



Article Info	RESEARCH ARTICLE	ARAŞTIRMA MAKALESİ	
Title of Article	Effect of Traffic Flow on Electricity Generation with Photovoltaic Panels on Roads		
Corresponding Author	Emre DEMİR Antalya Bilim University, College of Engineering, Department of Civil Engineering, emre.demir@antalya.edu.tr		
Received Date	03.02.2021		
Accepted Date	26.05.2021		
DOI Number	https://doi.org/10.35674/kent.873920		
Author / Authors	Emre DEMİR Setenay UÇAR	ORCID: 0000-0003-0013-4482 ORCID: 0000-0003-4206-6094	
How to Cite	Demir E. And Uçar, S. (2021). Effect of Traffic Flow on Electricity Generation with Photovoltaic Panels on Roads / Trafik Akışının Yollardaki Fotovoltaik Paneller ile Elektrik Üretimine Etkisi , <i>Kent Akademisi</i> , Volume, 14, Issue 2, Pages, 335-346.		

Trafik Akışının Yollardaki Fotovoltaik Paneller ile Elektrik Üretimine Etkisi

Emre DEMİR¹
Setenay UÇAR²

ABSTRACT:

Today there are applications for electricity generation by using photovoltaic (PV) panels from solar energy which is one of the renewable energy sources. Such uses are seen in buildings, marginal lands or shelters. However, the use of PV panels can be difficult because PV panels impose additional load on the buildings and create a need for load bearing structure. For this reason, using PV panels on roads can reduce the additional loads on buildings. The use of PV panels on the roads can aim both to reduce the various needs of roads such as lighting and to increase the use of renewable energy by giving the excess electricity generated to the electric supply system. However, the effect of traffic flow and road slope on the energy production is of great importance. The aim of this study is to assess the electricity generation by considering the traffic flow and the slope of the roads after the installation of PV panels and

¹ Assistant Professor, Antalya Bilim University, College of Engineering, Department of Civil Engineering, emre.demir@antalya.edu.tr

² Lecturer, Antalya Bilim University, Faculty of Fine Arts and Architecture, Department of Interior Architecture and Environmental Design, setenay.ucar@antalya.edu.tr

to reveal which types of roads can be more productive. Another purpose of the study is to reveal the energy generation potential of the roads according to the traffic flow by putting forward a parameter that describes the effect of traffic flow on energy production. For these calculations, weekday traffic flow in Antalya, one of the most densely populated provinces of Turkey, has been observed. As a result of the analyzes, the effect of the high traffic flow on the energy production of PV panels was examined, and the roads in the North - South and East - West directions were compared with each other. Low levels of traffic flow and the slope of the roads towards the south positively affect the electricity generation on the road. The results obtained from the examination of the effect of a transportation parameter, such as traffic flow, on energy production revealed the electricity generation potential of six regions in Antalya. According to the main outputs, Gazi Mustafa Kemal Bulvarı has more potential for energy generation compared to the other surveying areas.

KEYWORDS: Solar energy, photovoltaic panels, traffic flow, renewable energy, transportation

ÖZ:

Günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisinden fotovoltaik (PV) paneller kullanılarak elektrik üretimi amaçlı uygulamalar mevcuttur. Yapılarda, marjinal arazilerde veya gölgeleme elemanlarında bu tür kullanımlar görülmektedir. Ancak PV panellerin yapılar üzerine ek yük getirmesi ve strüktür ihtiyacı yaratması nedeniyle PV panellerin kullanımları zorlaşabilmektedir. Bu nedenle PV panelleri karayollarında kullanmak yapılardaki ek yükleri azaltabilir. PV panellerin yollarda kullanılması hem yolların aydınlatma gibi çeşitli ihtiyaçlarının azaltılması hem de üretilen fazla elektriğin şebekeye verilerek yenilenebilir enerji kullanım alanlarının artırılması hedeflenebilir. Ancak, yollardaki trafik akışının ve yol eğiminin enerji üretimine etkisi büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmanın amacı, karayolları üzerinde PV panel kurulumu sonrası yollardaki trafik akışı ve yolların eğimi göz önüne alınarak elektrik üretimini değerlendirmek ve hangi çeşit yollardan enerji üretimi daha fazla olabileceğini ortaya çıkarmaktır. Çalışmanın bir diğer amacı, trafik akışının enerji üretimine etkisini betimleyen bir parametre ileri sürerek yolların trafik akışına göre enerji üretimi potansiyelini ortaya çıkarmaktır. Bu hesaplamalar için Türkiye'nin en yoğun nüfuslu illerinden Antalya'daki hafta içi trafik akışı gözlemlenmiştir. Analizler sonucunda trafik akışının fazla olmasının PV panellerin enerji üretimine etkisi incelenmiş, Kuzey – Güney (K-G) ve Doğu – Batı (D-B) yönünde olan yolların birbirleri ile karşılaştırılması yapılmıştır. Trafik akışındaki düşük seviyeler ve yolların güneye doğru eğime sahip olması yoldaki elektrik üretimini olumlu etkilemektedir. Trafik akışı gibi bir ulaşım parametresinin enerji üretimine etkisinin incelenmesinden elde edilen sonuçlar, Antalya'da uygulanabilecek altı bölgedeki yolun elektrik üretim potansiyelini açığa çıkarmıştır. Bulgulara doğrultusunda, Gazi Mustafa Kemal Bulvarı'nın elektrik üretim potansiyeli diğer ölçüm bölgelerine göre daha fazladır.

ANAHTAR KELİMELELER: Güneş enerjisi, fotovoltaik paneller, trafik akışı, yenilenebilir enerji, ulaşım

“Trafik Akışının Yollardaki Fotovoltaik Paneller ile Elektrik Üretimine Etkisi”

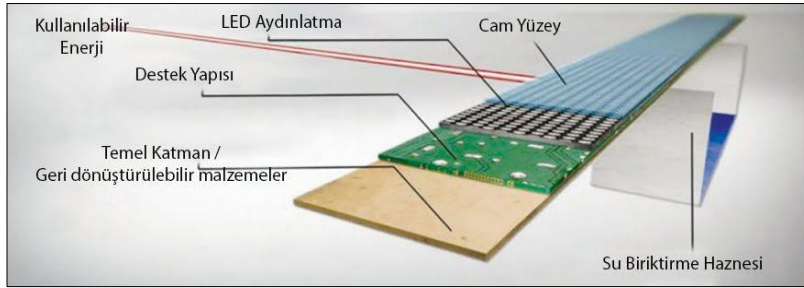
GİRİŞ:

Son yıllarda teknolojinin de gelişmesiyle birlikte enerji tüketimi artmaya başlamıştır. Günümüzde yüzlerce yıllık fosil kaynaklardan olan kömür, doğalgaz ve petrol gibi yakıtların hızlı bir şekilde tüketilmesi ve yerine kaynakların yeniden oluşabilmesi için bekleme süresinin olmaması, enerji kaynağı ihtiyacında yenilenebilir kaynakların kullanımlarına teşvik etmektedir. Herhangi bir zararlı gaz salınımına sebep olmayan yenilenebilir kaynaklar temiz ve sonsuz enerji kaynaklarıdır. Bu çalışmanın amaçlarından birincisi, karayolları üzerinde PV panel kurulumu sonrası yollardaki trafik akışı ve yolların eğimi hesaba katılarak yolların elektrik üretimi potansiyellerini değerlendirmek ve enerji üretiminin fazla olabileceği yol çeşitlerini tespit etmektir. Çalışmanın ikinci ve belki de en önemli amacı ise yolların üzerine düşen güneş ışınımını ile trafik akışı arasında enerji üretimi açısından bir bağlantı kurmaktır. Literatürde bir ilk olarak, trafik akışının enerji üretimine etkisini gösteren bir parametre ileri sürülecektir. Böylelikle yolların trafik akışına göre enerji üretimi potansiyellerini ortaya çıkarabilecek bir yöntem literatüre sunulmuş olacaktır.

Çalışmada önemli bir yere sahip olan PV panelleri bilindiği üzere güneş enerjisinden faydalanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi, kirlilik olmadan sonsuz ve sınırsız enerji sağladığı için fosil yakıtların yerini alabilecek en dikkat çekici yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Yenilenebilir enerji kaynakları doğrudan elektrik enerjisine çevrilebilir. Örneğin, PV paneller ile doğrudan elektrik enerjisi elde edilebilir. Elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamak üzere tasarlanan modern PV sistemler, fosil yakıtların yerine kullanılabilir ve yatırımda da dikkate değer getiri sağlayabilir (Alawaji, 2001). Kömür, doğalgaz ve petrol gibi enerji kaynaklarını yer altından çıkarma masrafları yüksektir. Ayrıca bunların kullanılabilir hale getirilmesi için uzun bir süreç gerekmektedir. Güneşten gelen enerjinin PV yardımı ile kullanılabilen elektrik enerjisine dönüştürülme tekniği kullanımı arttıkça elektrik üretim maliyetlerinde azalmalara yol açmıştır. 2009 yılından bu yana güneş PV sistem modül fiyatları %81 oranında azalmıştır (Dikmen, 2019). PV kullanımlarının son on yılında, küresel PV panel pazarı %50'lik bir büyüme oranıyla hızla artmıştır. Ayrıca, Uluslararası Enerji Ajansı, PV sistemlerinin küresel elektrik üretimindeki payının 2050 yılına kadar %16'ya ulaşmasını beklemektedir (Jung vd., 2019).

Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisi, yapılar üzerine yerleştirilen kollektörler ile su ısıtılması amacıyla yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Sayın ve Koç, 2011). Ayrıca, güneş enerjisi ile konutlar ve yerel yönetim binalarında kurulan PV paneller sayesinde elektrik üretimi sağlanmaktadır. Binalarda üretilen fazla elektrik şebekeye verilmesi suretiyle elektrik üretim maliyeti düşürülebilmektedir (Uçar ve Akıner, 2020). Güneş enerjisinden PV paneller ile elektriğin üretilmesine ilk olarak 1839 yılında başlanmıştır (Çelebi, 2002). O yıllarda güneş enerjisinden elektrik üretim verimi %1 olduğundan dolayı herhangi bir alanda bu üretilen elektriğin kullanılması mümkün olmamıştır. Günümüzde bu panellerin elektrik üretim verimliliği %22'lere çıkmış durumdadır. Son yıllarda uzay araçlarında kullanılabilen PV panelleri hakkında da araştırmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar dışında açık arazilerde PV sistemlerinin kurulumu artmış fakat bu tarz uygulamalar birtakım boş arazilerin kaybı olarak düşünülmüştür. Bunun çözümü için yapıların çatılarında veya cephelerinde panellerin kurulması öngörülmüştür (Çelik Bedeloğlu vd., 2010). Ulaşım yollarının da PV panellerle kaplanması fikri, önemli bir kullanım alanı sunar. Her ne kadar Matisziw ve Demir (2016) çalışmasında olduğu gibi yolların birbirlerine benzerlikleri üzerine araştırmalar yapılmışsa da, yolun eğimi yolu farklılaştıran temel bir özelliktir. Günümüzde eğim gözetmeksizin bisiklet yolları, karayolları ve kaldırımlar üzerinde PV panelleri kurulumu yapılmaktadır. Böylece bölgedeki ışıklandırma gibi elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanması hedeflenmiştir. Ayrıca, kurulum alanından tasarruf edilerek tarım yapılan arazilerin üzerinde yer alan PV panellerinin bir nevi azaltılması amaçlanmıştır.

Karayolu aydınlatmasında PV panellerin kullanılması elektrik iletim hattı için bakır tel kullanımının azaltılması anlamına gelir. PV paneller ile çalışan ve ışık yayan diyot (LED) karayolu aydınlatmasında bağımsız sistem oluşturulabilmesi için kullanılabilir. Ayrıca bu tip sistemler kurulum maliyetini de azaltılabilir (Liu, 2014). Karayolu enerji yüklerine güç sağlamak için altyapıya entegre PV teknolojisinin kullanılmasıyla, bahse konu şebekenin sisteme olan bağımlılığı en aza indirilebilir. Aynı zamanda bakır kablo için dağıtım kayıpları ve gereksinimleri azaltılabilir. Böylelikle ekonomik kazançlar sağlanmış olur (Shekhar vd., 2018). PV paneller ile yolların kaplanması araçların kaymasını önleyici yol yüzey katmanı ile kaplanması gerekmektedir. Yağmurlu günlerde suyun panellere zarar vermesini ve nemli günlerde panel içinde buharlaşmanın oluşmasını önleyecek su geçirmez katmana ihtiyaç duyulur. Şekil 1'de gösterilen üst yüzeyin altında elektronik katman yer almaktadır. Bu katman, panellerin ısıtma elemanını kontrol eden küçük bir mikroişlemci kart içerir. Böyle bir teknoloji, paneller üzerinde oluşan buzlanmanın ve biriken karın eritilmesine yardımcı olabilir. Böylece buzlanmadan dolayı oluşabilecek tehlikeler en aza indirilmiş olacaktır. Ayrıca bu tarz bir katman, paneller üzerindeki ağırlık miktarını algılayabilir ve buzlanmayı gidermek için ısıtma elemanını kontrol edebilir (Channi, 2019). Altındaki katman ise güneşten gelen enerjiyi toplayan, gücü aydınlatma elemanlarına veya şebekeye dağıtan katmandır.



Şekil 1. PV Panellerin Yol Üzerinde Kullanımının Katmanları (Channi, 2019)

Ulaşım yollarında PV panel ile güneş enerjisini fonksiyonel açıdan kullanan birçok sistemin uygulaması son yıllarda yapılmış ve önerilmiştir. En bilinen örneklerden bir tanesi, güneşli gün sayısının fazla olduğu ülkelerde yol kenarı ve trafik ışıklandırmasında kullanılmak üzere güneş enerjisini elektrik enerjisine çeviren sistemlerin kurulmasıdır (Alawaji, 2001; Tursel Eliyi ve Çaylan, 2008; Büyükkılıç, 2009; Çelik Bedeloğlu vd., 2010; Çanka Kılıç, 2015; Mehta vd., 2015; Dhoke ve Ghutke, 2017). Ayrıca, ulaşım yolları üzerinde kurulmasa da PV sistemler ile yerel bazda elektrik enerjisi üretilmesi birçok ülkede tavsiye edilmektedir (Sayın ve Koç, 2011; Ohunakin vd., 2014). Bunlara ek olarak, güneşli gün sayısı göreceli az olan ülkelerde şu tarz sistemlerin uygulanabilmesi için tavsiye araştırmaları yapılmıştır. Yaz aylarında güneş ışınımını yolların altında hapsedip bu enerjiyi kış aylarında yol üzerindeki buzlanmayı önleyen sistemler araştırmalara konu olmuştur (Eugster ve Schatzmann, 2002; Zhou vd., 2013). Yoldaki buzlanmayı önleyici bu sistemler, sistemin kurulmasından önceki zamana kıyasla kış aylarında trafik akışını artırarak trafik hareketliliğine önemli ölçüde katkıda bulunmayı hedeflemiştir. Buna mukabil, ısıyı depolama amaçlı kurulan bu sistemlerin yüzeyi çevreye daha az miktarda ışın yansıttığı ve bölgesel ısınmayı azalttığı tespit edilmiştir. Kulkarni (2013) geliştirmekte olan ülkelerdeki tüm karayollarının ve tüm otopark alanlarının, maliyetine bakılmaksızın, elektrik üretimi amaçlı güneş panelleri ile kaplanmasını önermiştir. Hollanda’da pilot çalışma bölgesi olarak seçilen bir bisiklet yoluna lokasyon analizi yapılarak PV sistemleri kurulmuş ve tahmin edilen elektrik enerjisi verimi ile pratikte elde edilen verim karşılaştırılmıştır (Shekhar vd., 2018). Bu karşılaştırma PV hücrelerin verimleri ile ilgili olup araştırma sonucunda monokristal teknolojisinin ürettiği verim daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bunun gibi lokasyon analizleri doğrultusunda PV panellerin yerlerinin tespit edildiği birçok çalışmada görülebilir.

1. Materyal ve Metod

Bu çalışmada, Antalya’da trafiğe açık karayollarının dijital haritaları kullanılarak bölgede PV güneş panelleri kurmak için sahaların sınıflandırılması ve seçilmesi için güneş enerjisinin potansiyeline göre fotovoltaik coğrafi bilgi sistemi (PVGIS) hesaplama simülatörü ile tahmini bölgeler belirlenmiştir. Sınıflandırma yapılması ise, karayolunun iş günü trafik akışına göre yapılmaktadır. Trafik akışının yüksek olduğu tahmin edilen saat 17.00-18.00 arası trafik verileri gözlemlenmiştir. Aynı zamanda bu aralık bütün hafta boyunca gözlemlenebilecek en yüksek trafik akışını sağlamaktadır. Belirtilen zaman aralığında her iki yön için 15’er dakika trafik akış verileri kaydedilmiştir. Eğimli ve eğimsiz olarak sınıflandırılan alan çalışmaları yolların eğimi ile elektrik üretim farklılığını etkileyen faktör bakımından incelenmiştir. Öncelikle trafik verilerinin oluşturulması sırasında trafik akışının sağlıklı bir şekilde gözlemlenmesi için uygun lokasyonlar seçilmiş, ardından trafik akışı gözlemlenmiştir. Bunun doğrultusunda trafik akışı verileri hesaplanmıştır.

Günlük güneş radyasyonu değerleri saatlik aralıklarla tahmin edilir ve yıllık birikmiş güneş ışınımı haritası sağlamak için 365 gün boyunca derlenir. Bu konuda veriler Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)’nden alınmıştır. Güneş haritalaması, yerden yansıyan ve doğrudan nominal ışınımı dikkate alır. Güneş haritası oluşturulduktan sonra, eğimli bölgeler belirlenerek en fazla dik açıda güneş ışınımı alabilecek açık alanlar belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında Antalya’da bulunan altı bölgenin trafik akışı ve yol eğimleri durumuna göre PV panellerin karayolu üzerine kaplandığı varsayılarak trafik akışının PV panellerinin elektrik üretimine etkisi incelenecektir.

Trafik yoğunluğu birbiri ardına mesafe kat eden araçlar arasındaki bireysel boşluklar veya mesafeler ile ilgilidir. Çoğu kez bu boşlukları ölçmek amacıyla uzun vadeli toplanan trafik verileri için saniyeler veya hassas mesafe ölçerler

yeterli olmamaktadır. Bu nedenle trafik yoğunluğu ölçümlerinde genel olarak bağıntı (1) kullanılabilir (Mannering ve Washburn, 2019).

$$k = n/l \quad (1)$$

Burada k parametresi trafik yoğunluğunu yani birim mesafedeki araç sayısını belirtmektedir. n değişkeni bir yolun bir bölümünde belirli bir miktar zaman içerisinde yer edinen araç sayısını gösterir. Bu yol bölümünün uzunluğu da l ile gösterilebilir. Trafik akışı olarak tabir edilen birim zamanda gözlemlenen araç sayısı, trafik yoğunluğundan ayrı tutulamaz. Trafik akışı ile k parametresi arasındaki ilişkiyi gösteren en önemli bağıntılardan birisi (2)'de gösterilmiştir.

$$q = u k \quad (2)$$

Bağıntı (2)'deki q trafik akımını gösterirken u ise boşluk ortalamalı hızı temsil eder. Görüldüğü üzere, k parametresi yani trafik yoğunluğu, trafik akımı ile doğru orantılıdır.

Bir yüzeydeki güneş aydınlığından oluşan ışıma (G), PV panellerinden enerji üretiminin asıl kaynağıdır ve birim alana düşen enerji miktarını belirtir (Perez vd., 1990; Muneer, 1997; Kincay Ders Notları, 2008; Lave vd., 2015; Oh vd., 2020; Tawalbeh vd., 2021). Temelde, bağıntı (3)'teki ana unsurlar bize G 'yi sağlar.

$$G = G_Y + G_D + G_G \quad (3)$$

G_Y yönlendirilmiş ışımayı, G_D dağılmış ışımayı, G_G geri yansıtılmış ışımayı temsil etmektedir. G ile trafik akışı fonksiyonunun ilgili katsayısı (λ) bir araya getirilerek trafik akışının PV panellerinin elektrik üretimine etkisi betimlenecektir. λ , bir başka deyişle trafik akışının bir göstergesidir. Bağıntı (3)'teki ışıma aşağıdaki bağıntılar ile göz önüne serilebilir.

$$G_Y = DI \cos(\alpha_g) \quad (4)$$

$$\alpha_{g(yatay)} = \cos^{-1}(\sin \varphi \sin \delta + \cos \delta \cos \varphi \cos \omega) \quad (5)$$

$$\alpha_{g(eğik)} = \cos^{-1}(\sin \delta \sin \varphi \cos \theta - \sin \delta \cos \varphi \sin \theta + \cos \delta \cos \varphi \cos \theta \cos \omega + \cos \delta \sin \varphi \sin \theta \cos \omega) \quad (6)$$

$$G_D = DYI \left[(1 - n_1) \frac{1 + \cos \theta}{2} + n_1 \frac{a}{b} + n_2 \sin \theta \right] \quad (7)$$

$$G_G = GYI \times ALB \times \frac{1 - \cos \theta}{2} \quad (8)$$

DI dikey ışımayı, $\alpha_{g(yatay)}$ yatay yüzeye ışının geliş açısını, $\alpha_{g(eğik)}$ güneye bakan eğik yüzeye ışının geliş açısını, Z_g güneş ışığının zenit açısını, θ yüzeyin eğim açısını, δ deklinasyon açısını, φ enlem açısını, ω saat açısını, DYI dağılmış yatay ışımayı, GYI global yatay ışımayı ve ALB albedoyu temsil eder. Ayrıca n_1 , n_2 , a ve b ara fonksiyonlara özgü katsayıları göstermektedir.

Trafik akışı fonksiyonunun ilgili katsayısı λ olarak yukarıda bahsedilmiştir. Bağıntı (9), ışıma ile trafik akışı katsayısının oranını göstermektedir. Q , trafik akışının enerji üretimine etkisini gösteren bir parametredir ve trafik akışına göre enerji üretimi potansiyelini bizlere sunar. Bu oran bu çalışmada ilk kez ileri sürülmektedir. Q ne kadar yüksekse o kadar toplam ışıma trafik akışının etkisi az olmaktadır.

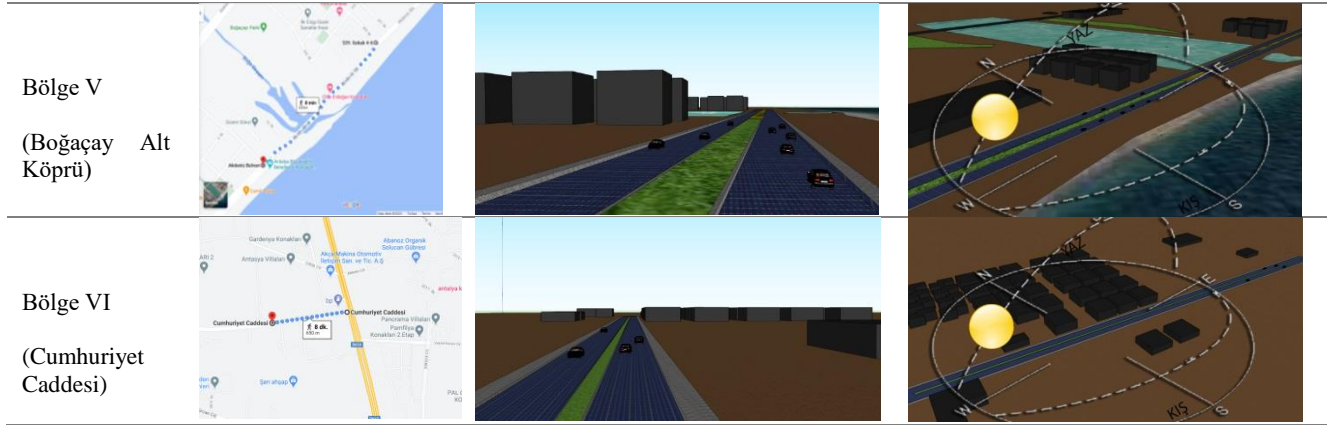
$$Q = G/\lambda \quad (9)$$

2. Araştırma Bulguları ve Tartışma

Bu çalışma ile Antalya'nın altı farklı bölgesindeki trafik akışı, eğim ve güneş ışınım miktarı ölçümleri yapılmıştır. Bölgelerin D-B yönüne göre aldıkları güneş miktarı ve yola gölge düşme ihtimali üzerine 3D görselleri ile yönler Tablo 1'de belirtilmiştir. Bölge I olarak belirtilen Perge Bulvarı %2,50 eğime sahip 200 m alandan geçen trafik akışı ve ışınım hesaba katılarak trafik akışının enerji üretimine etkisi hesaplanacaktır. Bölgede bulunan yüksek katlı binaların yola yakın konumda olması güneş ışınımının PV panellere dik olarak ulaşmasında zorluk yaratacaktır. Bölge II olarak belirtilen Burhanettin Onat Caddesi %2,20 eğimli yüksek olmayan 4 veya 5 katlı binalardan oluşmaktadır. Bölgedeki yolun K-G yönüne doğru konumlandığı göz önüne alınırsa bölgenin güneş ışınlarını daha verimli alabileceği gözlemlenmektedir. Bölge III olarak belirtilen Gazi Mustafa Kemal Bulvarı'ndaki 2 ila 5 kat arasında yüksekliğe sahip yapıların yol kenarında konumlanmış olması güneş ışınımının yüzeye ulaşmasını çok fazla olumsuz etkilemeyeceği görülmektedir. Bu yol konumu K-G yönünde ve %2,60 oranında eğimli bir bölgedir. Bölge IV olarak belirtilen bölgedeki Boğaçay Üst Köprüsü eğimsizdir. Yolun bir kısmında göreceli alçak 3 katlı binalar bulunurken bir kısmı tamamen güneş ışınlarını alabilmektedir. Bölge V olarak belirtilen Boğaçay Alt Köprü güney tarafı denize bakan, kuzey tarafı 3 katlı binalarla çevrili bir alandır. Güneşi tamamen güneyden engelsiz bir şekilde alabilen bölge eğimsizdir. Son olarak Bölge VI olarak belirtilen Cumhuriyet Caddesi eğimsiz bir yol olup kuzey tarafında 2 katlı binaların yol kenarlarına yakın konumlandırıldığı görülmektedir. Yolun güney tarafında ise yola gölgesi düşmeyecek şekilde konumlandırılan binalar bulunmaktadır.

Tablo 1. Antalya'da Uygulama Bölgelerinin Güneş Hareket Yönü ve 3D Görseli (Google Harita'dan ve Sketch Up programından faydalanılmıştır.)

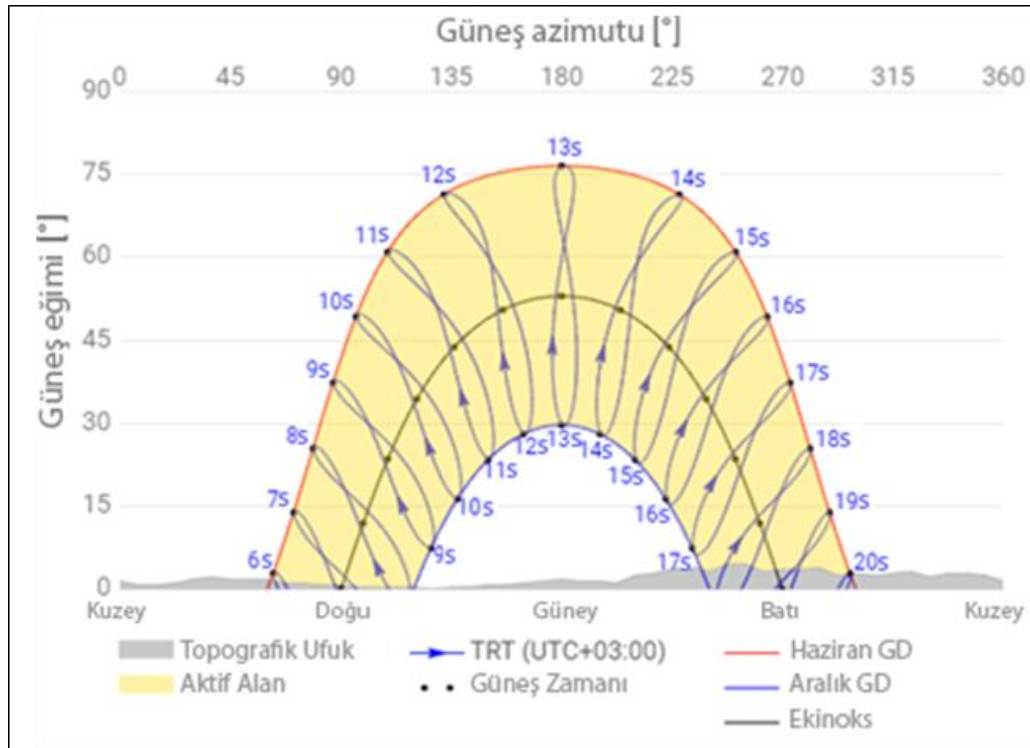
Bölge I (Perge Bulvarı)			
Bölge II (Burhanettin Onat Caddesi)			
Bölge III (Gazi Mustafa Kemal Bulvarı)			
Bölge IV (Boğaçay Üst Köprü)			



Tablo 1’de PV paneller ile kaplanmış yolların çevredeki binaların konumu ile güneş doğuş batış yönlerini gösteren görselleri bulunmaktadır. Çalışma ile Antalya karayollarında PV kullanımı açısından incelenmesi trafik akışı ve eğimin etkisi olarak incelenmiştir.

2.1. Antalya Kenti Güneş Işınımı Alan Analizi

Güneşin doğuşu ve batışı arasındaki geçen süre içinde PV panellerde her daim elektrik üretimi sağlanabilmektedir. Bu süre içerisinde panellere ulaşan ışınım yaz ve kış aylarında farklılık göstermektedir. Eğim açısı ve ışınım miktarı değişen yaz ve kış dönemlerinde azimut ve zenit açıları Şekil 2’de belirtilmiştir.



Şekil 2. Antalya Kenti Güneş Azimutu Grafiği (www.globalsolaratlas.info, 2020)

Antalya’da aralık ayı için gösterilen mavi çizgi ile saat 17.00’da ışınımın azimut değeri 7,5° iken haziran ayında kırmızı çizgi ile gösterilen değer 42° eğim olduğunu göstermektedir. Zenit değeri ise aynı saatte kış ayında 82,5° iken yaz ayında 48°’dir. Azimut değerinin 90°’ye yaklaşması PV panellerde daha çok elektrik üretimi sağlamaktadır.

2.2. Trafik Akışı ve Eğim Verileri

Antalya’da seçilen altı bölge kendi arasında eğimli ve eğimsiz olmak üzere değerlendirilerek trafik akışı hafta içi verileri Tablo 2’de gösterilmiştir. Seçilen caddelerde yapılan ölçümlere göre trafiğin PV panellerin üzerindeki elektrik üretim etkisi incelenecektir.

Tablo 2. Seçilen Bölgelerin Hafta İçi Trafik Akışı (K: Kuzey, G: Güney, D: Doğu, B: Batı)

Antalya’da Seçilen Bölge	Eğim Durumu	Araç Adedi ve Yön		Toplam Araç Adedi (Süre: 15 dk)	Yol/Koridor Uzunluğu (m)
Bölge I	Eğimli	256 (G-K)	288 (K-G)	544	200
Bölge II	Eğimli	641 (G-K)	710 (K-G)	1351	500
Bölge III	Eğimli	142 (G-K)	160 (K-G)	302	500
Bölge IV	Eğimsiz	439 (D-B)	441 (B-D)	880	650
Bölge V	Eğimsiz	135 (D-B)	121 (B-D)	256	650
Bölge VI	Eğimsiz	21 (D-B)	40 (B-D)	61	750

Eğim, PV panellerin elektrik üretiminde olumlu etkiye neden olabilir. Bu eğim açısına ve güneş ışınımının gelişine bağlı olarak elektrik üretimini arttıran bir faktördür. Düz bir alan ile eğimli bir alan arasında eğim farkı güneşin gölgeleme elemanları hariç direkt güneş ışınımına (DI) bağlı olarak aldığı ışınım miktarını etkilemektedir.

Tablo 3. Antalya’da Seçilen Bölgelerin Eğim ve Güneş Işınım Değerleri (www.globalsolaratlas.info, 2020)

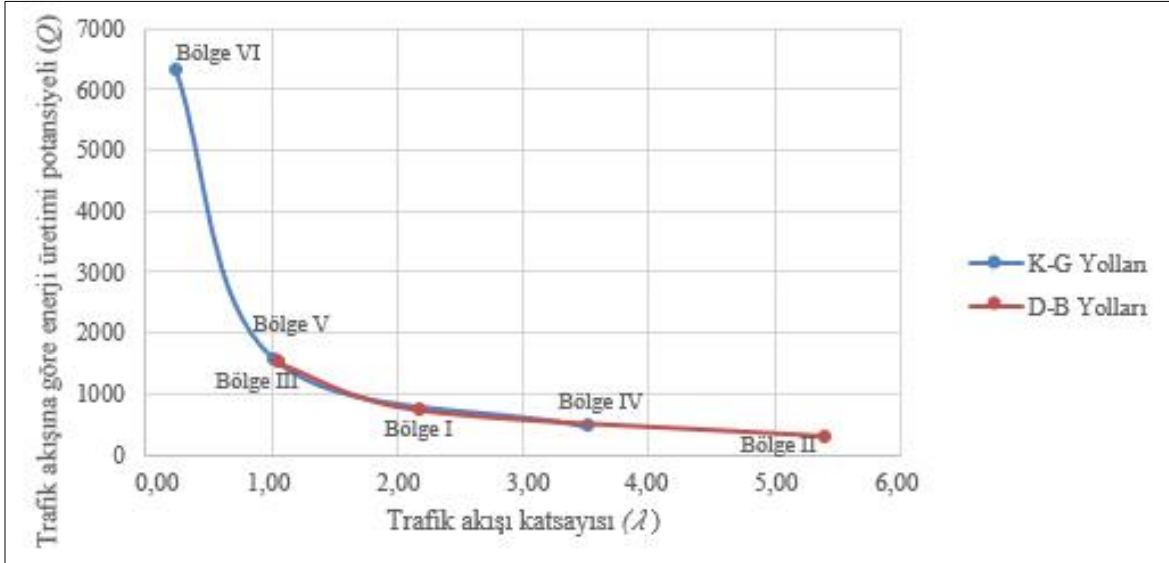
	Bölge I	Bölge II	Bölge III	Bölge IV	Bölge V	Bölge VI
Arazi Eğimi (%)	2,50	2,20	2,60	0,00	0,00	0,00
DI (kWh/m²)	1954	1932	1898	1868	1949	1868
GYI (kWh/m²)	1847	1839	1817	1801	1821	1803
DYI (kWh/m²)	646	650	649	656	633	654

Bölge I ve Bölge II’yi Tablo 3’te incelendiği üzere Bölge V ve Bölge VI’ya göre daha yüksek direkt güneş ışınımına sahiptir. Eğimin az olmasına rağmen eğimin miktarı elektrik üretiminde etkisi olduğunu göstermektedir. Bölge III’e bakıldığında yapı çevrenin güneş ışınımını etkilediği bir bölge olmasına rağmen güneşi güney yönünden alması ışınım değerini arttırdığını göstermektedir.

Yapılan analizler sonucunda, K-G yönünde uzanan yollar ile karşılaştırıldığında en çok enerji üretilebilecek bölge Gazi Mustafa Kemal Bulvarı (Bölge III) olarak tespit edilmiştir (Tablo 4). Bunun başlıca sebepleri, trafik akışının diğer K-G yönünde uzanan yollara göre az olması ve yol eğiminin diğerlerine göre fazla olmasıdır. Şekil 3’te görüldüğü üzere, K-G yönünde uzanan yollarda trafik akışı katsayısı (λ) sifira yaklaştıkça, trafik akışına göre enerji üretimi potansiyeli (Q) çok fazla olmaktadır. Bununla birlikte, λ arttıkça, Q sifira yaklaşmaktadır, ancak grafik λ eksenini kesmemektedir. Bunun nedeni ise trafik akışının maksimum seviyeye ulaşmaması ve trafiğin durmaması olarak değerlendirilebilir. D-B yönünde uzanan yollar birbirleri ile karşılaştırıldığında, trafik akışına göre enerji üretimi potansiyeli en yüksek bölge Cumhuriyet Caddesi’dir (Bölge VI). Bu çıktının başlıca sebebi, trafik akışının diğer D-B yönünde uzanan yollara göre daha az olmasıdır. Trafik akışı ile trafik akışına göre enerji üretimi potansiyeli arasında ters orantı görüldüğü için D-B yönünde eğimsiz bir şekilde uzanan yollar incelendiğinde, λ azaldıkça Q ’nin arttığı gözlemlenebilir (Şekil 3).

Tablo 4. Bölgelere göre trafik akışı katsayısı ve trafik akışına göre enerji üretimi potansiyeli

	Bölge I	Bölge II	Bölge III	Bölge IV	Bölge V	Bölge VI
λ	2,18	5,40	1,06	3,52	1,02	0,24
Q	733,59	297,37	1518,60	456,93	1575,99	6327,67



Şekil 3. Trafik akışı katsayısı ve trafik akışına göre enerji üretimi potansiyeli arasındaki ilişki grafiği

SONUÇ:

Çalışmanın temelde iki ana amacı bulunmaktadır. Amaçlardan ilki, şehir içi yollara PV panellerinin uygulaması yapıldıktan sonra, kurulum yapılan yollardaki trafik akışına ve yol eğimine göre yolların enerji üretim potansiyellerini değerlendirmektir. Bu kapsamda çeşitli yollar birbirleri ile kıyaslanarak enerji üretim potansiyelinin yüksek olduğu yol çeşitleri tespit edilmiştir. Çalışmanın bir diğer amacı doğrultusunda, yollardaki trafik akışı ile yolların üzerine düşen güneş ışınımı arasında enerji üretimi yönünden bir bağıntı sağlanmıştır. Trafik akışının enerji üretimine etkisini gösteren bir değişken (Q) vasıtasıyla bu ilişki kurulmuştur. Bu suretle yolların trafik akışına göre enerji üretimi potansiyellerini ortaya çıkaran özgün bir yöntem bağıntı (9) ile literatüre takdim edilmiştir.

PV panelleri kullanımının binalara entegre edilmesiyle ek yapılarca ihtiyaç olmaktadır. Ancak yollara PV panel döşenmesi hem ek ağırlık hem de geniş alanlarda elektrik üretimi sağlanmasına yardımcı olmaktadır. Türkiye’de Antalya kenti özellikle güneş ışınlarını en fazla alan iller arasındadır. Bu nedenle bu çalışmada Antalya kentinde elektrik üretim potansiyellerinin karayollarına uygulanması sonucu hangi bölgelerde trafik akışına göre enerji üretimi potansiyelinin daha fazla olduğu sonuçlarıyla birlikte ortaya konmuştur. K-G ve D-B yönlerinde olmak üzere Antalya’nın toplam altı bölgesinde yapılan araştırmalarda, Bölge III’te bulunan Gazi Mustafa Kemal Bulvarı’nın trafik akışına göre enerji üretimi potansiyelinin en fazla olduğu ortaya çıkmıştır. Bu hesaplamada yol eğiminin ve trafik akışının etkisi büyüktür. Trafik akışının yaptığı gölgelemelerin fazla yoğun olmadığı bir bölgedir. Bölge III’teki yolun 500 metrelik bölümünde yapılan eğim ölçümünde eğimin güney yönünde %2,60 olduğu tespit edilmiştir. Bu kapsamda, güneş ışınlarının uygulamaya dahil olan diğer yollara göre daha dik açılarla yol yüzeyine veya PV

panellere ulaşacağından yolun trafik akışına göre enerji üretimi potansiyeli en yüksektir. Bu doğrultuda Gazi Mustafa Kemal Bulvarı'nda elektrik üretimi daha fazla olacaktır.

Hem çevresel faktörler hem de insan yapımı olan diğer faktörler PV panellerin çalışma koşullarını etkileyebilmektedir. Bölge I'de bulunan yol etrafında 8 katlı binaların bulunması yolun güneş ışınımını almasını engelleyeceği için bu gibi yollara uygulanacak PV paneller ile enerji üretimi kısıtlanmış olacaktır. Bölge IV, Bölge V ve Bölge VI'da bulunan yollarda ise bina yoğunluğu yolun güneşe bakan kısımlarında değildir. Bu gibi bölgelerde güneş ışınımının yol yüzeyine ulaşması açısından engellerin bulunmaması, güneşten gelen tüm ışınımı elektrik enerjisine çevirme potansiyelini artırmaktadır. Bölge II ve Bölge III'de bulunan alanlarda ise en fazla 5 katlı binaların bulunması, buradaki yolların özellikle öğlen saatlerine doğru en iyi trafik akışına göre enerji üretimi potansiyeline sahip olacağını göstermektedir. Gelecekte yapılması öngörülen ayrı bir çalışmada bu gibi durumlar değerlendirilecektir. Bu makaledeki çalışmanın Antalya ilinde olmasının nedeni, Antalya'nın Türkiye'de dört mevsim yüksek güneşlenme süresine sahip olan illerden biri olması durumudur. Türkiye'de en düşük güneşlenme oranına sahip bölgelerden bir tanesi olan Karadeniz Bölgesi'nde de bu çalışmaya benzer uygulamalar gerçekleştirilerek kıyaslamalar yapılabilir. Böylelikle, trafik akışına göre enerji üretimi potansiyelinin ne kadar önemli olduğu daha kapsamlı bir şekilde literatüre yansıtılabilir. Literatürde yollara uygulanabilir PV paneller hakkında araştırmaların artırılması ile farkındalık da artacaktır.

Gelecekte elektrikle çalışan araçların kullanımlarının çoğalması ile elektriğe duyulan ihtiyaç daha da artacaktır. Bu da şehir yapılarında kullanılan elektrik enerjisinin daha da fazlasının tüketilmesine neden olacağı için çevreyi kirleten fosil yakıtları kullanmak yerine yenilenebilir enerjinin kullanım alanları şehir içlerine doğru artarak devam edecektir. Bu nedenle şehir içi karayollarında elektrikli araçların şarj edilebilmelerini sağlayan sistemlerin geliştirilebilmesinin önü açılabilir. Yolların üzerine uygulanan PV panellerinin sadece şehir içi aydınlatmaları için kullanımları yerine, gelecekte motorlu taşıtlar için şarj alanları yaratılmasına olanak sağlanabilir. Elektrik ihtiyacının şehir içi yollarda karşılanması ve konu üzerinde çalışılması ile çevreye duyarlılığın artırılması hedeflenmelidir.

Etik Standart ile Uyumluluk

Çıkar Çatışması: Yazar herhangi bir çıkar çatışmasının olmadığını beyan eder.

Etik Kurul İzni: Bu çalışma için etik kurul iznine gerek yoktur.

Finansal Destek: Yoktur.

KAYNAKÇA:

Alawaji, S. H. (2001). Evaluation of solar energy research and its applications in Saudi Arabia — 20 years of experience. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 5 (2001), 59–77.

Bedeloglu A., Demir B. ve Bozkurt Y. (2010). Fotovoltaik Teknolojisi: Türkiye ve Dünyadaki Durumu, Genel Uygulama Alanları ve Fotovoltaik Tekstiller. *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi* 2010, 4(2), 43-58.

Büyükkılıç, M. (2009). *Güneş Enerjili Sistemlerin Yol Aydınlatması Amaçlı Kullanımı*. [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü.

- Channi, H. K. (2019). Solar Pavement: Smart Means of Transportation. *International Journal of Management, IT & Engineering*, 9(2), 211-217.
- Çanka Kılıç, F. (2015). Güneş Enerjisi, Türkiye'deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri. *Mühendis ve Makina*, 56 (671), 4-28.
- Çelebi, G. (2013). Bina Düşey Kabuğunda Fotovoltaik Panellerin Kullanım İlkeleri. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 17 (3), 17-33.
- Dhoke, M., Naidu, H. ve Ghutke, P. (2017). An Innovative Method of Power Generation using PV Technology on Solar Roadways. *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering IJARCCCE*, 6(6), 519-521.
- Dikmen, A. Ç. (2019). Türkiye'de Güneş Ve Rüzgardan Elektrik Üretiminin Sera Gazı Emisyonları ve Çevre Maliyetinin Azalmasına Katkıları. *Journal of Turkish Studies*, 14(2), 275-293. <http://dx.doi.org/10.7827/TurkishStudies.15149>
- Eugster, W. J. ve Schatzmann, J. (2002). *Harnessing Solar Energy For Winter Road Clearing On Heavily Loaded Expressways* New Challenges for Winter Road Service. XIth International Winter Road Congress.
- Eliyi, D. ve Çaylan, T. (2008). Güneş Enerjisi ve Led İle Etkin Enerji Kullanımı: Yol Aydınlatmalarına Yönelik Bir Uygulama. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 19(2), 2-15.
- Global Solar Atlas Antalya güneş ışınım değerleri. (2020). <https://globalsolaratlas.info/map?c=36.901038,30.695801,11&s=36.900964,30.695485&m=site>
- Jung, J., Han, S. ve Kim, B. (2019). Digital numerical map-oriented estimation of solar energy potential for site selection of photovoltaic solar panels on national highway slopes. *Applied Energy*, Volume 242, 57-68.
- Kıncay, O. (2008). Güneş Enerjisi [Powerpoint slides]. Erişim adresi <http://www.solar-academy.com/menus/Gunes-Enerjisi.021720.pdf>
- Kulkarni, A. (2013). Solar Roadways -Rebuilding our Infrastructure and Economy. *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, 3(3), 1429-1436
- Lave, M., Hayes, W., Pohl, A., ve Hansen, C. W. (2015). Evaluation of global horizontal irradiance to plane-of-array irradiance models at locations across the United States. *IEEE journal of Photovoltaics*, 5(2), 597-606.
- Liu, Z., Yang, A., Gao, M., Jiang, H., Kang, Y., Zhang, F. ve Fei, T. (2019). Towards feasibility of photovoltaic road for urban traffic-solar energy estimation using street view image. *Journal of Cleaner Production*, Volume 228, 303-318.
- Mannering, F. L., ve Washburn, S. S. (2019). *Principles of highway engineering and traffic analysis*. John Wiley & Sons. 7th edition.
- Matisziw, T. C., ve Demir, E. (2016). Measuring spatial correspondence among network paths. *Geographical Analysis*, 48(1), 3-17.
- Mehta, A., Aggrawal, N. ve Tiwari, A. (2015). *Solar Roadways-The future of roadways*. National Conference on Renewable Energy and Environment (NCREE-2015), 2(1). 161-163.
- Muneer, T. (1997). Perez slope irradiance and illuminance models: evaluation against Japanese data. *International Journal of Lighting Research and Technology*, 29(2), 83-87.
- Oh, M., Kim, J. Y., Kim, B., Yun, C. Y., Kim, C. K., Kang, Y. H., ve Kim, H. G. (2020). Tolerance angle concept and formula for practical optimal orientation of photovoltaic panels. *Renewable Energy*.

Perez, R., Ineichen, P., Seals, R., Michalsky, J., ve Stewart, R. (1990). Modeling daylight availability and irradiance components from direct and global irradiance. *Solar energy*, 44(5), 271-289.

Sayın, S. ve Koç, İ. (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.

Shekhar, A., Kumaravel, V. K., Klerks, S., Wit, S., Venugopal, P., Narayan, N., Bauer, P., Isabella, O. ve Zeman, M. (2018). Harvesting Roadway Solar Energy—Performance of the Installed Infrastructure Integrated PV Bike Path. *Journal of Photovoltaics*, vol. 8(4), 1066-1073.

Tawalbeh, M., Al-Othman, A. Kafiah, F., Abdelsalam, E., Almomani, F. ve Alkasrawi, M. (2021) Environmental impacts of solar photovoltaic systems: A critical review of recent progress and future. *Science of The Total Environment*, 759:143528. <https://DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.143528>

Uçar, S. ve Akıner, İ. (2020). Yerel Yönetimlerin Kurumsal Çevre Sorumluluğunda Binalarda Fotovoltaik Panel (PV) Kullanımlarının Önemi. *Kent Akademisi*, 13 (4) , 584-598.

Zhou, Z., Hu, S., Zhang, X. ve Zuo, J. (2013). Characteristics and application of road absorbing solar energy. *Frontiers in Energy*. 7, 525-534.