelik bir alanı kaplayan güneş panelleri ile proje, yılda 300 MWh elektrik sağlamaktadır (Gibson, 2017). Danimarka'daki mimarlara göre, bu okulda uygulanan yapı ile bütün olarak tasarlanan güneş panelleri en büyük enerji santrali olarak görülmektedir. Cepheye tasarım aşamasında iken dahil edilen bu panellerin cephesi denize bakması ve herhangi bir gölgeleme elemanının olmaması sebebiyle güneş ışınlarını verimli bir şekilde kullanarak elektrik üretimi yapabilmektedir.



Şekil 9. Kopenhag Uluslararası Okulu cephede kullanılan güneş panelleri (Gibson, 2017)

Dünya üzerinde güneş panellerinin eğitim binalarında uygulanmış çatı ve cephe karşılaştırmaları Tablo 3'de gösterilmektedir.

Tablo 3. Eğitim binalarındaki elektrik üretim ve emisyon değerleri

Yapı Konum	Eğitim Binası İsmi	Ülke	Güneş Panelleri (adet)	Üretilen Yıllık Elektrik Miktarı	Toplam Emisyon Değeri	Karbon Miktarı
Çatı	Queensland Üniversitesi 	Queensland, Avustralya	5.000	1,85 GWh	1468900 kgCo2	401 ton
	St. Josephs Collegiate Enstitüsü 	Buffalo, ABD	108	26.448 kWh	13 kgCo2	3,5 kg
	Arlington Devlet Okulu 	Virginia, ABD	1.713	62,6953 MW	62695 kgCo2	17,11 ton
	Castlemont İlköğretim Okulu 	Kaliforniya, ABD	474	57.033 kWh	28 kgCo2	7,6 kg
Cephe	Cantabria Üniversitesi 	Santander, İspanya	432	65 kW	18 kgCo2	4,9 kg
	Green Dot Animo Leadership Lisesi 	Los Angeles, ABD	650	97 kW	47 kgCo2	12,8 kg
	Kopenhag Uluslararası Okulu 	Kopenhag, Danimarka	12.000	300 MWh	144900 kgCo2	39,56 ton

Binaların tabloda yer alan toplam emisyon değerleri ve karbon miktarları panel sayısı arttıkça çevreye verdikleri zararı ne kadar oranda azalttığı gösterilmektedir. 12.000 adet ile en fazla panel kullanılan Kopenhag Uluslararası Okulu'nda cephede kullanılan sistemlerde yaklaşık 39,56 ton karbon salınımı engellenirken, Queensland Üniversitesi'nde çatıda kullanılan 5.000 adet panel ile 401 ton karbon salınımını engellenmiştir. Bu nedenle güneş panellerinin yapı üzerinde konumlandırılmasında çatı ve cephede kullanım sonuçlarında panel sayısı ne kadar artarsa artsın aslında güneşin panellere en dik açıda gelebilecek şekilde konumlandırılmasının daha önemli olduğunu göstermektedir. Bu açı her şehirde değişebilmektedir. Ülkemizde güneş panelleri uygulamaları yaklaşık olarak 10 – 30 derece arasında konumlandırılabilir. Tablo 3'de yapılan karşılaştırma ile düz cephede güneş panellerinin kullanımları var olan potansiyeli kullanmayı engellediği için cephede Şekil 2'de gösterilen cephe hareketleri ile elektrik üretim verimi artırılabilir.

5. Güneş Paneli Uygulama Örneği: Maliyet ve Amortisman Boyutu

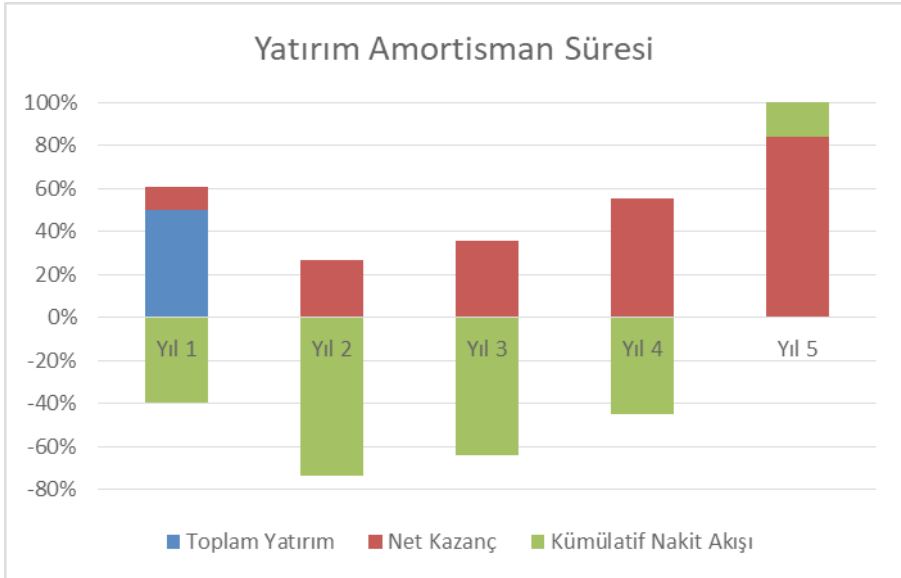
Eğitim yapılarında güneş panellerinin kullanımları hakkında değerlendirmelerin tutarlı olabilmesi için maliyet boyutunun zaman endekli hesaplamalarının da yapılması gerekmektedir. Bu bölümde Antalya'da örnek bir üniversite eğitim binası özelinde maliyet ve yatırımın amortisman süre örnekleme verilecektir.

Eğitim yapıları güneş enerji sistemi kurulumunda güneş panelleri, solar inverter (eviriciler), tek ve çift yönlü sayaçlar, kablo kanalları, solar (fotovoltaik) kablolar ve paratoner temel maliyet kalemlerini oluşturmaktadır. Antalya ilinde ele alınan bir eğitim binası özelinde modül yüzeyi 5200 m² yüzey alanında 3200 adet fotovoltaik panel gerektiren ve yaklaşık olarak 0.9MW kapasiteli bir sistem kurulabilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemli kazançlarından olan CO₂ emisyon salınımindan da yaklaşık olarak 820000 kg/ yıllık bazda kaçınılmış olunur. 1.4 GWh üzerinde enerji üretim kapasitesi olan bu sistemde toplam yatırım maliyeti 850000\$ düzeyindedir. Bu da birim elektrik üretim maliyeti ve tüm gider kalemleri düşünüldüğünde ortalama 5 yıllık bir amortisman süresi olduğunu göstermektedir. Tablo 4. ve Tablo 5.'de örneklem üzerinde nakit akışları ve bunların başabaş noktaları ifade edilmiş ve gösterilmiştir.

Tablo 4. 0.9 MW Kapasiteli Sistem İçin Eğitim Binalarındaki Elektrik Üretim Maliyet Akış Tablosu

Nakit Akış Tablosu	Yıl 1	Yıl 2	Yıl 3	Yıl 4	Yıl 5
Toplam Yatırım	\$850,000.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Net Kazanç	\$180,000.00	\$178,200.00	\$176,418.00	\$174,653.82	\$172,907.28
Kümülatif Nakit Akışı	-\$670,000.00	-\$491,800.00	-\$315,382.00	-\$140,728.18	\$32,179.10

Yapılan hesaplamalar 5. yıl itibariyle yatırımın karşılanarak net kara geçildiğini ve verimlilik süresinin en az 25 yılı kapsadığını göstermektedir. İlk yıl sonrası sabit yatırım maliyet bulunmazken değişken maliyetler sonucu elde edilen net kar boyutu \$180,000.00 düzeyinde gerçekleşmektedir.

Tablo 5. 0.9 MW Kapasiteli Güneş Enerji Sistem Amortisman Süresi: Başabaş Nokta Analizi

Antalya ilinde ele alınan örnek özelinde aylık elektrik masrafının 100 Bin TL / Ay üzerinde gerçekleştiği gözlenmiştir. Bu da yıllık yaklaşık 1.2 Milyon TL / Ay düzeyinde bir masraf oluşturmaktadır. 0.9 MW GES aylık ortalama olarak 110 Bin kwh elektrik ürettiği bu da yıllık bazda 1.4 Milyon kwh elektrik üretebileceği, sonuçta kurulacak yapının elektrik maliyetinin en az %50 ihtiyacını karşılanabileceği bir sistem olacağı anlamı taşımaktadır.

6. Sonuç

Eğitim yapılarında elektrik tüketiminin fazla olması güneş panellerini kullanmaya teşvik etmektedir. Güneşin sonsuz, temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olması, fosil yakıtlardan oluşan tükenbilir enerji kaynaklarını korumaya ve doğaya zarar vermeyen temiz havayı sağlamaktadır. Güneş panellerinde kullanım alanlarının arttırılmasında eğitim yapılarının önemi büyüktür. Eğitim yapılarında gerekli panel sayısını karşılayabilecek alanın eğitim yapılarında olması önemli bir avantajdır. Ayrıca öğrencinin konsantrasyonu, derse katılımı, ruhsal ve fiziksel sağlığını etkileyen bu güneş ışığından en fazla şekilde yararlanarak tasarımın güneş panellerine göre tasarlanması sınıf yerleşimlerinde bu duruma dikkat ederek tasarlanması gerektiği sonucuna varılmıştır. Çevreyi koruyan, ekolojik ve fosil yakıtların tüketiminin en aza indirilmesine yardımcı olan güneş panellerinin eğitim binalarında kullanımları gelecek nesiller için büyük önem taşımaktadır. Bilinçli bir nesille birlikte kullanımlarının yaygınlaşması ve bina tasarım aşamasında iken binalara dahil edilmesi, bunun sonucunda sağlayacağı faydaları öngörebilmek oldukça önemlidir. Öğrencilerin eğitim aldıkları sınıfların doğal aydınlatmaya ihtiyacı olduğu bina tasarımlarında güneş panellerini de binaya dahil edilmesiyle güneşten ısınma dışında da önemli yarar sağlamaktadır. Güneş panellerini binalarda kullanarak ekolojik çevreyi korumayı, yıllar içerisinde maliyete olumlu etkisini ve dışa bağımlı olmak yerine kendi enerjisini kullanmaya yönelen farkındalığı öğrencilerin erken görmelerini sağlamaktadır. Türkiye’de güneş panelleri kullanımı henüz yaygınlaşmadığı için güneş panellerinin görünürlüğünü eğitim yapılarında uygulayarak sadece öğrencilerin değil, o bina çevresinde bulunan herkes için bir farkındalığa yardımcı olacaktır. Özellikle okullarda öğrencilerin merak etmesi ve nasıl yarar sağladığını görmeleri açısından gelecek nesillere temiz çevre bırakmak için kullanımların yaygınlaştırılması açısından önemlidir.

Bu çalışma ile güneş panellerinin bina üzerindeki yerinin önemi ortaya çıkmıştır. Bina cephesinde ve çatısında kullanımları arasındaki farkın farkına varılması, mimari tasarımda plan halinde iken karar verilmesi ve cepheye uygun eğim verilerek çatı kadar elektrik üretimi ve zararlı emisyonları engellemesi mümkündür. Bina cephesinde daha fazla güneş panelleri kullanarak maliyetini arttıran Kopenhag Uluslararası Okulu daha az maliyet ve panel ile daha fazla yarar sağlayabilirdi. Bu durumda güneş panellerinin cephede kullanımlarında bina tasarım halinde iken bölgeye ve iklim şartlarına uygun eğim açılarıyla daha verimli kullanımlar elde edilebilirdi. Antalya bölgesinde de örnek üniversite binası ile 5200 m2 alan kaplayan bir çatıda 3200 adet panel kullanılması ile yıllık ortalama kar oranının %50 olduğu hesaplanmaktadır. Bu durumda elde edilen elektrik üretiminin geri dönüş süresi de 5 yıl olarak incelendiğinde güneş panellerinin kullanımlarında üniversiteye olan maliyeti azaltmada ve çevreye

verilen zararlı emisyonların azalmasında önemli rol oynadığı görülmektedir. Güneş panelleri gündüz güneşten aldığı enerjiyi direkt olarak elektrige çevirerek kullanıma devam etmektedir. Geceleri ise güneşten enerji alamadığında elektrik üretimi için iki yöntem bulunmaktadır. Bunlardan birinci yöntem akü sistemleridir. Akü sistemleri ithal olarak getirildikleri için maliyetleri fazladır ve 2-3 yılda bir değiştirilmeleri gerekmektedir. Böyle bir durumda sistemin kendi geri dönüşünü sağlaması için 5 yıldan daha uzun bir süreye ihtiyacı vardır. (ortalama 5,5 yıldan 10 yıla kadar uzamaktadır), ikinci yöntem ise şebekeye bağlanarak gündüz güneşten geceleri şebekeden elektrik enerjisini kullanmaktır. Böylece gece kullandığı kadar elektriği elektrik faturasına yansması ile sistemin geri dönüş süresi etkileyerek uzatacaktır.

Sonuç olarak güneş panellerinin eğitim yapılarında arttırılması ile, bina tasarım aşamasında çevreye duyarlı yapı için pasif sistem faktörlerine göre tasarlanması ile enerji tasarrufu sağlanması, doğal aydınlatmanın öğrencilere göre en fazla alınabilecek şekilde binaların yönlendirilmesi ile yapının kabuğunun tasarlanmasının önemine dikkat edilmelidir. Güneş panellerinin güneşe göre yönlendirilen binada cephe veya çatılara dahil edilmesiyle yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimlerin artması ve fosil yakıt kullanımlarının sifıra yakın olması hedeflenmelidir.

KAYNAKÇA

- Aygün, O. (2012). *Mevcut Konut Yapılarına Fotovoltaik Panel Sistemlerin Entegre Edilmesi, İzmir Örneği*. Yüksek Lisans Tezi. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi FBE.
- DANACI, H. M. ve GÜLTEKİN, R.E., (2009), Yapılaşmada Güneş Enerjisi Kullanımı Ve Estetik Çözüm Örnekleri *V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, Diyarbakır
- DAVIS, J. M. (2010), What is Early Childhood Education for Sustainability, Young Children and the Environment, Early Education for Sustainability, Editör: Davis, J. M., *Cambridge University Press*, New York, 21-42.
- DEMİRCAN, K., (2016) *Klima Özellikli Antirefle Güneş Paneli*, 9 Şubat 2019 tarihinde <https://khosann.com/esnek-elektronik-isiyi-uzaya-yansitan-antirefle-gunes-panelleri-ile-klimalara-ve-kuresel-isinmaya-son/> adresinden alındı.
- DEMİRCAN, R. ve GÜLTEKİN, A., (2017), Binalarda Pasif ve Aktif Güneş Sistemlerinin İncelenmesi, *TÜBAV Bilim*, 30.1: 36-51.
- GIBSON, E. (2017), *CF Moller covers Copenhagen school in 12,000 solar panels*, 9 Şubat 2019 tarihinde <https://www.dezeen.com/2017/08/23/copenhagen-international-school-c-f-moller-architects-12000-solar-panels-denmark/> adresinden alındı.
- KANDİLLİ, C., TURKOGLU, A.K. ve ULGEN, K. (2009), Transmission performance of fibre optic bundle for solar lighting, *International Journal of Energy Research*, 33(2):194–204
- KAYIHAN, K. S. ve TÖNÜK, S. (2011). Sürdürülebilirlik Bilincinin İnşa Edileceği Binalar Olma Yönü ile Temel Eğitim Okulları, *Politeknik Dergisi*, Cilt:14 Sayı: 2 s. 163-171, 2011
- LESLİE, R.P., (2003), Capturing the daylight dividend in buildings: why and how?, *Building and Environment*, 38:381– 385.
- MURPHY, C., THORNE, A. (2010), *Health and Productivity Benefits of Sustainable Schools: A Review*, Brepress, Watford.
- SERTESER, N. ve ARPACI, G., (2018) *Yeşil Bina Sertifika Sistemlerinde Yangından Korunma*, 3.Ulusal Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi, s. 181-194
- ŞAHİN, B. E., DOSTOĞLU, N. (2015), Okul Binaları Tasarımında Sürdürülebilirlik, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, Cilt 20, Sayı 1,
- UÇAR, S. (2018) *Çatı ve Cepheelerde Fotovoltaik Panel Uygulamaları Üzerine Bir Çalışma: Burdur Örneği*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Arel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- UÇAR, S. ve KOKULU, N., (2018), Antalya Bölgesinde Yeni Tasarlanacak Binalarda Güneş Panellerinin Kullanım Potansiyelinin İncelenmesi. *4. Ulusal Yapı Kongresi*, 1, 377-386.
- Url-1, *5 Benefits of Solar Panels for Schools and Universities*, 9 Şubat 2019 tarihinde <https://www.conserve-energy-future.com/benefits-of-solar-panels-for-schools-and-universities.php> adresinden alındı.
- Url-2, *The Benefits Of Solar Power For Schools*, 9 Şubat 2019 tarihinde <http://solarbyempire.com/solar-for-schools> adresinden alındı.
- Url-3, *Discovery Elementary School Arlington Public Schools*, 9 Şubat 2019 tarihinde <https://www.aiadc.com/sites/default/files/031%20-%20DiscoveryElementarySchool.pdf> adresinden alındı.
- Url-4, *University of Queensland*, 23 Şubat 2019 tarihinde https://www.trinasolar.com/sites/default/files/casestudy_University_of_Queensland_AU_0.pdf adresinden alındı.
- Url-5, The Buffalo News, (2011), *Solar Panel Roof System*, 23 Şubat 2019 tarihinde <http://www.solarliberty.com/news/115-solar-panel-roof-system-operating-at-high-school.html> adresinden alındı.
- Url-6, *Google Haritalar Uydu resimleri*, 28 Şubat 2019 tarihinde <https://www.google.com/maps/place/St+Joseph's+Collegiate+Institute/@42.9598175,78.8512069,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x89d36d67e6ec8de7:0x84dc85c871c75d81!8m2!3d42.9598175!4d-78.8490182> adresinden alındı.
- Url-7, *Castlemont Elementary School*, 28 Şubat 2019 tarihinde <https://sunlightandpower.com/project/castlemont-elementary-school/> adresinden alındı.
- Url-8, *Photovoltaic Building Facade for University of Cantabria*, Spain, 28 Şubat 2019 tarihinde <https://www.louisberger.com/our-work/project/photovoltaic-building-facade-university-cantabria-spain> adresinden alındı.
- Url-9, *Impressive solar panel facade on LA school by brooks and scarpa*, 28 Şubat 2019 tarihinde <https://www.designboom.com/architecture/impressive-solar-panel-facade-on-la-school-by-brooks-scarpa/> adresinden alındı.
- Url-10, Renewable Energy, 28 şubat 2019 tarihinde https://en.wikipedia.org/wiki/Renewable_energy adresinden alındı.

