

900 KWP GÜCÜNDEKİ FOTOVOLTAİK SANTRALİN T KAVŞAKLI YOL ÜZERİNDEKİ PARLAMA ETKİ DEĞERLENDİRMESİ

GLARE IMPACT ASSESSMENT OF THE 900 KWP PHOTOVOLTAIC POWER PLANT ON A T- JUNCTION ROAD

Rıdvan ÇELİK^{1,2*}, Ü. Çiğdem TURHAL¹, Talat ÖZDEN^{2,3}

¹ridvan.celik@odtugunam.org

¹Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Lisans Üstü Eğitim Enstitüsü, Bilecik Şeyh Edebali
Üniversitesi, Bilecik, Türkiye

²ODTÜ-GÜNAM, Modül Teknolojileri Birimi, Ankara, Türkiye

³Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Doğa Bil. Fakültesi, Gümüşhane
Üniversitesi, Gümüşhane, Türkiye

Özet

Güneş enerji santralleri yenilenebilir enerji kaynakları türleri arasında en çok tercih edilen tür olmasına karşın gerek kurulum aşamasında gerekse işletme boyunca canlılar üzerinde çeşitli etkiler ortaya çıkmaktadır. Bu etkilerin en başında ise “parıltı” ve “parlama” gelmektedir. Güneşten gelen ışınların güneş paneline çarptıktan sonra çevreye yayılması sonucu parlama oluşmaktadır. Santralden yansıyan güneş ışınlarının yoğunluğu arttıkça oluşturacağı parlama risk miktarı artmaktadır. Ülkemizde yönetmelik, 2017 yılından beri kurumların taleplerine göre parlama analizi yapılacağı yönündeydi. Fakat 2023 yılında bu yönetmelikte yapılan değişikliklerle beraber karayolları veya uçuş rotaları özelinde parlama analizleri kurulacak Fotovoltaik santrallerin kurulum izni süreçlerinde talep etmektedirler.

Bu çalışmada Isparta/ Gönen’de, Isparta- Burdur Karayolu’nun yaklaşık 21. km’sinde bulunan “T” kavşağının yakınında kurulacak olan güneş enerjisi santralinin kavşağı kullanan sürücüler için parlama ve parıltı açısından ne kadar risk doğurduğu ve bu risklerin önüne geçilebilecek önlemlerin neler olabileceği analiz edilmiş ve sonuçları sunulmuştur. Analizler Federal Havacılık İdaresi (FAA) tarafından belirlenen güneş parlaması standardına göre değerlendirilmiştir. Sonuçlarda ortaya çıkan parlama riskinin bu kavşağı kullanacak olan şoförleri etkilemeyecek seviyeye indirilmesi için dört farklı çözüm önerisi geliştirilmeye çalışılmıştır. Bu öneriler; yola paralel yansıma önleyici opak bariyer kullanımı, santrale paralel yansıma önleyici opak bariyer kullanımını, panel cam tipi olarak derin dokulu (deeply textured) cam kullanımı, güneşe yönelim açısı ve güneş

paneli modülünün eğim açısı optimizasyonu içermektedir.

Anahtar Kelimeler: Parlama Analizi, Parlama, Forge Solar, GES, Fotovoltaik

GLARE IMPACT ASSESSMENT OF THE 900 KWP PHOTOVOLTAIC POWER PLANT ON A T-JUNCTION ROAD

Abstract

Solar power plants, despite being the most preferred type among renewable energy sources, exhibit various effects on living organisms both during the installation phase and throughout the operation. The primary effects include "glare" and "glint," with glare occurring as a result of the dispersion of sunlight after it strikes the solar panels. The risk of glint increases as the intensity of sunlight reflected from the power plant increases. In our country, regulations have mandated glare analysis based on the requests of institutions since 2017. However, with the changes made to these regulations in 2023, glare analyses, specifically for highways or flight routes, are now required during the approval process for the installation of photovoltaic plants.

In this study, the analysis focuses on the glare and glint effects of a solar power plant to be installed near the "T" Junction at approximately the 21st km of the Isparta-Burdur Highway in Gönen, Isparta. The study explores the level of risk posed to drivers using the intersection and analyzes potential measures to mitigate these risks. The analyses were conducted according to the solar glare standard set by the Federal Aviation Administration (FAA). To minimize the glare risk for drivers using this intersection, four different solution proposals have been developed. These proposals include the use of opaque barriers to prevent parallel reflection on the road, the use of opaque barriers to prevent parallel reflection on the solar panels, the use of deeply textured glass as the panel glass type, and the optimization of the orientation angle towards the south and the tilt angle of the solar panel module.

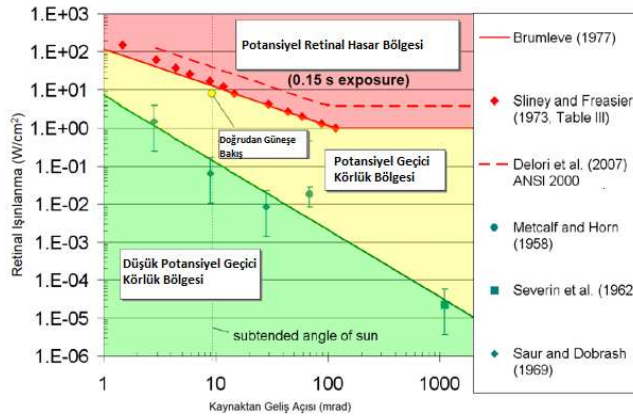
Keywords: Glare Analysis, Glare, Forge Solar, Solar Power Plant, Photovoltaic

1. GİRİŞ

Fosil yakıtların çevresel etkileri ve enerji üretimiyle ilgili artan bilinç, son yıllarda ülkeleri yenilenebilir enerji kaynaklarına yönlendirmiştir [1]. Hem enerji kaynağının her yerde olması hem de bedelsiz erişilebilir olması, güneşi yenilenebilir enerji kaynağı türleri arasında en çok tercih edilen olmasını sağlamıştır. Bununla birlikte üretilen elektrik enerjisinin birim maliyetinin diğer enerji formları arasında en düşük olması günümüzde fotovoltaik (FV) santrallerin yaygınlaşmasını sağlamıştır [2]. Ancak, teknolojinin hızla yayılması, beraberinde çeşitli problemleri de getirmiştir. Örneğin; kurulum için geniş alanlara ihtiyaç duyulması, üretimin 24 saat esasına göre yapılamaması bunlardan bazılarıdır. Ayrıca, dolaylı olarak çevredeki canlılık üzerinde de etkileri olabilir. Bu etkilerden önde geleni "parlama ve parlıltı"dır. Parlama, genellikle güneş ışığının yüzeylere

çarpması sonucu oluşan uzun süreli yansımalarıdır. Parlanti ise, ışığın ani parlaklık değişimleriyle karakterize edilen bir olaydır. Parlama ve parlanti arasındaki temel fark, yansıyan ışığın yansıma süresidir [3].

FV santral yüzeylerinden yansıyan parlama ve parlantının yönelimi, güneşin ve FV yüzeyin pozisyonuna göre zamana bağlı olarak değişir. Bir başka deyişle, FV yüzeylerden yansıyan güneş ışığı hem gün içinde hem de tüm yıl boyunca santral çevresindeki uzaydaki farklı noktalara düşer. Bu noktalara denk gelecek canlı yaşam alanları veya hareketli araç sürücü güzergahları gibi canlı yaşamı veya sürüş konforu açısından olumsuz etkilenip etkilenmediği analiz edilmelidir. Parlama ve parlantının yoğunluğu ve süresi olası insan yaşamını tehlikeye sokacak kazaların yaşanmaması için analiz edilmeli ve gerekli ise tedbir alınmalıdır. Bu yoğunluk ve süre Amerikan Havacılık İdaresinin yayınladığı 78FR63276 numaralı standardına göre risk değerlendirmesi oluşturup oluşturmadığı değerlendirilmektedir [4], [5]. Şekil 1’de görüleceği gibi standartta 3 adet parlama risk bölgesi bulunmaktadır. Bunlar Retinal hasar riski (Kırmızı parlama), Geçici körlük riski (Sarı parlama) ve Düşük geçici körlük riski (Yeşil parlama) oluşturabilecek parlama ve parlantılardır. Standart insan yaşamını tehlikeye sokmayacak bölgenin Düşük Geçici Körlük Risk bölgesi olduğunu vurgulamaktadır [4]–[10]



Şekil 1. Parlama Risk Bölgeleri Grafiği

Bu alanda literatüre konu birçok çalışma vardır. Ancak önemli ve güncel olan birkaç değerlendirme şöyledir.

2012 yılında Manchester Boston havaalanında sabahları kontrol kulesinde saatlerce süren kör edici parlamayı önlemek için 530 KWp lik FV santral geçici olarak kapatıldı ve ardından yeniden tasarlanarak parlama etkisi ortadan kaldırılacak şekilde devreye alındı. Bu durum önemli büyüklükte maddi kayba neden oldu. Fedaral havacılık idaresi böyle bir problemin bir daha yaşanmaması için belirli tedbirler aldı [11]–[13].

2020 yılında Malezya'nın Kuantan Havalimanının geniş arazisinde FV santral kurulması planlanmıştır ve kurulacak santralin uçakların uçuş rotaları boyunca pilotların uçuş konforunu tehdit etmeyecek şekilde tasarlanabilmesi için parlama analizleri yapılmıştır. Bölüm 2’de bahsedilen yazılım aracılığı ile yürütülen analizlerle 8 FV bölgeden biri, oluşturduğu parlama tehdit nedeniyle tasarımlardan çıkarılmıştır [14].

2021 yılında Kore'nin en yüksek gökdeleninde (554 m) 4 tarafının camlarla kaplatılmış olması sebebiyle trafikte bulunan yayalar ve sürücüler üzerinde binadan yansıyan parlama etkisi incelenmiştir. Yapılan analizler sonrasında parlamadan kaynaklı potansiyel tehlikenin minimuma indirgenebilmesi için cam yüzey yansımalarının %3'ün altında tutulması gerektiği önerilmiştir. Ayrıca, giydirme cephe binaların yakınında trafik kazalarını azaltmak için cam yansımalarının yönetilmesi ve ek trafik güvenliği sistemlerinin kurulması önerilmektedir [15].

2021 yılında yapılan derleme bir çalışmada ise, havaalanındaki FV santralden kaynaklanan parlamanın oluşumunu etkileyen çeşitli faktörler incelenmiştir. Özellikle havalimanları odağında yürütülen incelemelerde,

dünyadaki yasal düzenlemeler ve var olan ticari ve ticari olmayan parlama analizi algoritmaları ile yazılımlarına ait bilgiler sunulmuştur [12].

Ülkemizde 30 Haziran 2017 tarih ve 30110 sayılı resmi gazetede yayımlanan “Güneş Enerjisine Dayalı Elektrik Üretimi Başvurularının Teknik Değerlendirmesi Hakkında Yönetmelik” kapsamında “*Karayolları Genel Müdürlüğü ve Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü gerek görmesi halinde mevcut ve planlanan karayolları, havaalanları civarlarında kurulması planlanan güneş enerjisi sistemlerinin olası olumsuz etkilerinin asgariye indirilmesi amacıyla Genel Müdürlükten parlama analizi yapılmasını talep edebilir. Genel Müdürlük analizleri tamamlayarak ilgili kurum ve kuruluşlara iletir. Parlama analizinde yer alan olası risklere karşı alınması gereken önlemler raporda belirtilir*” şeklinde düzenleme yapılmıştı [16]. Ancak, 17 Ocak 2023 tarihinde yönetmeliğin bu maddesi 31492 sayılı resmi gazetede yayınlanan düzenleme ile yürürlükten kaldırılmıştır. Bugün itibari ile ulusal ölçekte parlama ve parıltı özelinde yapılmış özel bir düzenleme olmamasına rağmen Karayolları Genel Müdürlüğü ve Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü konunun önemi sahiptirler ve karayolları veya uçuş rotaları özelinde analizleri kurulacak FV santrallerin ÇED süreçlerinde talep etmektedirler.

Bu çalışmada “T” kavşaklı bir karayolu yakınında kurulacak olan güneş enerjisi santralinin (GES) kavşağı kullanan sürücüler için parlama ve parıltı açısından ne kadar risk doğurduğu ve bu risklerin önüne geçilebilecek önlemlerin neler olabileceği analiz edilmiş ve sonuçları sunulmuştur. Analizler bu alanda yaygın olarak kullanılan Forgesolar yazılımı ile yürütülmüştür. Olası geçici körlük riski veya retinal hasar riski oluşturacak parlama/parıltılar için aşağıdaki yöntemler kullanılarak çözüm önerileri geliştirilmeye çalışılmıştır.

- Yola paralel yansıma önleyici opak bariyer kullanımı,
- Santrale paralel yansıma önleyici opak bariyer kullanımı,
- Panel cam tipi olarak derin dokulu (deeply textured) cam kullanımı,
- Güneye yönelim (azimuth) açısı ve güneş paneli modülünün eğim (tilt) açısı optimizasyonu.

2. MATERYAL VE METHOD

Bu çalışmada sunulan analizler karmaşık bir kavşak yapısı içeren ve birçok yönden parlama riski altında olabilecek bir karayolu kavşağı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kavşaklar yaygın olarak 3 veya 4 yönlü nadiren de daha fazla yolun birleştiği çok yönlü olabilmektedirler. Çalışmada 3 yönlü (T kavşak) yapısı dikkate alınmış ve yaklaşık 0,5 km uzağındaki GES’in olası parlamasının kavşak üzerindeki etkisi incelenmiştir.

A. Saha Seçimi

Parlama ve parıltı riski analizlerinin yürütüldüğü GES ve karayolu sahası Isparta ili Gönen ilçesinde bulunmaktadır. Yaklaşık 15000 m²’lik bir arazide 900 kWp DC güçte GES kurulacağı varsayılmıştır (Şekil 2) ve yakınındaki D-685 numaralı karayolunun Isparta-Burdur otoyolunun 21. km’sinde bulunan T kavşak üzerindeki parlama ve parıltı riskine ait analizler yapılmıştır (santral ve rota koordinatları için bakınız EK-1 ve EK-2).



Şekil 2. GES kurulum alanı

Tablo 1’de GES’e ait tasarım verileri sunulmuştur.

Tablo 1. GES tasarım verileri

Santral Bilgileri	Açıklama
Planlanan DC güç	900 kWp
Santral türü	Güneye bakılı sabit açılı
Güney yönelim açısı (azimuth)	180°
Panel eğim açısı (tilt)	25°
Bakış açısı (view angle)	50°
Arazi büyüklüğü	~15000 m ²
Dizi merkezinin yerden yüksekliği	1,5 m
Modül cam bilgisi	Hafif dokulu ARC (yansıma engelleyici kaplama) yüzeyli cam

Şekil 3’de analizlerin yürütüldüğü rotaların uydu görüntüleri üzerindeki konumları sunulmuştur.



a)



b)



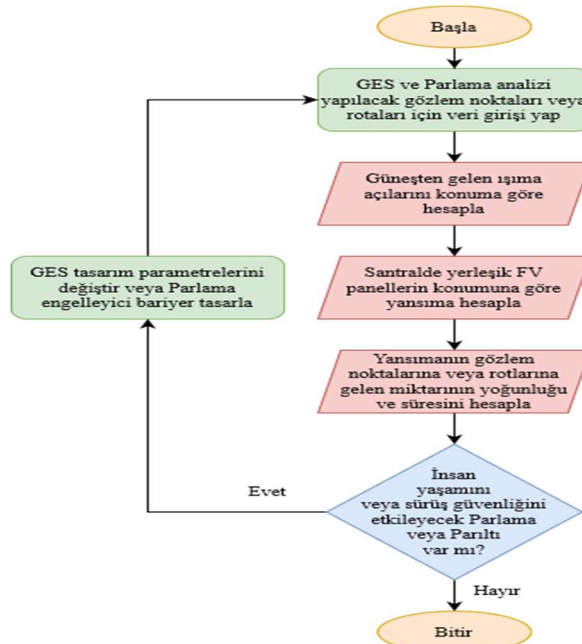
c)

d)

Şekil 3. Parlama ve parlıltı analizi yapılan T kavşak rotaları
a) Otoyol, b) Tali yol 1, c) Tali yol 2, d) Tali yol 3 ve kavşak

B. Parlama Analizi

Parlama ve parlıltı analizi güneş ışınımının geliş açısı ve FV santrallerin tasarımsal özelliklerindeki panel konumuna bağlı olarak oluşan yansımanın gözlem noktalarına düşen bölümünün süresine ve yoğunluğuna göre hesaplanır. Bu nedenle öncelikli olarak güneş ışınımının saatlik bazlı olarak yıl boyunca geliş açıları analiz yapılacak konuma göre hesaplanır. Bu işlem çok bilinen bir yöntemdir. Çünkü FV santrallerin kurulmadan önceki performans tahminlemesi için gelen enerjinin hesaplanmasında da yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu metodolojiye ait bağıntılar ayrıntılı olarak kaynak [17]'de bulunabilir. Gelen ışımının FV yüzeyinden yansıması ve canlı gözüne erişen yoğunluk ve süresi, insan göz yapısı dikkate alınarak hesaplanır. Bu hesaplamaların ayrıntıları [3-11] makalelerinde sunulmaktadır. Parlama analizine ait yapılan işlemler Şekil 4'deki akış diyagramında sunulduğu gibidir.



Şekil 4. Parlama analizi akış diyagramı

Bu çalışmada Şekil 2'deki GES alanında oluşacak yansımaların Şekil 3'deki rotalar üzerindeki olası risklerini analiz için Şekil 3'de sunulan metodolojik yaklaşımla çözüm sunan ForgeSolar yazılımı kullanılmıştır[18][11], [14], [19]–[21].

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

A. Tablo 1'de sunulan parametrelere göre sonuçlar

ForgeSolar yazılımı ile yürütülen analizler sonucunda EK 3, 4, 5 ve 6'da sunulduğu gibi güzergahın belirli kısımlarında geçici körlük riski oluşacağı değerlendirilmiştir. Eklerde sunulan sonuçlar güzergâhta seyir halindeki büyük ticari araçlardaki (kamyonet, kamyon, tır vb.) sürücülerin yol yüzeyinden yüksekliği 2,5 m olacağı varsayılarak yürütülmüştür.

Sonuçlar, tüm güzergahlarda nisan ve eylül ayı boyunca akşam 18:00 ile 20:00 saatleri arasında rotanın bazı bölgelerinde hem geçici hem de düşük geçici körlük riski oluşturacak parlama etkisinin oluştuğunu göstermektedir. Sürücüler için risk oluşturacak parlama sınıfı olan geçici körlük riski oluşturan parlamaların yıl boyu toplam süresi yaklaşık 117 saattir (Tablo 2).

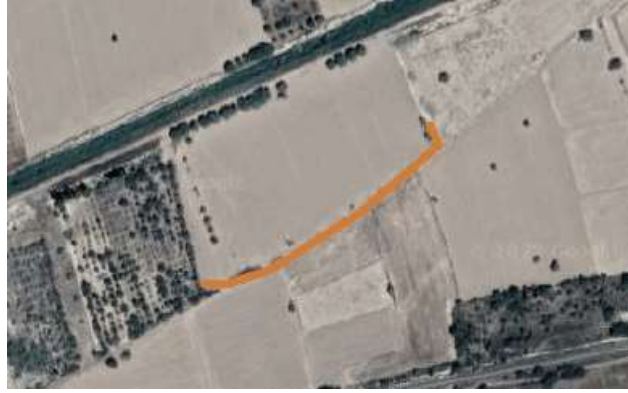
B. Uzmanın seçtiği parametrelere göre sonuçlar

Geçici körlük riski oluşturan parlama yoğunluğunu ortadan kaldırmak ve sürücüler için güvenli bir seyir sağlayabilmek için yansıma kesici bariyer, panel ön yüzündeki cam dokusunun değiştirilmesi veya santralin tasarım parametrelerinin değiştirilmesini kapsayan dört öneri bu bölümde sunulmaktadır. Bariyer Şekil 5'de sunulduğu gibi santral yanına yapılabileceği gibi Şekil 6'da sunulduğu gibi yol kenarına da yapılabilir. Her ne kadar yapılan analizlerde yol kenarına önerilen 3m'lik bariyer, santral yanına yapılacak (Şekil 6) 5m'lik bariyerden daha düşük maliyetli olacağı açıksa da mülkiyet haklarından dolayı her zaman yol kenarına bu tür bariyerler yapılması mümkün olamamaktadır.



Şekil 5. Yola paralel 3m yükseklikte yansıma kesici opak bariyer

Santral yanına yapılması önerilen 5m yükseklikteki bariyerin de hem imalat maliyetleri hem de santral alanına yapacağı gölgelemeden dolayı kurulum yapılacak alanın kısıtlanması yatırımcı tarafından istenilen bir çözüm olmayabilir. Bu sebeple Tablo 2'de Öneri 3 ve 4 yatırımcı için Geçici Körlük Riski oluşturan parlama için alternatif çözümler sunmaktadır. Öneri 3'de panel cam tipinin "Derin Dokulu" olacak şekilde seçilmesi halinde riskin ortadan kalktığı analizlerde elde edilmiştir. Ancak "Derin Dokulu Cam" hem panel maliyetini artıracaktır hem de enerji üretimini bir miktar düşürecektir.



Şekil 6. Santrale paralel 5m yükseklikte yansıma kesici opak bariyer

Öneri 4’de ise güneye yönelim açısı (azimut) 220° ve panel açısı (tilt) 30° olacak şekilde analiz yapılmıştır ve parlamanın tamamen ortadan kalktığı tespit edilmiştir. Ancak bu yöntemde de güneye yönelim açısının değişimi ile bir miktar enerji üretiminde kayıp yaşanacaktır.

Tablo 2. Parlama Analizleri Sonuçları

Analizler	Yapılan Analizler	Parlama ¹ (Saat)	Parlama ² (Saat)
Tablo 1	Tablo 1 parametrelerine göre analiz sonuçları	242,4	116,9
Öneri 1	Yola paralel 3m yükseklikte konulan bariyer analizi sonuçları	92,5	0
Öneri 2	Santrale paralel 5m yükseklikte konulan bariyer analizi sonuçları	68,5	0
Öneri 3	Panel yüzeyinin derin dokulu cam olduğu analiz sonuçları	2431,2	0
Öneri 4	Azimut açısı 220° ve panel açısının 30° olduğu analiz sonuçları	0	0

Tablo 2’de özetlenmiş analiz sonuçlarına göre yatırımcı gerekli fizibilite çalışmalarını yaparak uygun olarak belirleyeceği parlamanın önüne geçici önerilerden birini seçerek ilerlemelidir.

¹ Toplam “Düşük Geçici Körlük Riski” süresi (grafiklerde yeşil ile işaretli)

² Toplam “Geçici Körlük Riski” süresi (grafiklerde sarı ile işaretli)

4. SONUÇLAR

Çalışmada Tablo 1'deki verilere istinaden yapılan analizler sonucu santralin mevcut hali ile ilgili alanda kurulumu yapıldığında dönemeç kısımlarında hem otoyolda hem de tali yollarda parlama riski oluştuğu gözlemlenmiştir. Yılın Nisan ile Eylül ayları arasında saat 18:00-20:00 saatleri arasında geçici körlük riski oluştuğu hesaplanmıştır. Bu kapsamda Tablo 1'deki verilere istinaden:

Öneri 1:

Şekil 5'de konumu verilen 3m yükseklikte yansıma önleyici opak bariyer kullanımında, yaklaşık 92,5 saat düşük geçici körlük riski ve 0 saat geçici körlük riski oluşacağı değerlendirilmiştir.

Öneri 2:

Şekil 6'da konumu verilen 3m yükseklikte yansıma önleyici opak bariyer kullanımında, yaklaşık 68,5 saat düşük geçici körlük riski ve 0 saat geçici körlük riski oluşacağı değerlendirilmiştir.

Öneri 3:

Tablo 1 de belirtilen Hafif dokulu ARC (yansıma engelleyici kaplama) yüzeyli cam (light textured glass with AR coating) yerine Derin dokulu cam (Deeply textured) cam kullanımında, yaklaşık 2431,2 saat düşük geçici körlük riski ve 0 saat geçici körlük riski oluşacağı değerlendirilmiştir.

Öneri 4:

Tablo 1 de belirtilen Azimuth açısı ve panel tilt açısı değişikliği olan santral tasarımında, yaklaşık 0 saat düşük geçici körlük riski ve 0 saat geçici körlük riski oluşacağı değerlendirilmiştir.

Tüm bu analiz sonuçları ışığında Karayolları yetkililerinin santral kurulum izinlerinde talep etmiş olduğu Parlama analizi isteminde kavşak ve tali yolların da bu kapsama alınması gerektiği değerlendirilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] J. Skelly and Y. Baghzouz, "History, Evolution, and Future of PV Cells Skelly 1 ECG 646: Photovoltaic Devices and Systems History, Evolution, and Future of PV Cells."
- [2] "International Technology Roadmap for Photovoltaic (ITRPV) Results 2021 including maturity report 2022."
- [3] C. K. Ho, C. M. Ghanbari, and R. B. Diver, "Hazard Analyses Of Glint And Glare From Concentrating Solar Power Plants."
- [4] C. K. Ho, "Summary of Impact Analyses of Renewable Energy Technologies on Aviation and Airports," 2011.
- [5] S. Sreenath, K. Sudhakar, and A. F. Yusop, "Suitability Analysis of Solar Tracking PV System in the Airport Based on Glare Assessment," *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, vol. 18, no. 3, pp. 9061–9070, Sep. 2021, doi: 10.15282/ijame.18.3.2021.18.0695.
- [6] Brumleve and T. D., "Eye Hazard and Glint Evaluation for the 5-MWt Solar Thermal Test Facility," 1977.
- [7] D. H. Sliney and B. C. Freasier, "Evaluation of Optical Radiation Hazards," *Appl Opt*, vol. 12, no. 1, p. 1, Jan. 1973, doi: 10.1364/ao.12.000001.
- [8] Delori, F. C., Webb, R. H., and Sliney, and D. H., *Maximum Permissible Exposures for Ocular Safety (ANSI 2000), With Emphasis on Ophthalmic Devices*. 2007.
- [9] Metcalf, R.D., and Horn, and R.E., "Visual Recovery Times From High-Intensity Flashes of Light," 1958.
- [10] Severin, S. L., Newton, N. L., and Culver, and J. F., "An Experimental Approach to Flash Blindness," 1962.

- [11] S. Sreenath, K. Sudhakar, A. F. Yusop, E. Cuce, and E. Solomin, "Analysis Of Solar PV Glare İn Airport Environment: Potential Solutions," *Results in Engineering*, vol. 5, Mar. 2020, doi: 10.1016/j.rineng.2019.100079.
- [12] S. Sreenath, K. Sudhakar, and A. F. Yusop, "Solar PV İn The Airport Environment: A Review Of Glare Assessment Approaches & Metrics," *Solar Energy*, vol. 216, pp. 439–451, Mar. 2021, doi: 10.1016/j.solener.2021.01.023.
- [13] Ho C, "Relieving A Glaring Problem," 2013.
- [14] S. Sreenath, K. Sudhakar, A. F. Yusop, E. Solomin, and I. M. Kirpichnikova, "Solar PV Energy System İn Malaysian Airport: Glare Analysis, General Design And Performance Assessment," *Energy Reports*, vol. 6, pp. 698–712, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.egyr.2020.03.015.
- [15] H.-J. Song and Y. Kyo Seo, "A Case Study on the Driver's Glare Hazard Assessment by Light Reflection of Curtain Wall Type Buildings Corresponding Author," *Technology) Journal of the Korean Society of Safety*, vol. 36, no. 2, pp. 26–31, 2021, doi: 10.14346/JKOSOS.2021.36.2.26.
- [16] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, "Güneş Enerjisine Dayalı Elektrik Üretimi Başvurularının Teknik Değerlendirmesi Hakkında Yönetmelik Birinci Bölüm," Jun. 30, 2017.
- [17] J. A. Duffie and W. A. Beckman, *Solar engineering of thermal processes*. Wiley, 2013.
- [18] SGHAT, "https://www.forgesolar.com/," 2023.C1.
- [19] SGHAT, "ForgeSolar (SGHAT)." Sandia National Laboratories, California, 2016.
- [20] S. Sreenath, K. Sudhakar, and A. F. Yusop, "Effect Of PV Material, Texturing, Orientation And Tracking On Glare İmpact: A Simulation Study From An Indian Airport," *Clean Eng Technol*, vol. 4, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.clet.2021.100236.
- [21] S. Sreenath, K. Sudhakar, and A. Yusop, "Glare Prediction Of Solar PV System İn Airport Environment: A Scenario Analysis Of Material, Tilt And Orientation," *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 1068, no. 1, p. 012014, Mar. 2021, doi: 10.1088/1757-899x/1068/1/012014.

5. EKLER

EK-1 Santral Koordinatları

Sıra No	Enlem (°)	Boylam (°)	h ³ (m)
1	37,923100	30,474600	953,59
2	37,923100	30,474700	953,52
3	37,923183	30,475032	953,63
4	37,923520	30,475714	954,13
5	37,9239520	30,475714	954,13
6	37,923900	30,476300	954,46
7	37,924300	30,476100	955,24
8	37,924600	30,476000	955,63
9	37,924300	30,475100	955,00
10	37,924000	30,474300	954,44

EK-2 Rota Koordinatları

a) Otoyol Koordinatları

Sıra No	Enlem (°)	Boylam (°)	h ³ (m)
1	37,913300	30,457600	946,81
2	37,916400	30,461600	946,50
3	37,919400	30,465600	950,28
4	37,920200	30,467400	950,37
5	37,920900	30,469700	951,90
6	37,922000	30,478600	957,39
7	37,922057	30,480738	965,94
8	37,922030	30,481563	965,55
9	37,921786	30,482415	960,93
10	37,921127	30,483564	954,01
11	37,920400	30,484300	949,70
12	37,915200	30,487100	946,82
13	37,910100	30,489200	944,18
14	37,905600	30,490700	941,43

b) Tali Yol 1 Koordinatları

Sıra No	Enlem (°)	Boylam (°)	h ³ (m)
1	37,921900	30,477700	956,00
2	37,922300	30,478800	956,00
3	37,923000	30,479100	954,00
4	37,925100	30,479700	956,00

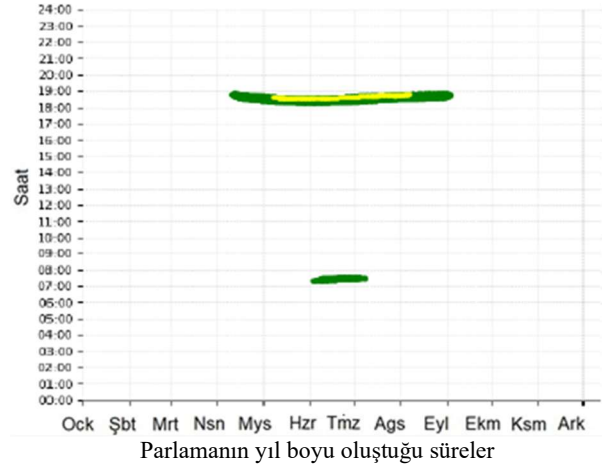
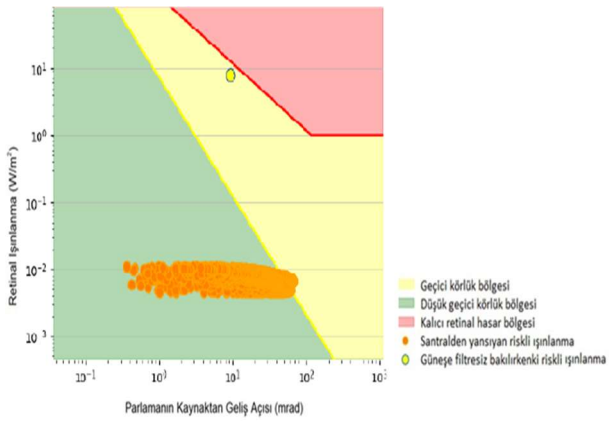
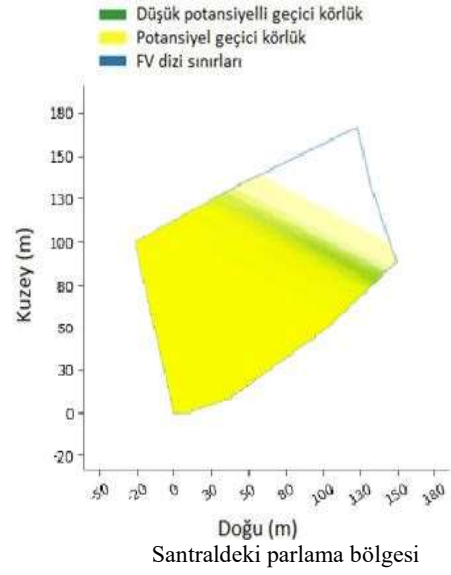
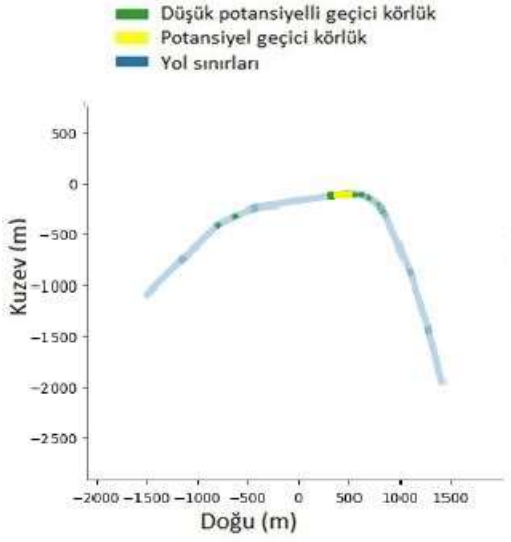
c) Tali Yol 2 Koordinatları

Sıra No	Enlem (°)	Boylam (°)	h ³ (m)
1	37,922900	30,479200	954,10
2	37,922500	30,479400	955,67
3	37,922300	30,480000	958,38
4	37,922100	30,481278	965,15

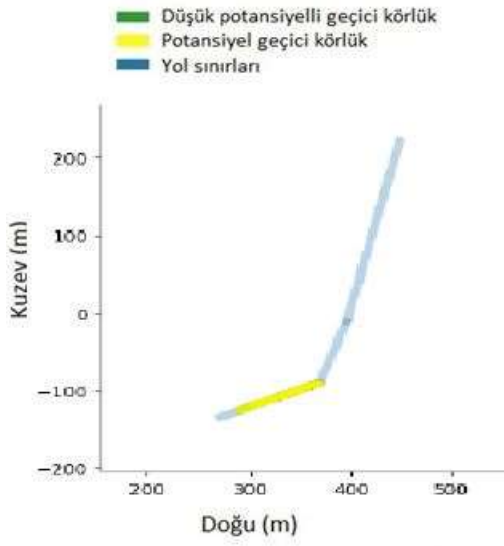
d) Tali Yol 3 ve Kavşak Koordinatları

Sıra No	Enlem (°)	Boylam (°)	h ³ (m)
1	37,922600	30,479100	954,80
2	37,922057	30,479135	957,89
3	37,922051	30,479308	958,56
4	37,922104	30,479457	958,57
5	37,922543	30,479294	955,30

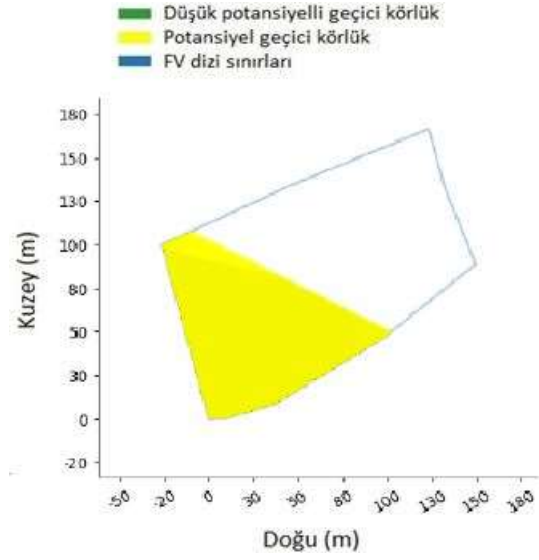
EK-3 Otoyol Güzergahı İçin Parlama Analizi Sonuçları



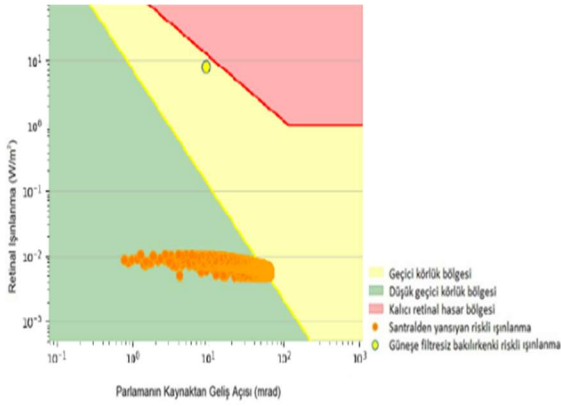
EK-4 Tali Yol 1 Güzergahı İçin Parlama Analizi Sonuçları



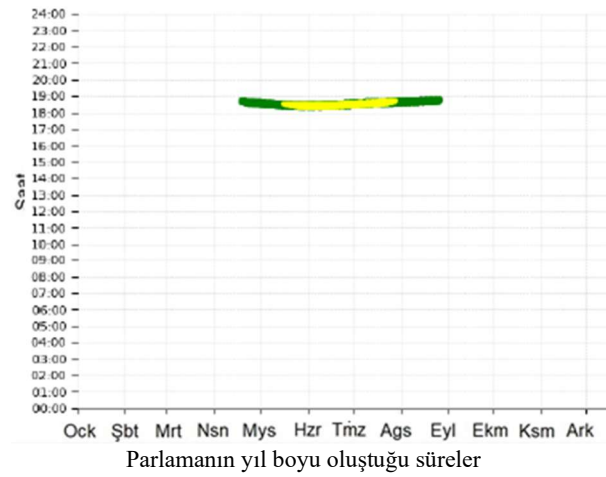
Rotadaki parlama noktaları



Santraldeki parlama bölgesi

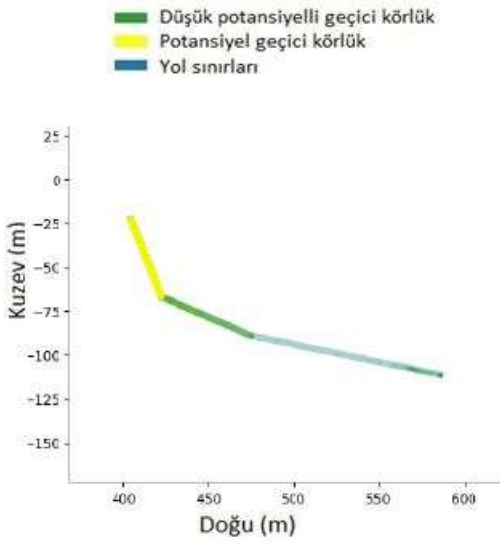


Parlamann risk bölgeleri

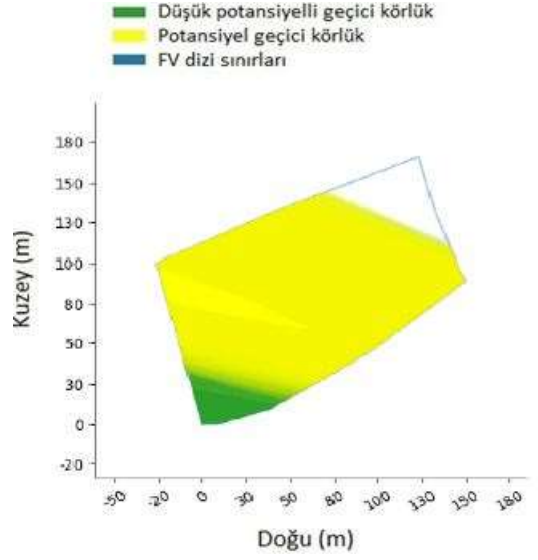


Parlamann yıl boyu oluştuğu süreler

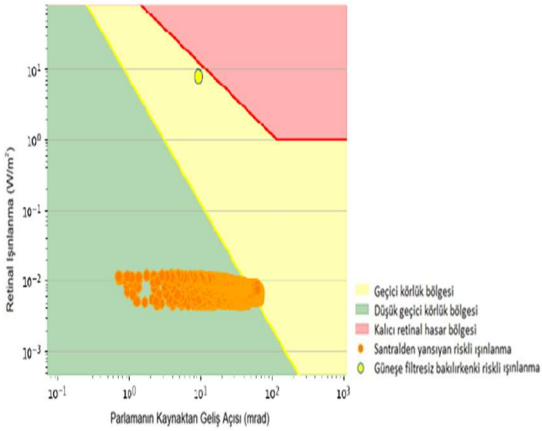
Ek-5 Tali Yol 2 Güzergahı İçin Parlama Analizi Sonuçları



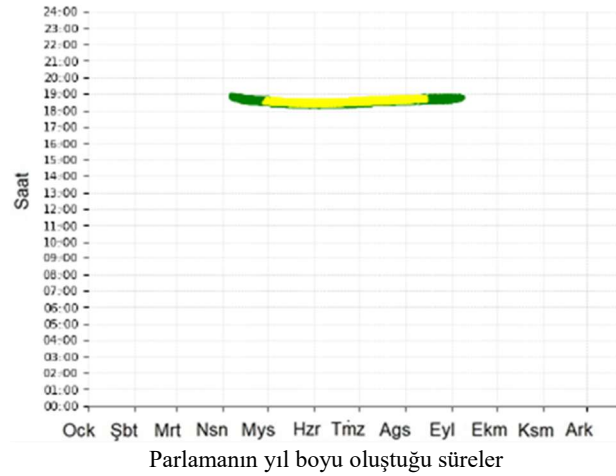
Rotadaki parlama noktaları



Santraldeki parlama bölgesi

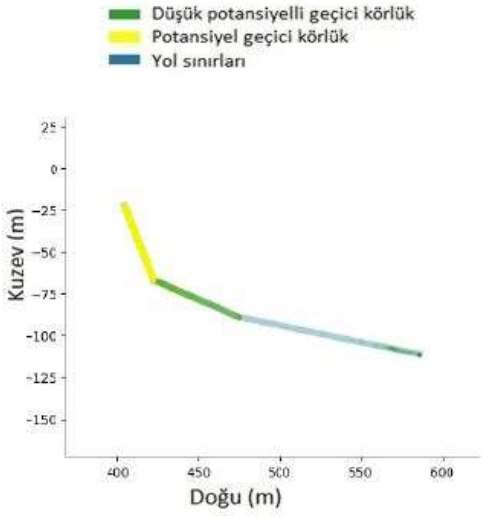


Parlamanın risk bölgeleri

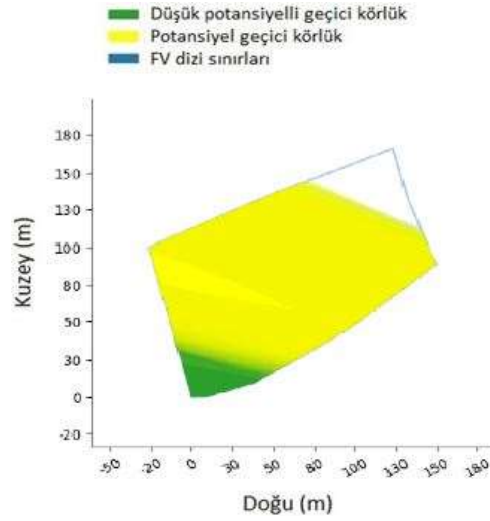


Parlamanın yıl boyu oluştuğu süreler

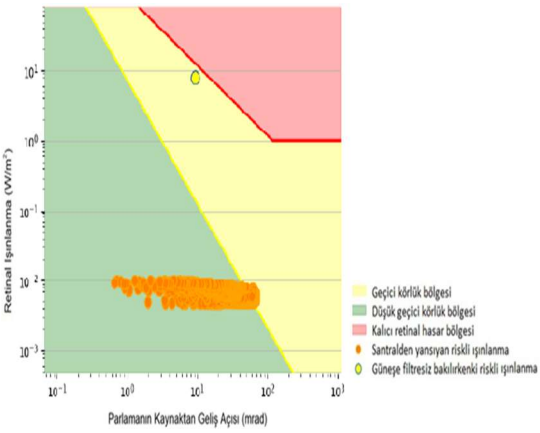
Ek-6 Tali Yol 3 ve Kavşak Güzergahı İçin Parlama Analizi Sonuçları



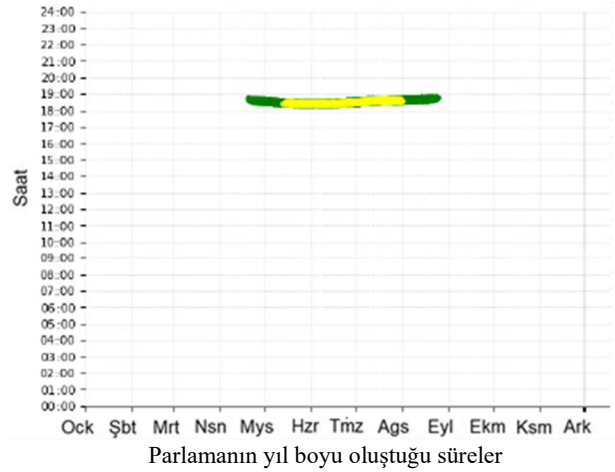
Rotadaki parlama noktaları



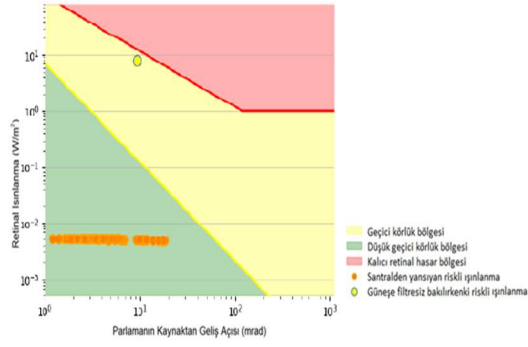
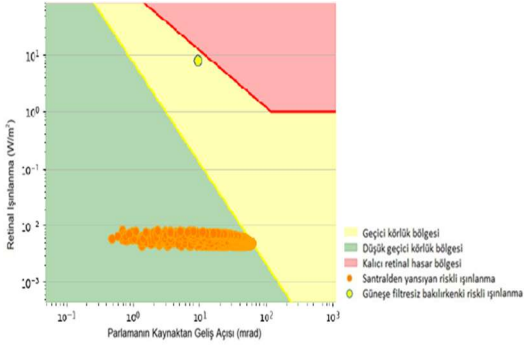
Santraldeki parlama bölgesi



Parlamanın risk bölgeleri

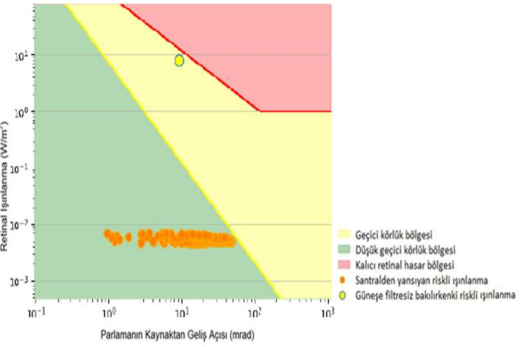
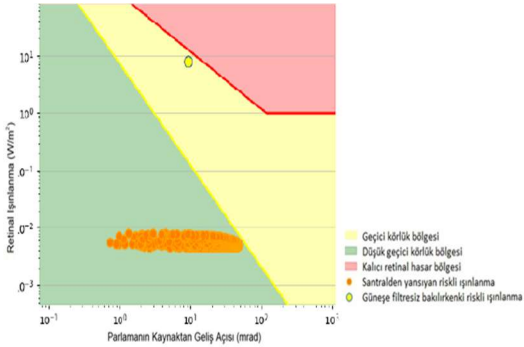


EK-7 Öneri 1 İçin Parlama Risk Bölgeleri



Otoyol güzergahı için Parlamanın risk bölgeleri

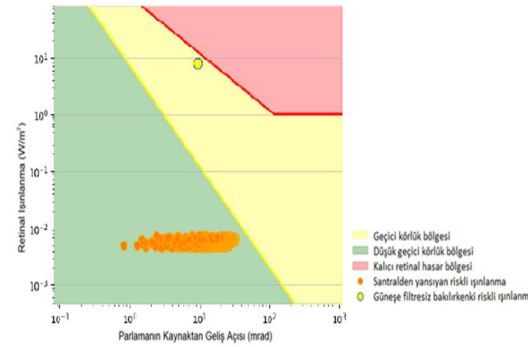
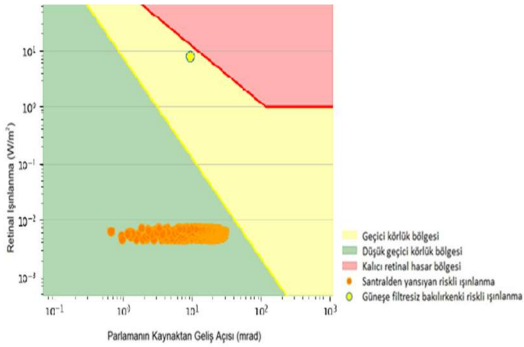
Tali Yol 1 güzergahı için Parlamanın risk bölgeleri



Tali Yol 2 güzergahı için Parlamanın risk bölgeleri

Tali Yol 3 ve kavşak güzergahı için Parlamanın risk bölgeleri

EK-8 Öneri 2 İçin Parlama Risk Bölgeleri

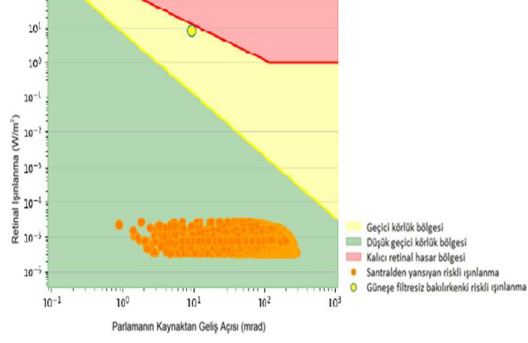
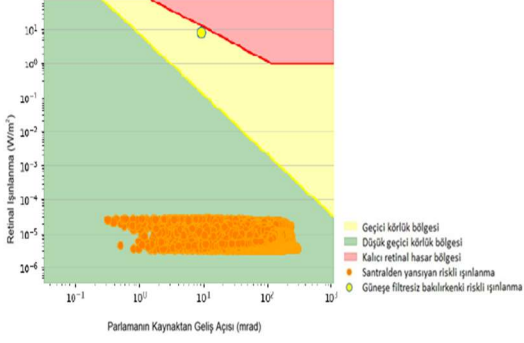


Otoyol güzergahı için Parlamanın risk bölgeleri

Tali Yol 2 güzergahı için Parlamanın risk bölgeleri

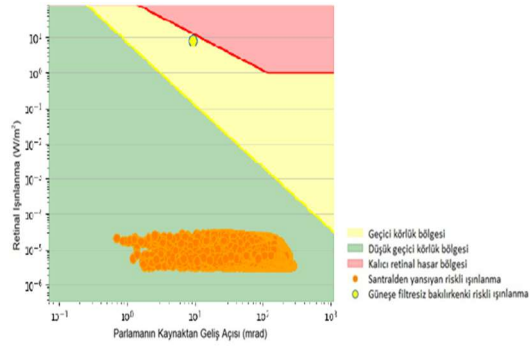
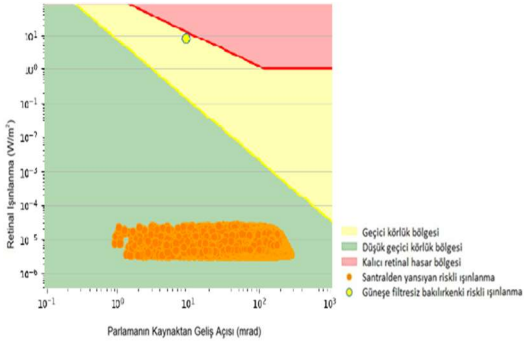
Tali Yol 1, Tali Yol 3 ve kavşak güzergahında Öneri 2 için yapılan parlama analizlerinde herhangi bir parlama bulgusuna rastlanmamıştır.

EK-9 Öneri 3 İçin Parlama Risk Bölgeleri



Otoyol güzergahı için Parlamanın risk bölgeleri

Tali Yol 1 güzergahı için Parlamanın risk bölgeleri



Tali Yol 2 güzergahı için Parlamanın risk bölgeleri

Tali Yol 3 ve kavşak güzergahı için Parlamanın risk bölgeleri

EK-10 Öneri 4 İçin Parlama Risk Bölgeleri

Otoyol güzergahı, Tali Yol 1 güzergahı, Tali Yol 2 güzergahı, Tali Yol 3 ve kavşak güzergahlarında Öneri 4 için yapılan parlama analizlerinde herhangi bir parlama bulgusuna rastlanmamıştır.