

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**T- KAVŞAK YOLU ÇEVRESİNDEKİ GÜNEŞ ENERJİSİ
SANTRALİNİN PARLAMA ANALİZİ: ISPARTA ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

RİDVAN ÇELİK

TEZ DANIŞMANI

DOÇ. DR. ÜMİT ÇİĞDEM TURHAL

BİLECİK, 2024
10611953

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**T- KAVŞAK YOLU ÇEVRESİNDEKİ GÜNEŞ ENERJİSİ
SANTRALİNİN PARLAMA ANALİZİ: ISPARTA ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

RİDVAN ÇELİK

TEZ DANIŞMANI

DOÇ. DR. ÜMİT ÇİĞDEM TURHAL

BİLECİK, 2024
10611953

BEYAN

“T- Kavşak Yolu Çevresindeki Güneş Enerjisi Santralinin Parlama Analizi: Isparta Örneği” adlı yüksek lisans projesinin hazırlık ve yazımı sırasında bilimsel araştırma ve etik kurallarına uyduğumu, başkalarının eserlerinden yararlandığım bölümlerde bilimsel kurallara uygun olarak atıfta bulunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, tezin herhangi bir kısmının Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını, aksinin tespit edileceği muhtemel durumlarda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Bu çalışmanın, Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP), TÜBİTAK veya benzeri kuruluşlarca desteklenmesi durumunda; projenin ve destekleyen kurumun adı proje numarası ile birlikte, ETİK KURUL onayı alınması durumunda ise ETİK KURUL tarih karar ve sayı bilgilerinin beyan edilmesi gerekmektedir.			
DESTEK ALINMIŞTIR		DESTEK ALINMAMIŞTIR	X
Destek alındı ise;			
Destekleyen kurum;			
Desteğin Türü		Proje Numarası	
1-BAP (Bilimsel Araştırma Projesi)			
2-TÜBİTAK			
Diğer;			
ETİK KURUL onayı var ise;			
ETİK KURUL Karar tarih/sayı:	/.....	

RIDVAN ÇELİK

Tarih

İmza

ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasının hazırlanmasında, çalışmamı sahiplenerek emek harcamış olan danışmanım Sayın Doç. Dr. Ümit Çiğdem TURHAL'a ve tezimin şekillenmesinde değerli katkılarda bulunmuş olan ODTÜ-GÜNAM birim koordinatörüm Sayın Doç. Dr. Talat ÖZDEN'e katkı ve destekleri için teşekkür ediyorum.

Her an yanımda olduğunu hissettiren sevgili eşim Devran GÖKALP ÇELİK'e, motivasyon kaynağım olan oğlum Harun Miran ÇELİK'e ve bu günlere ulaşmamda büyük emek harcayan babama, anneme, halalarıma ve kardeşlerime çok teşekkür ederim.

RİDVAN ÇELİK

2024

ÖZET

T- KAVŞAK YOLU ÇEVRESİNDEKİ GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALİNİN PARLAMA ANALİZİ: ISPARTA ÖRNEĞİ

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında en çok tercih edilen tür güneş enerjisi santralleridir (GES); ancak kurulum ve işletme süreçlerinde, canlılar üzerinde çeşitli olumsuz etkilere yol açma potansiyeli bulunmaktadır. Bu olumsuz etkilerin başında ise “parıltı” ve “parlama” etkisi gelmektedir. Bir GES’den güneş ışınlarının yansıma yoğunluğu artıkça oluşacak olan parlama miktarı riski de artmaktadır. GES kurulumuna yönelik ülkemizdeki yönetmelik, 2017 yılından 2023 yılına kadar kurumların taleplerine göre parlama analizi yapılacağı yönünde idi. Ancak 2023 yılında bu yönetmelikte yapılan revizeyle birlikte bu yönetmelik, uçuş rotaları veya karayolları özelinde kurulacak GES kurulumundaki izin süreçlerinde parlama analizi talep edilmesi yönünde düzenlenmiştir.

Bu tez çalışmasında, parlama ve parıltı oluşumu, GES’lerde parlamayı etkileyen materyaller ve GES tasarımlarının parlamaya etkileri, parlama analizinin önemi, literatürde parlama analizi ve dünya ülkelerinde parlama analizi ilgili yasal düzenlemeler incelenmiş olup tezde sunulmaktadır. Ayrıca Isparta ile Gönen arasındaki Isparta-Burdur Karayolu'nun 21. km'sinde planlanan GES'in çevresindeki "T" kavşağında sürücüler üzerinde potansiyel parlama ve parıltı riski incelenmiştir. Yapılan Analizler ve hesaplamalar, Federal Havacılık İdaresi (FHİ) tarafından tasarlanmış olan güneş parlaması standartlarına uygun Forge Solar yazılımı kullanılarak yapılmış ve parlama riski incelenmiştir.

Sonuçlara dayanarak, sürücülerini etkileyebilecek parlama riskini en aza indirmek amacıyla dört farklı çözüm önerisi sunduk. Bu çözüm önerileri arasında yola paralel yansımayı önleyici opak bariyer kullanımı, santrale paralel yansımayı önleyici ışık geçirmeyen opak bariyer kullanımı, derin dokulu cam tipi kullanımı ve güneş paneli modülünün güneşe yönlendirme açısı ile eğim açısının optimizasyonu bulunmaktadır.

Uygulanan düzenlemelerin analiz sonuçlarına göre, geçici körlük riski ve retinal hasar bırakılabilecek seviyede parlama riski belirlenmemiştir. Bariyerlerin konulması, açılarının değiştirilmesi ve derin dokulu cam kullanımı gibi önerilerin, parlama riskini etkili bir şekilde ortadan kaldıracak olduğu değerlendirilmiştir. Ayrıca, Karayolları, Demiryolları ve Hava Yolu yetkililerine parlama analizi taleplerinde bulunurken, tali yollar ve dönemeç kısımlarının da analize dahil edilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Parlama ve Parıltı Analizi, Parlama Parametreleri, Forge Solar, Güneş Santralleri.

ABSTRACT

GLARE ANALYSIS OF SOLAR POWER PLANT AROUND T- JUNCTION ROAD: ISPARTA CASE

Renewable energy sources, among which solar energy power plants (SPPs), are the most preferred type. However, during the installation and operation processes, there is the potential to cause various negative effects on living organisms. Among these negative effects, the "glare" and "glint" effects stand out. As the intensity of sunlight reflection from a SPP increases, the risk of glare also rises. The regulations for SPP installation in our country initially stated that glare analysis would be performed based on the requests of institutions from 2017 to 2023. However, with the revision of these regulations in 2023, it was specified that glare analysis should be requested in the permission processes for SPP installations, especially in flight routes or highways.

In this thesis, the formation of glare and glint, materials affecting glare in SPPs, the effects of SPP designs on glare, the importance of glare analysis, glare analysis in the literature, and legal regulations related to glare analysis in various countries are examined and presented. Additionally, the potential glare and glint risks on drivers at the "T" junction near the 21st km of the Isparta-Burdur Highway planned for a solar energy power plant between Isparta and Gonen are investigated. The analyses and calculations were performed using the Forge Solar software, which complies with the solar glare standards designed by the Federal Aviation Administration (FAA).

Based on the results, we proposed four different solutions to minimize the glare risk affecting drivers. Among these solutions are the use of an opaque barrier to prevent parallel reflection on the road, the use of an opaque barrier that prevents parallel reflection on the plant, the use of a deep-textured glass type, and the optimization of the south-facing angle and tilt angle of the solar panel module. According to the results of the applied regulations, no temporary blindness risk or glare risk that could cause retinal damage has been identified. Suggestions such as the placement of barriers, changes in angles, and the use of deeply textured glass are considered effective in eliminating the glare risk. Furthermore, it is emphasized that when requesting glare analysis from authorities such as Highways, Railways, and Air Transport, the inclusion of secondary roads and T junction road in the analysis is crucial.

Keywords: Glint And Glare Analysis, Glare Parameters, Forge Solar, Solar Powerplants.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖN SÖZ.....	i
ÖZET	ii
ABSTRACT.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
TABLolar LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ.....	viii
1. GİRİŞ	1
1.1 Parlama Analizi İle İlgili Yapılan Çalışmalar	3
1.2 Yasal Düzenlemeler.....	9
1.2.1 Amerika Birleşik Devletleri (ABD)	9
1.2.2 Kanada.....	10
1.2.3 Birleşik Krallık.....	10
1.2.4 Almanya.....	11
1.2.5 Avusturya.....	12
1.2.6 Fransa.....	12
1.2.7 İsviçre.....	13
1.2.8 Avustralya.....	13
1.2.9 Türkiye.....	14
2. MATERYAL VE METOT	15
2.1 FV Panel Çalışma Prensibi.....	15
2.2 Materyal.....	15
2.2.1 Çeşitli Malzemelerle Yansıtıcılığının Karşılaştırılması.....	16
2.3 Metot.....	19
2.3.1 Güneş Açısı	19
2.3.2 Doğrudan Normal Işıma (DNI).....	19
2.3.3 Peak DNI.....	20
2.3.4 Vary DNI.....	20
2.3.5 Zaman Aralığı	20
2.3.6 Göz Geçirgenlik Katsayısı.....	20
2.3.7 Gözbebeği Çapı	20
2.3.8 Eğim Sapma Hatası.....	20
2.3.9 Göz Odak Uzaklığı.....	20

2.3.10	Azimut Açısı	21
2.3.11	Panel Eğim Açısı	21
2.3.12	Görüş Açısı	21
2.3.13	Matematiksel Modelleme İle Parlama Analizi Hesaplama	22
3.	Forge Solar Programı İle Parlama Analizi Hesaplama	26
3.1	Santral bilgileri	30
3.2	Yol Bilgileri	31
4.	BULGULAR VE TARTIŞMA	34
4.1	Parametreleri Tablo 3.1’de Sunulan GES Tasarımına Göre Parlama Analizi Sonuçları	34
4.2	Uzman Tarafından Parlama Tehlikesini Ortadan Kaldırmaya Yönelik Belirlenen Parametrelere Göre Parlama Analizi Sonuçları	34
5.	SONUÇLAR	38
5.1	Öneri 1 Yol Yanı Bariyer:	38
5.2	Öneri 2 Santral Yanı Bariyer:	38
5.3	Öneri 3 Panel Cam Tipi Değişimi:	38
5.4	Öneri 4 Azimut ve Panel Eğimi Açısı Optimizasyonu:	38
	KAYNAKÇA	40
	EKLER	44

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 3.1. GES'e Ait Tasarım Detayları	30
Tablo 3.2. Santral Koordinatları	31
Tablo 3.3. Yol Güzergâh Koordinatları.....	32
Tablo 4.1. Parlama ve Analizleri Sonuçları.....	36

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Parlama Risk Bölgeleri Grafiği	2
Şekil 1.2. Gözde Görme Olayı ve Görme Açısı	3
Şekil 1.3. Massachusetts Eyalet Yolunda Sabahları Parlama Oluştuğuna Dair Yola Konulan İkaz Tabelası	4
Şekil 2.1. A) Fv Hücre Çalışma Prensibi, B) Fv Hücrenin Yapısı	15
Şekil 2.2. Bazı Materyallerin Yansıtıcılık Olayı	17
Şekil 2.3. Fv Panellerde Güneş Işığı Yansıması Olayı.....	17
Şekil 2.4. Yüzey Pürüzlük Ölçüm Verileri.....	18
Şekil 2.5. Panel Cam Tipine Göre Yansıma Oranları.....	18
Şekil 2.6. Yansıyan Güneş Işınları Dağılım Ölçümleri	19
Şekil 2.7. Azimut ve Panel Açısının Gösterimi	21
Şekil 2.8. Metodoloji Akış Şeması	22
Şekil 3.1. Forge Solar Açılış Ekranı	27
Şekil 3.2. Forge Solar Hesabına Giriş	27
Şekil 3.3. Saha Konfigürasyonlarına Giriş	28
Şekil 3.4. GES Tasarım Verileri Giriş Ekranı	28
Şekil 3.5. GES Koordinatları ve FV Panel Verileri Giriş Ekranı	29
Şekil 3.6. Yola Ait Güzergâh Verileri Giriş Ekranı.....	29
Şekil 3.7. Planlanan GES Kurulum Alanı	31
Şekil 3.8. Parlama Analizi Yapılan T- Kavşak Rotaları A) Otoyol B) Taliyol 1 C) Tali Yol 2 D) Tali Yol 3 Ve Kavşak	32
Şekil 4.1. Uzman Tarafından Belirlenen Yeni Ges Tasarımında Yapılması Muhtemel Olan Yol Kenarına Paralel 3m Yüksekliğe Konulan Yansıma Kesici Işık Geçirmeyen (Opak) Bariyer.....	35
Şekil 4.2. Uzman Tarafından Belirlenen Yeni Ges Tasarımında Yapılması Muhtemel Olan ve Santral Kenarına Paralel 5m Yüksekliğe Konulan Yansıma Kesici Işık Geçirmeyen (Opak) Bariyer.....	35

KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

FV	: Fotovoltaik
SPP	: Güneş Enerjisi Santralleri
GES	: Güneş enerji santrali
FHİ	: Amerikan Federal Havacılık İdaresi
ÇED	: Çevresel Etki Değerlendirmesi
DC	: Doğru Akım
AC	: Alternatif Akım
KWp	: Kilowatt Pik
M	: Metre
DNI	: Doğrudan Normal Işınım
ARC	: Yansıma Engelleyici Kaplama
W/CM²	: Işınım Birimi
MWp	: Mega Watt Pik
CO₂	: Karbondioksit
SGHAT	: Parlama Analizi Programı (Solar Glare Hazard Analysis Tool)
CAA	: Birleşik Krallık Havacılık Dairesi
Cd/m²	: Parlaklık Birimi
°	: Derece
Lsm	: Yerel saat için standart meridyen
Llon	: Söz konusu bölgenin boylamıdır.
Eot	: Dakika cinsinden zaman denklemidir
<i>f</i>	: Parlama yüzeyinin retinada oluşturduğu görüntünün çapı
<i>w</i>	: Nesne bakış açısı
<i>β</i>	: Güneşten yayılan enerjinin huzme açıklık açısı
<i>C</i>	: Enerjinin panel üzerinde odaklanma oranı

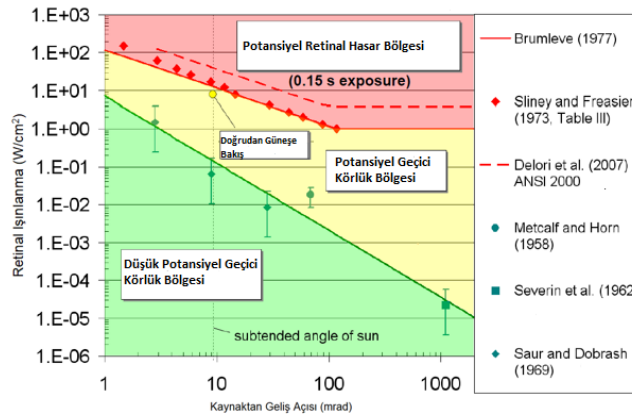
1. GİRİŞ

Son yıllarda, fosil yakıtların çevreye olan olumsuz etkileri ve enerji üretimiyle ilgili artmış olan farkındalık, devletleri yenilenebilir “temiz” enerji kaynaklarına doğru yönlendirmiştir (Skelly ve Baghzouz, 2021:7). Güneş enerjisinin hem geniş bir coğrafyada yaygın olarak bulunabilir olması hem de ücretsiz bir enerji kaynağı olması, onu yenilenebilir enerji kaynakları arasında en çok tercih edilen türlerden biri haline getirmiştir. Ek olarak, üretilen elektrik enerjisinin birim maliyetinin diğer enerji kaynaklarına kıyasla daha ekonomik olması, GES’lerin geniş bir kullanım bulmasını sağlamıştır (Celik vd., 2023:3; ITRP, 2022:15) GES’lerin hızla yayılması, bir dizi sorunu da beraberinde getirmiştir. Bu sorunlardan birkaçı şunlardır: geniş alan gereksinimi, üretimin sürekli olmaması (24 saat esaslı olamamakta) ve bu durumun çevresel ekosistem üzerinde potansiyel olumsuz etkileridir. GES'lerin çevresel etkileri arasında öne çıkan, görsel etkiler kategorisine "parlama ve parıltı" girmektedir. Parlama, genellikle güneş ışığının bir yüzeye çarpması sonucu uzun süreli yansımaları içerirken, parıltı, ışığın ani parlaklık değişimleriyle tanımlanan bir olaydır. Temel farklarından biri de yansıyan ışığın yansıma süresidir (Ho vd.,2011:6).

Ülkemizde, Resmî gazetede 30 Haziran 2017 tarihinde yayımlanan ve "Güneş Enerjisine Dayalı Elektrik Üretimi Başvurularının Teknik Değerlendirmesi Hakkında Yönetmelik" adlı düzenleme ile, Karayolları Genel Müdürlüğü ve Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü'nün, mevcut ve planlanan GES’lerin oluşturabilecek olumsuz etkilerini minimuma indirmek için parlama ve parıltı analizi raporu isteme yetkisi verilmişti. Bu analizler tamamlandıktan sonra Genel Müdürlük, ilgili kurum ve kuruluşlara sonuçları iletmekte olup, raporda yer verilen muhtemel riskler için alınması gereken tedbirler belirtilmekteydi (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2017:2); fakat, 17 Ocak 2023 tarihinde bu madde, 31492 sayılı resmî gazetede yayımlanan bir düzenleme ile geçerliliğini yitirmiştir. Günümüzde ulusal düzeyde parlama ve parıltıya özel herhangi bir kurallar bütünü veya yönetmelik olmamasına rağmen, Karayolları Genel Müdürlüğü ve Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü, konunun önemini dikkate alarak, karayollarının ve/veya uçuş rotalarının özelinde kurulacak GES’lerin Çevresel Etki Değerlendirme (ÇED) süreçlerinde bu risk raporlarını talep etmektedir (Celik vd., 2023 :3; Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2023:2)

Fotovoltaik (FV) yüzeylerden yansıyan parlama ve parıltı, güneşin ve FV yüzeyin konumuna bağlı olarak zaman içinde değişmektedir yani, FV yüzeyden yansıyan güneş ışığı, gün içinde ve yıl boyunca santral çevresinde farklı noktalara düşer, bu da parlama ve parıltının

zaman içindeki değişkenliğini etkiler. Bundan dolayı, bu bölgelere denk gelen canlılara ait yaşam yerleri veya araç sürücülerinin güzergahları varsa, bu alanlardaki canlı yaşamının veya sürüş konforunun parlama ve parıltı etkilerine maruz kalıp kalmadığının analiz edilmesi gereklidir. Parlama ve parıltının yoğunluğu ile süresinin belirlenmesi ve gerekli önlemlerin alınması, insan yaşamını tehlikeye atabilecek kazaların önlenmesi açısından kritik önem taşır. Bu yoğunluk ve süre değerlendirmesi, Federal Havacılık İdaresi'nin (FHİ) 78FR63276 numaralı standardına göre yapılarak olası riskler belirlenir (Ho, 2011b:10, Sreenath vd., 2021d:650). Şekil 1.1'de görüldüğü üzere FHİ standartlarında parlama riskleri 3 bölüme ayrılmıştır. Bu bölümler, retinal hasar bırakıcı (retina yanması) risk (kırmızı parlama), geçici körlük riski (Sarı parlama) ve düşük geçici körlük riski (Yeşil parlama) oluşturabilecek parlama ve parıltılardır. Bu parlama yönetmeliği (FHİ 78FR63276), gözlemcilerin yaşamsal faaliyetlerini tehlikeye sokmayacak bölgenin düşük geçici körlük risk bölgesi olduğunu vurgulamaktadır (Brumleve vd., 1977:5; Celik vd., 2023:10; Delori vd., 2007:3; Ho, 2011b:5; Metcalf vd., 1958:2; Severin vd., 1962:4; Sliney ve Freasier, 1973:6; Sreenath vd., 2021c:440)



Şekil 1.1 Parlama Risk Bölgeleri Grafiği (Ho, 2011b)

Bu çalışmada, "T" kavşağı civarında konumlanacak olan GES'in, kavşağı kullanan sürücüler üzerinde meydana gelebilecek parlama ve parıltı etkilerinin potansiyel risklerini değerlendirmek amacıyla bir analiz gerçekleştirilmiş ve bu olası risklere karşı alınabilecek önlemler üzerinde durulmuştur. Analizler, geniş bir kullanım alanına sahip olan Forge solar yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Geçici körlük riski veya retina yanması (retinal hasar) riski taşıyan parlama/parıltı durumları için çeşitli çözüm tedbirleri üzerinde çalışılmıştır. Bunlar:

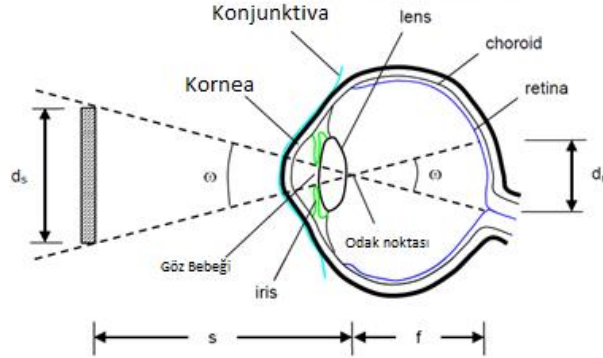
- Yolun belirli bir bölümünde yola paralel opak bariyer kullanımı,
- Santralin yola bakan belirli bir kısmında santrale paralel opak bariyer kullanımı,
- Modül cam özelliği olarak derin dokulu (deeply textured) cam kullanımı,

- Azimut açısı ve güneş paneli eğim (tilt) açısının değiştirilerek optimizasyonu

1.1 Parlama Analizi İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Parlama analizine literatürde konu olmuş birden fazla çalışma bulunmaktadır; fakat önemli ve güncel olan birkaç çalışma burada ele alınmıştır. Bunlardan;

2011 yılında yapılan çalışmada, bir dizi kurumun yeni enerji teknolojilerinin potansiyel güvenlik etkilerini değerlendirdiğini ortaya koyulmuştur. Bu kurumlar arasında Amerikan Hava Kuvvetleri, Nevada Test ve Eğitim Birimi, FHI, Kaliforniya Enerji Komisyonu, Uluslararası Akademi Camiası, Ulaştırma Araştırma Kurulu gibi önemli kurumlar bulunmaktadır. Amerikan Hava Kuvvetleri'nin raporuna göre potansiyel etkiler şunlardır: yerden ve havadan radar paraziti, radyo frekansı parazitleri, pilotlar ve sensörler üzerindeki parlama etkisi, kızılötesi emisyonlar, aşırı basınç vb. Parıltı ve parlama, istenmeyen görsel etkilere yol açabilir ve bu etkiler düşük geçici körlük riskinden retinal hasar riskine kadar çeşitlenir. Alınan verilerin analizi üzerinden retina yanığı ve geçici flaş körlüğü için güvenlik önlemleri matematiksel modeller kullanılarak geliştirilmiştir. Matematiksel modellemelerin kullanımı için görme olayından bahsedilmiş olup Şekil 1.2'de gözün görme kısımları ve görme olayı özetlenmiştir.



Şekil 1.2. Gözde görme olayı ve görme açısı

Kaynak: (Ho, 2011b:14)

Bu çalışma ayrıca önceki çalışmalarda belirlenen çeşitli sınır aralıklarını (düşük geçici körlük, geçici körlük ve retinal hasar bıraktıracı körlük) derlemiştir (Ho, 2011b:9).

2011 yılında yapılan bir başka çalışmada, FAA'ın parlama tehlikesi konusundaki endişeleri ortaya konmuştur. Bu çalışma, Nevada Test ve Eğitim Alanı yakınında bulunan heliostatlı GES ve solar oluk santrallerinin pilotlar üzerinde parlama tehlikesi oluşturabileceğini vurgulamaktadır. Ayrıca, parlama sorunlarını çözmeden, idarenin havaalanları yakınında güneş enerji santrali kurulumuna izin vermediği belirtilmiştir. Bu bağlamda, uzman bir ekip tarafından 10 Kasım 2010 tarihinde helikopterle gerçekleştirilen bir incelemede, santralin güneyinde

olacak şekilde tam öğle saatinde, yerden 580 metre mesafeden santralin bir dizi dijital fotoğrafı çekilmiş ve bu fotoğraflar detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Elde edilen bulgulara göre, santralde meydana gelen parlama miktarını azaltmak için ışıkların yansımalarını engelleyici boya ve kaplama kullanılması veya oluklardan yansıyan ışınları dağıtmak için bilezik kullanımı gibi çözümlerin etkili olabileceği belirtilmiştir (Ho, 2011a:2)

2012'de Manchester Boston Havaalanı'nda, sabahları kontrol kulesinde meydana gelen ve saatlerce süren göz kamaştırıcı parlama olaylarını önlemek adına 530 KWp'lik güneş enerjisi santrali geçici olarak kapatılmıştır. Bu durum, önemli maddi kayıplara neden olmuştur. FAA, benzer bir sorunun tekrar yaşanmaması için belirli tedbirler almıştır (Ho C, 2013:29; Sreenath vd., 2020;10 Sreenath vd., 2021c:440).

2013 yılında yapılan bir incelemede, güneş enerji santrallerinin doğru bir şekilde tasarlanıp konumlandırılmasının, olası parlama etkilerini azaltmanın en etkili strateji olduğuna dikkat çekilmiştir. Bu parlama etkilerinin, sürücüler ve pilotlar için potansiyel bir tehlike oluşturduğu vurgulanmıştır. Ulusal Karayolları Trafik Güvenliği İdaresi'nin verilerine göre, her yıl yaklaşık 200 ölüme ve binlerce motorlu taşıt kazasına neden olmaktadır. FAA verilerine göre ise doğrudan güneş ışığı parlamalardan kaynaklanan kazaların, 11 yıllık bir çalışma sürecinde ortalama bir düzine civarında tespit kaynaklı edildiği belirtilmiştir. Bu tür kazaların çoğunun güneşin ufka yakın olduğu sabah ve akşam saatlerinde meydana geldiği ifade edilmiştir. Bu nedenle, kurumlar güneş ışığı kaynaklı parlamaları önlemek ve yeni yasal düzenlemeler yapmak amacıyla çeşitli çabalar sarf etmektedir. Massachusetts Eyalet Yolu'nun doğu yönünde, sabahları güneş parlamasına karşı sürücülerini uyaracak önlemler alındığı Şekil 1.3'de görülmektedir (Ho C, 2013:30) .



Şekil 1.3. Massachusetts Eyalet yolunda sabahları parlama oluştuğuna dair yola konulan ikaz tabelası

Bu çalışmada, parlama üzerinde etkili olan faktörlere de değinilmiştir. Bu faktörler arasında DNI, yansıma, mesafe, yansıma yapan yüzeyin boyutu ve yönü (Azimuth) ve insani faktörler bulunmaktadır. DNI, güneş ışınlarının dik bir yüzeye çarpan miktarını ifade eder.

Tipik bir güneşli gün, öğle saatlerinde metrekare başına ~1.000 watt'lık bir DNI üretebilir; sabah ve akşam saatlerinde ise bu değerler daha düşük olabilir. DNI, güneş parlaması kaynağının başlangıç gücünü temsil eder ve bu güç, daha sonra yansıma veya dağılma ile azaltılabilir (Ho C, 2013:29).

Yansıyan ışık, ayna benzeri ve dağınık yansımaların bir kombinasyonu olarak tanımlanabilir. Aynaların yansıması genellikle %90'dan fazla olabilirken, FV camının yansıma oranı normale yakın geliş açılarında %1 ila %2 kadar düşük olabilir. Ancak geniş geliş açılarında, özellikle %60'tan büyükse, FV camının yansıma oranının %20 veya daha fazla olabileceği gözlemlenmiştir. Bu durum, dokulu ve parlama önleyici kaplamalara sahip camlarda bile ortaya çıkabilir. Parlamada, insan faktörleri de önemlidir. Gözbebeği boyutu, göz odak uzaklığı ve ışık hassasiyeti gibi faktörler; retinal ışınımını, bakış açısını ve parlamanın algılama şiddetini etkileyebilir. Dokulu cam ve yansıma önleyici kaplamaların kullanımı, FV modüllerinin normale yakın aynasal yansımasını azaltabilir. Ancak yoğunlaştırıcı güneş enerji toplayıcıları için bu seçeneğin her zaman uygun olmadığı belirtilmiştir. Parlamayı engellemek için perde ve panjur kullanımı da mümkündür, ancak bu önlem her zaman pratik olmayabilir ve bazen sakıncalı olabilir. GES kurulumunda, sistem büyüklüğü, mesafesi, yönelimi, çevre koşulları ve önemli gözlem noktaları göz önüne alınarak doğru konumlandırma, parlamanın olumsuz etkilerini en aza indirmenin en etkili yoludur (Ho C, 2013:30).

Malezya'da bulunan Kuantan Havalimanının geniş arazisi için 2020 bir FV santral kurma planı yapılmış olup bu GES'in uçuş rotaları boyunca pilotların uçuş konforunu olumsuz yönde etkilemeyecek bir biçimde dizayn edilebilmesi için parlama ve parıltı analizleri gerçekleştirilmiştir. Forge Solar yazılımı aracılığıyla yapılan analizler sonucunda, önerilen 8 GES tasarımı bölgesinden biri, oluşturduğu parlama tehdidi sebebiyle tasarım listesinden çıkarılmıştır. Geri kalan bölgeler ile ilgili de tasarım değişiklikleri yapılmıştır (Sreenath vd., 2020:9).

2020'de Malezya'nın Kuantan Havaalanı tesislerinde önerilen bir güneş enerjisi santralinin teknik performansı ve potansiyel parlama etkileri üzerine detaylı bir inceleme gerçekleştirilmiştir. Bu analizde, SolarGis Programı ve Forge Solar programı kullanılarak havaalanındaki FV tesisinin enerji üretimi ve olası parlama riski değerlendirilmiştir. SolarGis, 19 sabit uydu ve atmosferik modellerden elde edilen verileri kullanarak güneş enerjisi potansiyelini belirlerken, Forge Solar programı parlama analizi için matematiksel hesaplamalar gerçekleştirmiştir. Havaalanlarının geniş arazileri, güneş enerjisi santrallerinin yoğun bir şekilde kurulabileceği uygun alanlar olarak belirtilmiştir. Ayrıca, enerji üretiminden kaynaklanan karbon ayak izi de vurgulanmış ve bu nedenle güneş enerjisi santrallerinin çevresel

etkilerinin önemli olduğu ifade edilmiştir. Elde edilen performans ve parlama analizi sonuçları, tesisin tasarımında dikkate alınması gereken önemli faktörleri ortaya koymaktadır (Sreenath vd., 2020:9).

2021 yılında, Kore'nin en yüksek gökdeleni olan (554m) binanın dört tarafının camlarla kaplı olmasının, binadan yansıyan parlama etkisinin trafikteki yayalar ve sürücüler üzerindeki potansiyel etkilerini araştırmak amacıyla yapılan analizler, cam yüzey yansımalarının %3'ün altında tutulmasının, parlamadan kaynaklanan potansiyel tehlikenin minimuma indirilmesi için kritik olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, cam ile giydirilmiş cephesi bulunan binaların çevresindeki trafik kazaları riskini azaltmak amacıyla camlarda oluşan yansımanın kontrol altında tutulması ve ek trafik güvenliği sistemlerinin entegre edilmesi önerilmiştir. Bu öneriler, yüksek binaların çevresindeki trafik güvenliğini artırmak için alınabilecek önlemleri vurgulamaktadır (Song ve Seo, 2021:3).

2021 yılında yapılan bir derleme çalışmasında, havaalanlarındaki FV santrallerinden kaynaklanan parlama oluşumunu etkileyen çeşitli faktörler detaylı bir şekilde incelenmiştir. Özellikle havaalanları üzerine odaklanan bu çalışmada, dünya genelindeki yasal düzenlemeler ve mevcut parlama analizi algoritmaları ile yazılımlarına ilişkin bilgiler sunulmuştur. Bu inceleme, havaalanlarındaki FV santrallerin kurulumu ve işletilmesi sırasında ortaya çıkabilecek parlama etkilerini anlamak ve bu etkileri en aza indirmek için kullanılabilir yöntemleri belirlemek amacıyla yapılmıştır (Sreenath vd., 2021c:441).

2021 yılında gerçekleştirilen bir çalışmada, FV malzemenin, dokusunun, yöneliminin ve izleme sistemlerinin parlama üzerindeki etkisi detaylı bir şekilde araştırılmıştır. Bu makalede temel amaç, bir havaalanının güneş enerjisi potansiyelini tahmin etmek ve altı farklı FV dizisi senaryosu için parlama etkisini incelemektir. Bu konfigürasyonlar arasında düz cam, yansıma önleyici (Anti Reflection Coating: ARC) kaplamalı düz cam, ARC'li hafif dokulu cam, çeşitli eğim ve yönlendirme açıları, tek eksenli izleme ve çift eksenli izleme bulunmaktadır. Yapılan çalışma, havacılık sektörü paydaşlarına güneş enerjisi potansiyelini değerlendirme ve uygun parlama azaltıcı önlemlere karar verme konusunda yardımcı olabilecek değerli bilgiler sunmaktadır. Panel açısı ve azimut açılarının değiştirilmesi, FV modüllerinde cam dokulandırma ve ARC kaplama gibi iyileştirici önlemlerle karşılaştırıldığında, parlamayı azaltma konusunda daha geniş olanaklar sağladığı tespit edilmiştir (Sreenath vd., 2021b:10)

2021 yılında Hindistan'da bir havaalanında kurulacak olan FV santralinin parlama potansiyelini değerlendirmek amacıyla dört farklı senaryo üzerinde parlama analizi gerçekleştirilmiştir. Bu senaryolar şunlardır: düz camlı (pürüzsüz) ve ARC'siz FV panel, düz

camlı (pürüzsüz) ve ARC'li FV panel, hafif dokulu (pürüzlü) ve ARC'li FV panel, çeşitli panel eğimi açıları ve azimut açıları içeren dördüncü senaryo.

Çalışma sonuçlarına göre, ilk senaryo FHİ yönetmeliklerine göre geçici körlük riski oluşturacak şekilde parlama riski içermekteydi. İkinci senaryoda ise geçici körlük riski %86 oranında azalmış olup, ancak hala belirli bir parlama riski bulunmaktadır. Üçüncü senaryoda ise geçici körlük riski oluşturacak parlama riski ortadan kalkmıştır. Dördüncü senaryoda ise çeşitli sonuçlar elde edilmiştir.

Genel olarak, ARC'nin (Anti-Reflective Coating) varlığının yansımaya oranını azalttığı ve güneş ışınlarının daha iyi emilimine olanak tanıdığı değerlendirilmiştir. Bu bilgiler, güneş enerjisi santrallerinin kurulumunda parlama riskini azaltmak için ARC ve benzeri önlemlerin etkili olabileceğini göstermektedir (Sreenath vd., 2021a:3)

2021 yılında yürütülen bir araştırmada, havaalanı çevresinde konumlandırılacak FV panellerden kaynaklanan parlama olgusunu etkileyen çeşitli faktörler incelenmiştir. Bu çalışmanın temel hedefi, güneş enerjisi sistemlerinin neden olduğu parlama etkisini değerlendirmek ve bu konuda rehberlik edecek yaklaşımları ve ölçümleri gözden geçirmektir. Bu çalışma aynı zamanda, gelecekteki tesislerin planlanması için yetkililere yön gösterici bilgiler sunmayı amaçlamaktadır.

Çalışma kapsamında, özellikle FV panellerinin camının ışığı yansıtma oranları detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Genel olarak, FV panellerinin cam yüzeyinin %2 ila %4 arasında bir yansımaya oranına sahip olduğu belirlenmiştir. Bu oranın, su yüzeyine göre daha düşük olduğu ve FV panelinin çoğunun yansımaya konusunda suya kıyasla daha az etkili olduğu tespit edilmiştir (Sreenath vd., 2021c:441).

Araştırma ayrıca, farklı malzemelerin ışığı yansıtma yeteneklerine odaklanmıştır. Taze kar gibi yansıtıcılığı yüksek malzemelerin, siyah asfalt gibi daha az yansıtıcı malzemelere kıyasla farklı davrandığı belirtilmiştir. FV panellerin yansıtma oranının genellikle su yüzeyinden daha düşük olduğu vurgulanmıştır.

Çalışmanın önemli bir bulgusu, FV panellerden kaynaklanan güneş ışığının özellikle gün doğumu ve gün batımında belirli bir açıda arttığıdır. Bu durum, flaş körlüğüne ve görevlilerin görünürlüğünü azaltıcı etkilere yol açabilir.

Parlama eşik değerlerinin ülkeden ülkeye değişebileceği ve ABD'nin yönergelerinin diğer ülkelerdeki düzenlemeleri etkileyebilecek bir dil engeli oluşturabileceği konusu da çalışmanın vurguladığı noktalardan biridir (Sreenath vd., 2021c:442).

2021 yılında gerçekleştirilen bir araştırmada, tek eksenli ve çift eksenli güneş takip sistemlerine sahip FV sistemlerinin parlama ve santral uygunluk analizi yapılmıştır. Bu

analizde Forge Solar adlı program kullanılmış ve elde edilen sonuçlar çerçevesinde, iki farklı güneş takip sistemine sahip FV sistemlerinin performansı değerlendirilmiştir.

Araştırma sonuçlarına göre, tek eksenli güneş takip sistemine sahip FV sistemlerinin sabit eksenli sistemlere göre %40 daha fazla elektrik üretme kapasitesine sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, tek eksenli sistemlerin daha az parlama potansiyeli oluşturduğu tespit edilmiştir. Öte yandan, çift eksenli güneş takip sistemlerinin, tek eksenli sistemlere kıyasla daha fazla güneş ışığına maruz kaldığı ve bu nedenle daha yüksek elektrik üretme kapasitesine sahip olduğu ifade edilmiştir. Ancak, çift eksenli sistemlerin yatırım maliyetinin daha yüksek olması nedeniyle, geniş çapta kullanımlarının sınırlı olduğuna vurgu yapılmıştır.

Sonuç olarak, tek eksenli güneş takip sistemlerinin genellikle daha ekonomik ve pratik olduğu, çift eksenli sistemlerin ise daha yüksek performansa sahip olmakla birlikte maliyet açısından daha zorlayıcı olduğu belirtilmiştir. FV sistem seçiminde, bu faktörlerin dikkate alınması önemli olacaktır (Sreenath vd., 2021d:9062)

2021 yılında gerçekleştirilen bir çalışmada, Birleşik Krallık'taki Doncaster Sheffield Havaalanı'nda kurulması planlanan 12 MWp'lik bir GES için fizibilite çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada kullanılan analiz programları arasında SISIFO ve Global Solar Atlas Yazılımı bulunmaktadır. Çalışmanın ana odak noktaları arasında CO₂ emisyonu, parlama analizi ve enerji üretimi yer almaktadır.

Yine bu çalışmada, enerji üretiminde yenilenebilir kaynakların kullanılmasının CO₂ emisyonlarını azaltma potansiyeli açısından önemli olduğu vurgulanmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmenin doğaya salınan karbon emisyonlarını azaltma amacıyla önemli bir adım olduğu ifade edilmiştir.

Parlama analizi konusunda ise, matematiksel hesaplamaların optik prensiplerini temel aldığı belirtilmiştir. Güneş enerjisi panellerinden kaynaklanan parlama etkilerinin bu analizlerle değerlendirilmeye çalışıldığı ifade edilmiştir. Bu çalışma, bir havaalanında güneş enerjisi santrali kurulumunun çeşitli açılardan incelendiği kapsamlı bir fizibilite çalışması olmuştur (Sherenath vd., 2021:15)

2023 yılında yapılan bir çalışmada Tübitak tarafından geliştirilen ve Forge Solar programına alternatif olması için GPA yazılımı tanıtılmakta ve ilgili parlama analizleri yapılmaktadır. Sonuç kısmında, geliştirilen bu program vasıtasıyla yapılan parlama analizi sonuçları Forge Solar programının analiz sonuçları ile karşılaştırılmış olup tablo şeklinde verilmiş olup elde edilen sonuçların Forge Solar ile benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir (Kartal vd., 2023:1)

1.2 Yasal Düzenlemeler

Yapılan çalışmalar parlamanın tehlikesini ortaya çıkarmaktadır. Bundan dolayı bazı devletler, parlama analizi konusunda yasal yönetmelikler oluşturmaya yönelmiş veya mevcutta başka ülkelerde bulunan yönetmelikleri kendi ülkelerine uyarlayarak güneş santrali kurmadan önce parlama analizi raporunu almayı zorunlu kılmıştır. Aşağıda birkaç ülkenin parlama analizi ile ilgili olarak oluşturdukları yönetmelik, kurallar ve düzenlemeler açıklanmıştır.

1.2.1 Amerika Birleşik Devletleri (ABD)

2012 yılında, Amerikan FHİ, güneş enerjisi sistemlerinden kaynaklanan parlamanın değerlendirilmesi ve parlama ile parlamanın oluşturabileceği sorunların belirlenmesi amacıyla bir araştırma grubu oluşturmuştur. Yapılan çalışmalar neticesinde, FHİ, düz ve cilalı yüzeylerden yansıyan güneş ışığının, pürüzlü yüzeylerden yansıyan ışıktan daha yoğun olduğunu tespit etmiştir. Bu nedenle, havaalanları yakınında güneş enerjisi kurulumları için parlama analizi yapılmasını önermiştir (Ho, 2011b:5).

2010 yılında, "Havaalanlarında Seçilmiş Güneş Teknolojilerinin Değerlendirilmesine İlişkin Teknik Rehber" adlı bir belge yayınlanmış ve 2013 yılında "Geçici Politika, Federal Olarak Zorunlu Havaalanları Güneş Sistemi Projelerinin FHİ İncelemesi" adlı bir güncelleme yapılmıştır. Bu belgelerde FHİ, havaalanlarındaki güneş enerjisi projeleri için parlama potansiyelinin değerlendirilmesi ve düşük geçici körlük riski seviyesinde parlama oluşabilecek şekilde tasarımlar yapılması gerektiğini belirtmiştir. Havaalanı Trafik Kontrol Kulesi'nde uçağın son yaklaşma yolu boyunca parlama potansiyeli bulunmaması gerektiği vurgulanmıştır (Ho vd., 2011:5).

FHİ, pilotun görüş hattından 50° den büyük açılarda parlamanın güvenlik tehlikesi oluşturmaması durumunda projeleri hariç tutabileceğini belirtmiştir. Önerilen güneş enerjisi projelerinin beş deniz mili yakınında olması durumunda, tüm havaalanları için parlama değerlendirmesi yapılması gerektiğini belirlemiştir.

FHİ, parlama analizi için SGHAT (Solar Glare Analysis Tool) kullanımını onaylamış ve bu nedenle Forge Solar yazılımının parlama analizi için uygun olduğunu belirtmiştir. Bu çerçevede, güneş enerjisi projelerinin FHİ standartlarına uygunluğunu değerlendirmek amacıyla Forge Solar yazılımının kullanılması kabul edilmiştir. (Ho, 2021:7; Ho, 2011b:3, Ho, 2011a: 2; Ho vd., 2011: 1 ;SGHAT, 2016; Sreenath vd., 2021d: 9063; Sreenath vd., 2021c:443; Sreenath, vd., 2020:3; Sreenath, vd., 2020:700; Yellowhair ve Ho, 2015:2)

1.2.2 Kanada

Transport Canada (TP1247E) tarafından yayınlanan bir yönergede, parlama değerlendirmesi için belirlenmiş kurallardan bahsedilmektedir. Bu yönergeler, özellikle güneş enerjisi projelerinin bulunduğu bölgelerdeki havaalanlarına odaklanmaktadır. İlgili yönergeler çerçevesinde şu önemli noktalara vurgu yapılmıştır:

Hareket Analizi: Parlama analizinde uçağın iniş, kalkış ve manevraları sırasındaki hareketinin dikkate alınması gerekmektedir. Bu, güneş enerjisi projelerinin havaalanlarına olan yakınlığı göz önüne alındığında, uçuş hareketlerinin etkileyici bir faktör olduğunu göstermektedir.

Uzaklık Faktörü: Yönergeler, havaalanlarından belirli bir mesafedeki güneş enerjisi projelerinin parlama etkilerini değerlendirmektedir. Bu mesafe genellikle 3 km olarak belirtilmiştir. Bu uzaklık, güneş enerjisi projelerinin hava trafiği güvenliği üzerindeki potansiyel etkilerini sınırlamayı amaçlamaktadır.

Gerektiğinde Gölgeleme ve Bariyerler: Eğer parlama analizi, önerilen bir güneş enerjisi projesinden kaynaklanan parlamanın potansiyel bir sorun teşkil ettiğini belirlerse, çözüm olarak gölgeleme cihazları veya bariyerlerin kurulumu önerilmektedir. Bu önlemler, parlama etkilerini azaltarak hava trafiği güvenliğini sağlamayı amaçlamaktadır.

Belirtilen yönergeler, güneş enerjisi projelerinin havaalanlarına yakınlığı nedeniyle oluşabilecek potansiyel güvenlik sorunlarına karşı tedbirlerin alınması amacıyla önemli bir rehberlik sunmaktadır. Bu kuralların ve önerilerin projelerin güvenlik ve uyumluluk açısından değerlendirilmesinde kullanılması önemlidir (Government of Canada, 2019; Sreenath vd., 2021c:444; Sreenath, vd., 2020:5).

1.2.3 Birleşik Krallık

Aralık 2010'da Sivil Havacılık Birimi (CAA), havaalanlarındaki ve çevresindeki GES sistemleriyle ilgili geçici bir kılavuz yayınlamıştır. CAA, bu kılavuzda havacılık alanında potansiyel etkileri değerlendirmek ve güvenlik sorunlarının ortaya çıkmamasını sağlamak amacıyla; kurulması talep edilen bir GES risk analizi raporu sunulmasını tavsiye etmektedir. Rehberin ana unsurları şunlardır:

Risk Analizi: CAA, güneş enerjisi sistemlerinin, özellikle havaalanlarındaki uçuş operasyonları üzerindeki olası risklerini değerlendirmek için bir risk analizi yapılmasını önermektedir. Bu analiz, güneş enerjisi projelerinin hava trafiği güvenliği üzerindeki potansiyel etkilerini belirleyerek alınacak önlemleri ortaya koymalıdır.

Güvenlik Güvence Raporu: Havacılık ve güneş enerjisi projeleri arasındaki etkileşimi en aza indirmek adına, projenin geliştiricilerinden bir güvenlik güvence raporu talep edilmektedir. Bu rapor, projenin uçuş güvenliği standartlarına uygunluğunu sağlamak için alınacak önlemleri içermelidir.

Geçici Kılavuz: CAA tarafından sunulan bu kılavuz, belirli bir dönem veya geçici bir süre için geçerli olan yönergeleri içermektedir. Bu da demektir ki, havaalanları ve güneş enerjisi projeleri arasındaki etkileşimi düzenlemek adına gelecekteki güncellemelere açık bir yaklaşım benimsenmiştir (Civil Aviation Authority of UK, 2010).

Birleşik Krallık'ta, bir havaalanına 5 km veya demiryoluna ve karayollarına 100 m mesafede kurulması talep edilen herhangi bir GES projesinin kurulmadan önce bir parlama değerlendirmesi yapılması gerekmektedir. Bu gereklilik, havacılık güvenliği ve uçuş operasyonları üzerinde potansiyel etkileri minimize etmek amacıyla uygulanmaktadır. Ayrıca, Air Navigation Order (ANO) 2009'un bazı maddeleri, güneş enerjisi projelerinin havacılık güvenliğiyle uyumlu olması için belirli standartlara tabi olması gerektiğini vurgulamaktadır. Özellikle, Madde 137, bir uçağın güvenliğini tehlikeye sokabilecek unsurları düzenlerken, Madde 221 ve Madde 222, tehlikeli veya dikkat dağıtan ışıkları ele almaktadır. Bu maddeler, güneş enerjisi projelerinin parlama oluşturabilecek ışıkları kontrol etmeleri ve havacılık güvenliği standartlarına uymaları gerektiğini belirtir ve güneş enerjisi projelerinin havaalanlarına ve uçuş güzergahlarına yakın bölgelerde parlama riskini nasıl azaltacaklarına dair rehberlik sunmaktadır. Bu kılavuzlar, parlama riskinin önemini vurgular ve yerel planlama otoriteleri ile güneş enerjisi geliştiricilerinin bu konuda dikkatli olmalarını önerir. (Civil Aviation Authority of UK, 2010; Sreenath vd., 2021c:448). Topluluklar ve Yerel Yönetim Dairesi, güvenlik endişeleri göz önüne alındığında, mümkün olan her yerde parlamanın azaltılmasını ve ışıkların kontrol altında tutulmasını önermektedir. Bu hem havacılık güvenliği hem de yerel çevreyi koruma açısından önemli bir adımdır. (Gov. UK, 2017; Sreenath vd., 2021c:448).

1.2.4 Almanya

Çevre Bakanlığı tarafından yayınlanan ışık yönergeleri, özellikle FV dizileri gibi yansıtıcı güneş ışığına sahip sistemleri içeren kriterleri belirlemektedir. Bu kriterler, alıcının FV sistemine göre göreceli konumuna bağlı olarak olası parlama riskini değerlendirmektedir. Yönergeler, özellikle FV sisteminden 100 metreden daha uzakta bulunan alıcıları kapsamaktadır.

Yönergelerin belirlediği bir kriter, alıcıların FV sisteminin kuzey tarafında yer aldığı ve FV sisteminin güney tarafında yer alması durumunda (duvara monteli olanlar hariç), parlama etkisinin daha az riskli olarak kabul edileceğidir. Bu durumda, değerlendirme genellikle istenmez. Ancak, FV sistemine ve doğu-batı ekseninde yer alan alıcılara odaklanan bu kılavuzlarda, parlamanın olduğu bir eşik değeri belirtilmemiştir.

Günde 30 dakikadan veya yılda toplamda 30 saatten daha uzun süren parlama durumlarında, dayanılmaz parlama sınırına ulaşılmış kabul edilmektedir. Ancak, bu kılavuzlarda, parlamanın dayanılmaz sınıra ulaştığı belirli bir ışınım değerine dair açık bir vurgu bulunmamaktadır.

Ayrıca, kılavuzlar belirli durumlarda parlama simülasyonlarını yürüten uzmanın görüşünün dikkate alınmasını tavsiye etmektedir. Bu, özellikle karmaşık veya özel durumların değerlendirilmesi gerektiğinde önemli bir faktördür (Sreenath, vd., 2021c:449; Zehndorfer Engineering For Germany, 2016.).

1.2.5 Avusturya

2016 yılında Zehndorfer Engineering Derneği (OVER11-3), güneş enerjisi sistemlerinden kaynaklanan güneş parlamasıyla ilgili yönergeleri sunarak, parlamanın etkilerini analiz etmeyi amaçlamıştır. Bu yönergeler, parlama süresini temel alarak belirli bir sınıra ulaşıldığında kabul edilemez seviyeye ulaşıldığını belirtir.

Günlük 30 dakikadan veya yılda toplamda 30 saatten fazla süren parlama, bu yönergelerde belirlenen kabul edilemez sınırı aşar. Bu sınırlar, güneş enerjisi sistemlerinin çevresinde oluşan parlama miktarını kontrol altında tutarak, olumsuz etkilerini sınırlamayı hedefler.

Ayrıca, kamaşma hesaplamalarında özel bir vurgu bulunmaktadır. Yalnızca güneşe doğru görüş hattı ile FV modülü arasındaki fark en az 10 derece olduğunda dikkate alınır. Bu, gözbebeği daralmasını ve kamaşmayı azaltarak, çevredeki alanın konfor seviyesini artırabilir (Sreenath vd., 2021c :449; Zehndorfer Engineering For Austria, 2016).

1.2.6 Fransa

Sivil Havacılık tarafından yayınlanan belge, görsel rahatsızlığın bir parlaklık sınırı ile tanımlandığını belirtmektedir. Pilotların görüş alanındaki parlaklık, belirli açılardan değerlendirilmektedir. Özellikle, pilotların ± 30 derecelik görüş alanında buldukları durumda, 20.000 cd/m^2 'nin üzerindeki parlaklıktan kaçınılması gerekmektedir. Aynı şekilde, ± 1 derecelik

görüş alanında 10.000 cd/m²'nin üzerindeki parlaklık da tehlikeli olarak kabul edilmektedir; bu bağlamda, güneş enerjisi paneli üreticilerinin genellikle panellerin belirtilen parlaklık sınırlarını aşmayacağını belgelemeleri gerekmektedir. Yani, FV panel üreticileri, panellerin 20.000 cd/m²'den daha yüksek parlaklıkta ışık yansıtmayacağını kanıtlamak üzere belirli test ve değerlendirmelere tabi tutulmalıdır. Bu önemli bir güvenlik gerekliliğidir ve havacılık sektöründeki parlama potansiyeli ile ilgili riskleri en aza indirme çabalarının bir parçasıdır (France Ministry of Transport, 2022; Sreenath vd., 2021c:449).

1.2.7 İsviçre

İsviçre Ticaret Birliği'nin güneş parlaması değerlendirmesi için oluşturulan kılavuz, güneş yansımalarının potansiyel sorun yaratabileceği durumları belirlemektedir. Bu kılavuza göre, güneş yansımalarıyla ilgili bir sorun yaşanabileceği durumlar şunlardır:

1. Güneşle yansıma arasındaki açı 20 derece ise,
2. Düşme açısı 20 dereceden büyük ise,
3. DNI 120 W/m²'den büyükse,
4. Yansımanın güç yoğunluğu 30 W/m²'den büyükse,
5. Yansımanın parlaklığı 50,000 cd/m²'den büyükse.

Ayrıca, güneş yansımalarının süresi günde 30 dakikadan azsa, güneş enerjisi kurulumu küçükse veya alıcı parlama kaynağından uzakta bulunuyorsa, bu durumlar genellikle risksiz olarak kabul edilmektedir. Bu kılavuz, güneş enerjisi projelerinin güvenliğini değerlendirmek ve olası riskleri minimize etmek için önemli bir araç olarak hizmet vermektedir (Sreenath vd., 2021c:450).

1.2.8 Avustralya

Avustralya'da FV sistemlerinin neden olduğu parlamaya yönelik özel bir düzenleme bulunmamasıyla birlikte, bazı yerel yönetimler belirli önlemler almıştır. Örneğin, Sidney'de cam cephelerde güneş ışığının yansıtılma oranı yüzde 20 ile sınırlanmıştır. Bu kural tüm cephe elemanları için geçerlidir.

Güneydoğu Asya ülkeleri arasında benzer bir yaklaşım benimsenmiştir. Singapur, Şangay ve Hong Kong gibi şehirlerde, tüm binaların cephe yansımaları yüzde 20'yi geçmemesi için düzenlemelere tabidir. Bu kurallar, güneşin yansımalarıyla oluşabilecek parlama etkilerini

kontrol altına almayı amaçlamaktadır. Yerel düzenlemeler, çevresel etkileri minimize etmek ve halk güvenliğini sağlamak amacıyla yapılmıştır (Sreenath vd., 2021c:450)

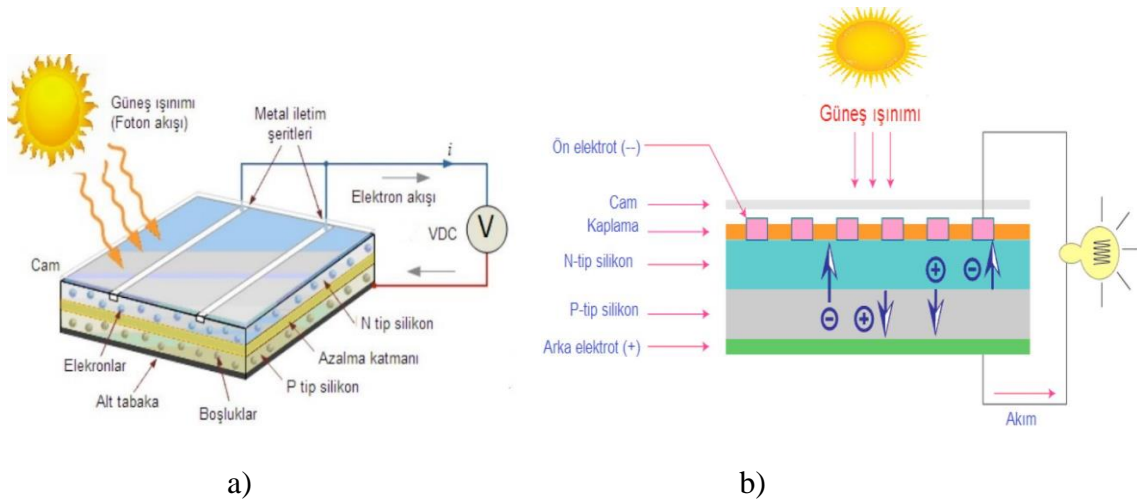
1.2.9 Türkiye

Resmî gazetede 30 Haziran 2017 tarihinde yayımlanan ve "Güneş Enerjisine Dayalı Elektrik Üretimi Başvurularının Teknik Değerlendirmesi Hakkında Yönetmelik" adını taşıyan düzenleme ile, Karayolları Genel Müdürlüğü ve Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü'nün, mevcut ve planlanan GES'lerin oluşturabilecek olumsuz etkilerini minimuma indirmek için parlama ve parıltı analizi raporu isteme yetkisi verilmişti. Bu analizler tamamlandıktan sonra Genel Müdürlük, ilgili kurum ve kuruluşlara sonuçları iletmekte olup, raporda yer verilen muhtemel riskler için alınması gereken tedbirler belirtilmekteydi (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2017); fakat, 17 Ocak 2023 tarihinde bu madde, 31492 sayılı resmî gazetede yayımlanan bir düzenleme ile geçerliliğini yitirmiştir. Günümüzde ulusal düzeyde parlama ve parıltıya özel herhangi bir kurallar bütünü veya yönetmelik olmamasına karşın, Karayolları Genel Müdürlüğü ve Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü, konunun önemini dikkate alarak, karayollarının ve/veya uçuş rotalarının özelinde kurulacak GES'lerin Çevresel Etki Değerlendirme (ÇED) süreçlerinde bu risk raporlarını talep etmektedir (Celik vd., 2023; Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2023)

2. MATERYAL VE METOT

2.1 FV Panel Çalışma Prensibi

FV paneller yapı itibariyle genellikle; n tipi silikon, p tipi silikon, cam, azaltma katmanı, alt tabaka ve metal iletim şeritlerinden oluşur. Silikon iyi bir yarı iletken olduğundan dolayı FV panel üretiminde sıklıkla kullanılır. Panelin çalışma prensibi güneş'ten gelen fotonlar ve ışık demetleri öncelikle hücreye çarpar ve en üst katmanda bulunan n tipi silikon negatif yüklenir. p tipi silikona çarpan fotonlar ise buradaki elektronları açığa çıkarır ve bu sayede bu kısım pozitif yüklenir. Bu negatif yüklü n tipi silikondan ve p tipi silikondan metal şeritler yardımıyla elektron ve protonlar taşınmış olur ve bu sayede elektrik enerjisi üretilmiş olur (Öztürk, 2022:5). Üretilen bu elektrik DC tiptir ve AC'ye dönüştürme işlemi için inverter kullanımı gerektirir. Ayrıca sistem ve ihtiyaç durumuna göre akü, Transformatör, iletim ve koruma elemanları ile birlikte kullanılabilir. Genel itibariyle güneş hücrelerinin çalışma prensibi FV ilkeye dayanır. Şekil 2.1 a ve 2.1 b'de güneş hücresi çalışma prensibi verilmiştir.



Şekil 2.1. a) FV Hücre çalışma prensibi, b) FV hücrenin yapısı

2.2 Materyal

Yansımaya olayı, güneşten veya herhangi bir ışık kaynağından gelen ışınların bir yüzeye çarptıktan sonra gelen açıya göre zemine yapılan doğrusal açı eşliğinde tekrardan uzaya doğru dağılmasıdır. Her bir yüzey için ışığın yansımaya oranı farklıdır. Bunun sebebi bazı materyallerin ışığı tutabilmesidir. 2021 yılında yapılan bir çalışmada taze kar, yüzeyine çarpan ışığın yaklaşık %80'ini yansıtırken, siyah asfalt %5'ten daha azını yansıtmıştır.

FV panellerin yansıtıcı özellikleri, çeşitli faktörlere bağlı olarak değişiklik gösterir. Bu faktörler aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır:

Malzeme Yapısı: FV panelleri genellikle silikon tabanlı malzemelerden üretilir. Silikon doğası gereği yansıtıcı bir özellik gösterir ve çıplak silikonun yüzey yansıması genellikle %30'un üzerindedir. Ticari olarak temin edilebilen FV panellerinin çoğu silikondan yapılmıştır.

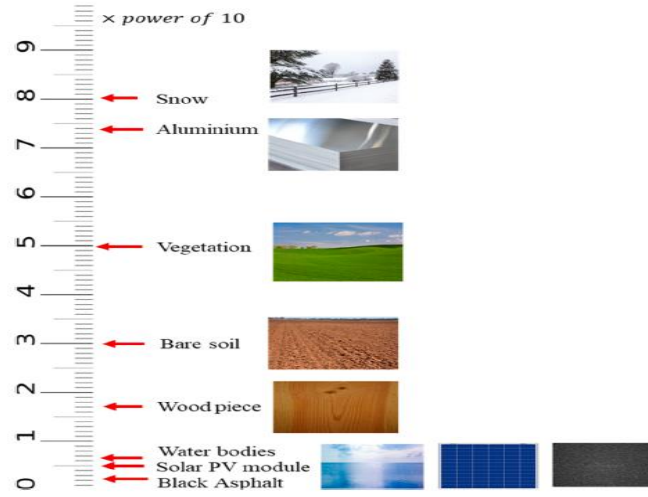
Alüminyum Çerçevesel: FV panellerinde kullanılan alüminyum çerçeveler genellikle ince yapıdadır, bu nedenle alüminyumdan gelen yansıma genellikle dikkate alınmaz.

Çevresel Faktörler: FV panellerinin çevresindeki yansıma miktarı, kullanılan cam malzemesine, tipine ve panelin yerleştirildiği yöne bağlı olarak değişir.

2.2.1 Çeşitli Malzemelerle Yansıtıcılığının Karşılaştırılması

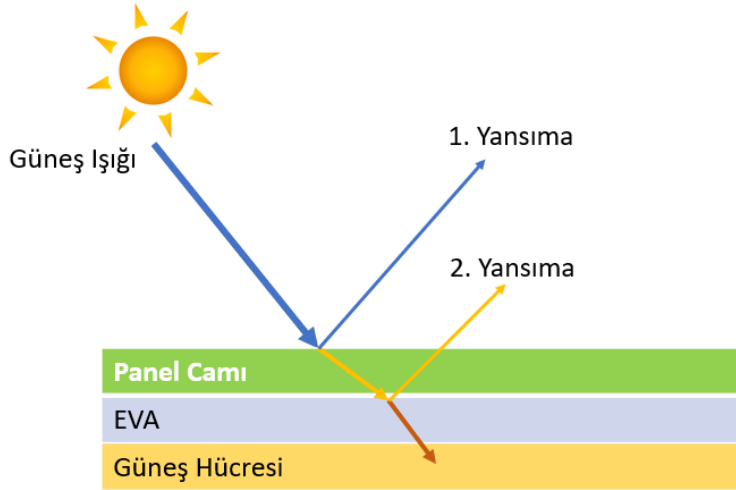
FV panellerinin yansıtıcılığı, karşılaştırma yapılan malzemelere göre değişiklik gösterir. Siyah asfalt, ahşap, çıplak toprak, çim, bitki örtüsü, çıplak alüminyum, beyaz beton, kar gibi malzemelerin yansıtma özellikleriyle karşılaştırıldığında, FV panelleri genellikle farklı bir yansıma profiline sahiptir. FV panellerin yansıtıcılığı siyah asfaltdan biraz daha yüksektir. Aynı zamanda ahşap, çıplak toprak, çim, bitki örtüsü, çıplak alüminyum, beyaz beton, kar gibi malzemelere göre çok daha düşüktür.

Bu özellikler, güneş enerjisi sistemlerinin tasarımında ve çevresel etkilerinin değerlendirilmesinde önemli bir rol oynar. Aşağıda verilmiş olan Şekil 2.2'de, bu çalışmada ele alınan bazı materyal tiplerinin yansıtıcılık oranları verilmiştir. Şekil 2.3'de de görüleceği üzere güneş ışığından gelen ışınlar FV panelinin yüzeyinde bulunan cama çarpar. Ardından bu çarpmanın etkisiyle güneş ışınlarının bir kısmı uzaya geri yansır, bir kısmı ise FV hücreye doğru ilerler, bu durum ilk yansımayı ifade eder. FV hücreye doğru ilerleyen bu ışınlar ara katmanda bulunan EVA kısmına çarpar. Bu çarpmanın etkisiyle ışınların bir kısmı ilk yansımada olduğu gibi uzaya yansır, bir kısmı ise güneş hücresine ilerleyip elektrik üretimine katılır, bu da ikinci yansımayı ifade eder.



Şekil 2.2. Bazı materyallerin yansıtıcılık olayı

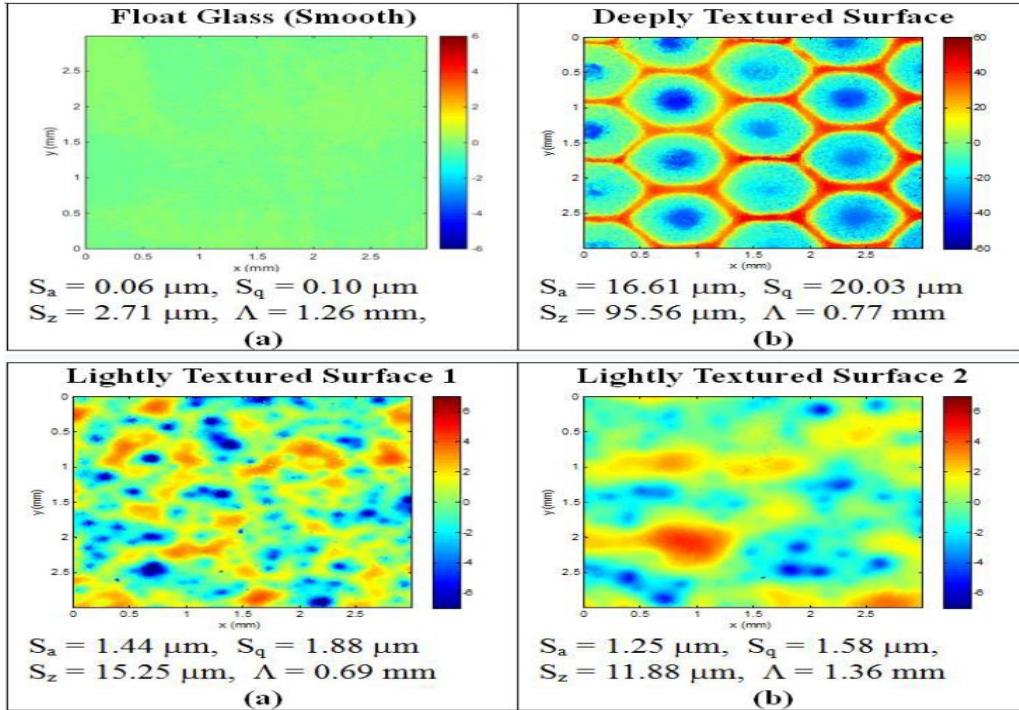
Kaynak:(Sreenath vd., 2021c:441)



Şekil 2.3. FV panellerde güneş ışığı yansıması olayı

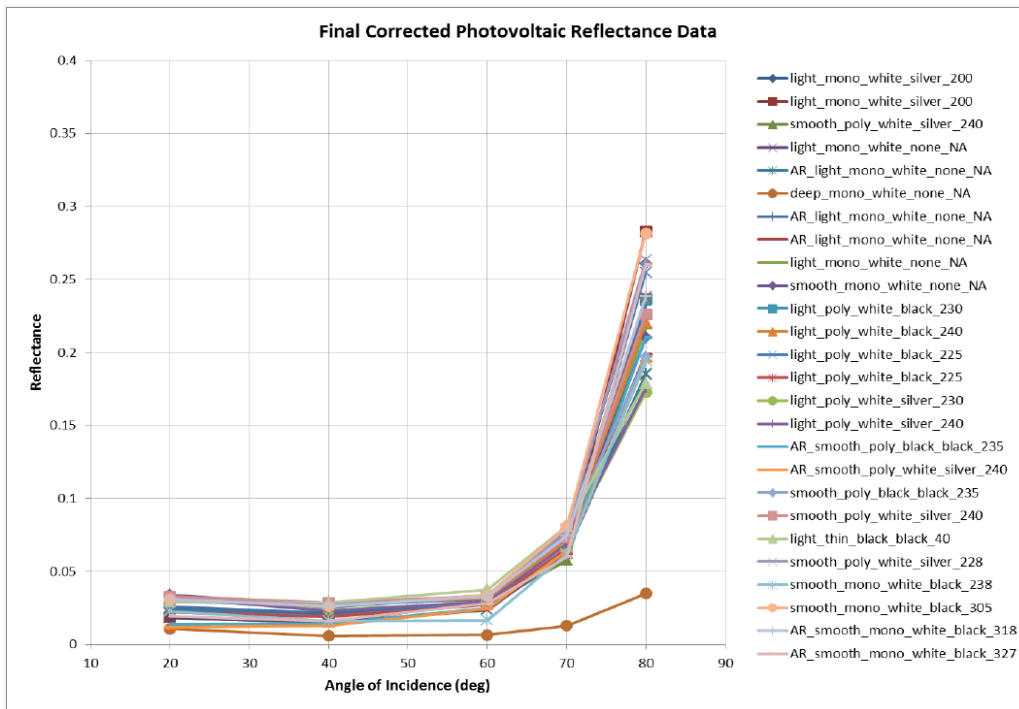
Parlama analizi için en önemli kısımlardan bir tanesi de yansıma oranını değiştirebilen cam tipleridir. Günümüzde Güneş panellerinde kullanılan cam tipleri; yansıma engelleyici yüzeyi bulunmayan düz cam (Smooth glass without AR Coating), yansıma engelleyici yüzeyli düz cam (smooth glass with AR coating), yansıma engelleyici yüzeyi bulunmayan hafif dokulu cam (light glass without AR coating), yansıma engelleyici yüzeyli hafif dokulu cam (light glass with AR coating) ve derin dokulu cam (deeply textured glass) olmak üzere beş adettir. Dünya üzerinde bu cam tiplerinin yansıma oranıyla ilgili herhangi bir standart bulunmadığından bu cam tiplerinin yansıma oranları üretici firmaların ürününden ürüne değişiklik arz edebilmektedir. Forge solar yazılımı, hesapları yapabilmek için 2015 yılında yapılan çalışmada kullanılan hesaplama sonuçlarını referans almaktadır (Yellowhair ve Ho, 2015:10). Şekil

2.4’de bu yazılımın ilişkin yüzey pürüzlülük ölçüm verilerini sunarken, şekil 2.5’de ise panel cam tipine göre yansım oranlarını gösteren grafik belirtilmiştir.



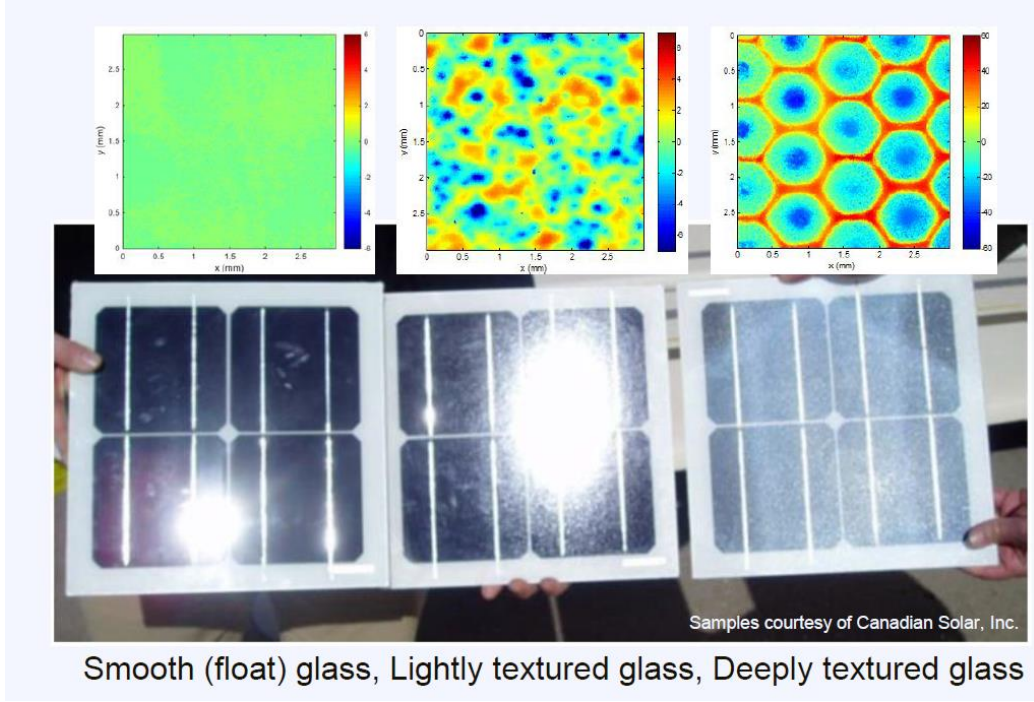
Şekil 2.4. Yüzey pürüzlük ölçüm verileri

Kaynak: (Yellowhair ve Ho, 2015:7)



Şekil 2.5. Panel cam tipine göre yansım oranları

Kaynak: (Yellowhair ve Ho, 2015:8)



Şekil 2.6. Yansayan güneş ışınları dağılım ölçümleri

Kaynak: (Yellowhair ve Ho, 2015:9)

2.3 Metot

Çalışmada hesaplama aracı olarak matematiksel modellemelerle birlikte Forge Solar yazılım programı kullanılmıştır. Fakat analiz için gerekli olan bazı teknik terimlerin açıklanmasında önemli fayda vardır.

2.3.1 Güneş Açısı

Güneş ışınlarının belirli bir konuma veya nesneye düşme açısını ifade eder. Bu açı, güneşin gökyüzündeki konumu ve belirli bir noktaya olan uzaklığına bağlı olarak değişir. Güneş açısı, bir yerin coğrafi konumuna, tarihe ve saatine bağlı olarak farklılık gösterir. Dünyadan görülen güneşin ortalama açısı yaklaşık 9.3 mrad veya 0.5°'dir (SGHAT, 2016).

2.3.2 Doğrudan Normal Işıma (DNI)

DNI, bir yüzey üzerine doğrudan güneş ışığı düşen ışıınım miktarını ölçer. Bu, güneş ışığının atmosferdeki herhangi bir engelden geçmeden, bir noktaya doğrudan çarptığı durumu ifade eder. Genelde Forge solar yazılımında bu değer 1000W/m² olarak kabul edilir(SGHAT, 2016).

2.3.3 Peak DNI

Maksimum DNI değişiyorsa DNI'yi ölçeklendirir, değişmiyorsa sabit bir değerdir (SGHAT, 2016).

2.3.4 Vary DNI

Vary DNI forge solar programında karşımıza çıkmaktadır. Bu noktada DNI değeri için soru sorulmaktadır. Program bu soruya istinaden parlama analizi yapmaktadır. Bu soru: DNI değeri, güneşin konumuna göre ölçeklenmeli midir? Sisteme 0 ve no girilirse yanlış, 1 ve yes girilirse doğru anlamına gelmektedir (SGHAT, 2016).

2.3.5 Zaman Aralığı

Analiz yapılırken hesaplamının tekrarlama süresini ifade eder ve genelde bu değer 1 dakika olarak kabul edilir(Ho vd., 2011; SGHAT, 2016; Sreenath, vd., 2020:7).

2.3.6 Göz Geçirgenlik Katsayısı

Retinaya ulaşmadan önce gözde emilen radyasyonu hesaba katan katsayıdır. Tipik değer 0.5 kabul edilir (Ho vd., 2011:3; SGHAT, 2016; Sliney ve Freasier, 1973:5).

2.3.7 Gözbebeği Çapı

Öngörülen parlamayı alan gözlemcinin göz bebeğinin çapını tanımlar. Tipik değerler, gündüz ayarlı gözler için 0.002 m ile gece görüşü için 0.008 m arasında değişir(Ho vd., 2011:3; SGHAT, 2016; Sliney ve Freasier, 1973:5).

2.3.8 Eğim Sapma Hatası

Eğim sapması veya eğim hatası anlamına gelmekte olup bu değer FV'nin yapıldığı malzemeye bağlıdır. Genelde 10 mrad olarak kabul edilir(Ho, vd., 2011:4; SGHAT, 2016; Sreenath, vd., 2020:8).

2.3.9 Göz Odak Uzaklığı

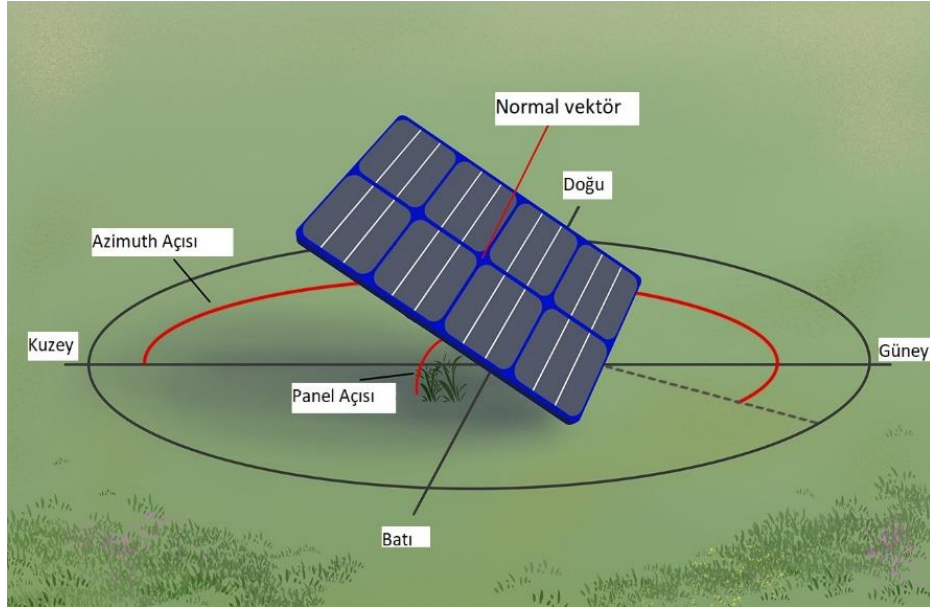
Bu, gözdeki ışınların kesiştiği noktaile retina arasındaki mesafeyi ifade eder. Bu değer, belirli bir parlama kaynağının altında kalan bir açđ için retina üzerindeki yansıtılan görüntü boyutunu belirlemek için kullanılır. Tipik bir göz odak uzaklığı 0.017 m'dir (Ho vd., 2011; SGHAT, 2016; Sliney ve Freasier, 1973:6).

2.3.10 Azimut Açısı

Gözlemciye göre konumlandırılmış olan sistemin yönünün tam güney ve tam kuzey noktasından açısal olarak uzaklık ifadesi anlamına gelmektedir. Kuzey Yarım Küre’de 0° veya 360° ’de gerçek kuzeyden saat yönünde ölçülmüştür. 180° ’lik azimut güneşin güneye geldiğini gösterir (SGHAT, 2016).

2.3.11 Panel Eğim Açısı

Panelin yerle yapmış olduğu açıdır. Bu açı genellikle 0° ile 90° arasındadır. Şekil 2.7’de hem azimut açısı hem de panel açısı gösterilmektedir.

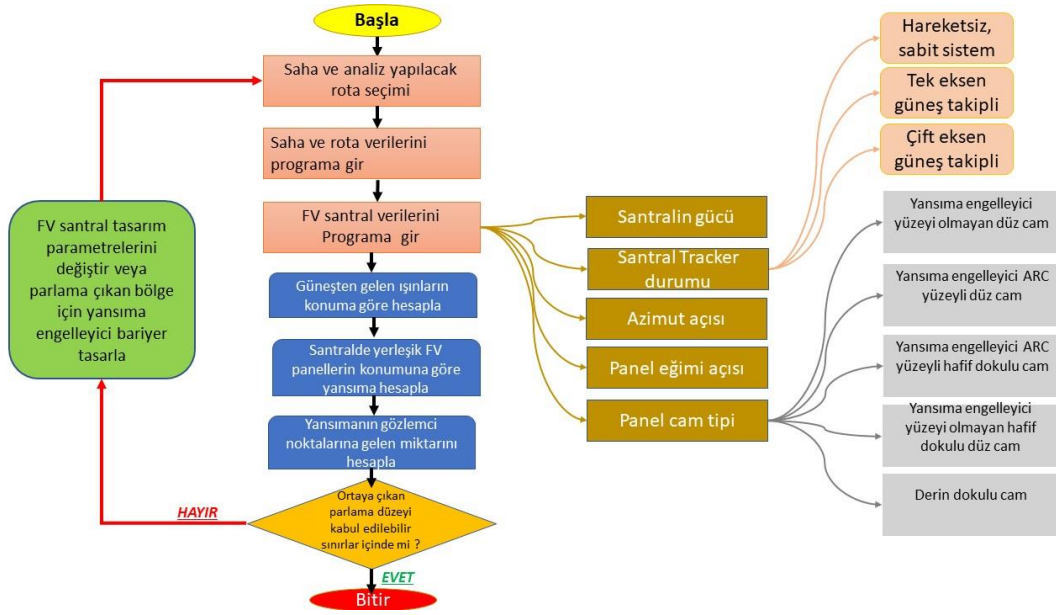


Şekil 2.7. Azimut ve panel açısının gösterimi

2.3.12 Görüş Açısı

Yol boyunca seyahat eden gözlemcilerin direkt olarak karşıya baktığında sağda ve solda gördüğü görüş açısını tanımlar. Forge Solar programı bu açıyı 50° olarak varsaymıştır. FAA’nın yapmış olduğu çalışmalarda 50° ’nin ötesinde görünen parlamamanın etkisinin hafifletildiğini belirlemiştir (SGHAT, 2016).

Şekil 2.8’de parlama analizinin hesaplanması için gerekli olan metodoloji sunulmaktadır. Bu metodoloji akış şeması bize izlenecek yolu göstermektedir.



Şekil 2.8. Metodoloji akış şeması

2.3.13 Matematiksel Modelleme İle Parlama Analizi Hesaplama

Adım 1: Denklem kullanılarak solar zaman hesaplanır, burada Tsolar; solar zaman anlamına gelmektedir.

$$Tsolar = 4(Lsm - Llon) + Eot + Tstd \quad (\text{Eşitlik 2.1})$$

Yukarıdaki denklemde görülen:

Lsm: Yerel saat için standart meridyendir.

Llon: Söz konusu bölgenin boylamıdır.

Eot: Dakika cinsinden zaman denklemidir

Tstd: Standart zama denklemidir.

$$Lsm = \text{Zaman bölgesi} \times 15 \quad (2.2)$$

$$Eot = 229.2 (0.000075 + 0.001868 \times \cos B - 0.0320077 \times \sin B - 0.014615 \times \cos 2B - 0.04089 \times \sin 2B) \quad (\text{Sreenath, vd., 2020:700}). \quad (2.3)$$

Adım2: Saat Açısı yani "Ah" solar zaman (Ts) ve güneşin öğle vakti (Tn= solar noon) ile hesaplanır.

$$Ah = (Ts - Tn) \times 15 \quad (\text{Sreenath, vd., 2020:700}). \quad (2.4)$$

Adım 3: Sapma değeri (δ)denklem kullanılarak bulunur.

$$\delta = 23.450 \times \sin\left(360 \times \left(\frac{284+n}{365}\right)\right) \quad (2.5)$$

n: yılın gün sayısını belirtir. 1 ile 365 arasında bir değer girilebilir (Sreenath, vd., 2020:700).

Adım 4: Zenit açısının (θ_z) değeri denklem kullanılarak bulunur.

$$\theta_z = \cos^{-1}(\cos l \times \cos \delta \times \cos Ah + \sin l \times \sin \delta) \quad (2.6)$$

1 : Söz konusu bölgenin enlemidir (Sreenath, vd., 2020:5).

Adım 5: Azimut açısı (Aaz) ve güneş ışınlarının yerle yaptığı açı yani eğim açısı (Aal) denklem kullanılarak bulunur.

$$Aaz = \sin An \times \left| \cos^{-1} \left(\frac{\cos \theta z \times \sin \varphi - \sin \delta}{\sin \theta z \times \cos \theta z} \right) \right| \quad (2.7)$$

$$Aal = (Aaz - 90^\circ) \quad (\text{Sreenath, vd., 2020:700}). \quad (2.8)$$

Adım 6: Güneşin konumu (SPi, SPj, SPk), azimut (Aaz) ve yükseklik açısının (Aal) birfonksiyonudur. Güneş konumu aynı zamanda orijinden güneşe doğru uzanan bir birim vektör olarak da temsil edilebilir.

$$\rightarrow \quad SPi = \cos Aal \times \sin Aaz \quad (2.9)$$

$$\rightarrow \quad SPj = \cos Aal \times \cos Aaz \quad (2.10)$$

$$\rightarrow \quad SPk = \sin Aal \quad (\text{Sreenath, vd., 2020:700}). \quad (2.11)$$

Adım 7: Yansıyan güneş ışınımı vektörü, FV dizisine normal vektörü temel alan yansıma denklemi kullanılarak belirlenir. Ayrıca her biri için güneşin konumu bilgisini gerektirir. Buradaki güneş vektörü konik güneş ışınının eksenini temsil eder (Sreenath, Sudhakar, Yusop, Solomin, vd., 2020).

Adım 8: Konik güneş ışınımı açıklığı (β) denklem kullanılarak hesaplanır.

$$\beta = 2 \times \left(\left(\frac{\theta_{\text{Güneş açısı}}}{2} + 2 \right) \times 3 \times \theta_{\text{Eğim açısı}} \right) \quad (\text{Sreenath, vd., 2020:700}). \quad (2.12)$$

Adım 9: Bu güneş ışını Gözlemcinin gözlem noktasından FV dizisine doğru tahmin edilir. Koninin tepesinden 1 m uzaklıkta konik bir bölüm dikkate alınmıştır. Koninin eksenini, konik bölümün yarıçap vektörlerine dik açıdadır. Konik kirişin kenarında kalan ve konik kesite düşen noktalar bulunacaktır. Bu noktalar koni eksenine dik olduğundan, rastgele seçilen herhangi iki koordinatın nokta çarpımı sıfırdır denklemi kullanılarak bulunur. Bu şekilde yaklaşık 30 nokta oluşturulmuştur.

$$Pca.Pra = 0 \quad (2.13)$$

Pca: Koni eksenindeki vektör

Pra: Konik bölümün radyal vektörü (Sreenath, vd., 2020:701).

Adım 10: Konik kenar vektörleri, koninin tepe noktasının önceden belirlenen 30 eş düzlemlili noktadan çıkarılmasıyla bulunur.

$$d = \frac{(p_0 - I_0) x \vec{n}}{I x \vec{n}} \quad (2.14)$$

\vec{n} :FV düzlemine olan normal vektörü

I: Gözlemci ile FV dizisi arasındaki vektör

Po: FV dizisi üzerindeki bir nokta

Io: Gözlem noktası üzerindeki bir nokta

d: Gözlem noktasından kesişme noktasına olan mesafe (Sreenath, vd., 2020:701).

Adım 10: Konik vektörler FV dizisiyle kesişiyorsa bu kesişme noktaları (x, y, z) denklem kullanılarak hesaplanır (Wikipedia, 2019). Konik vektörlerin FV dizisi düzlemiyle kesişmesi eliptik bir konik kesitle sonuçlanacaktır.

$$(x, y, z) = dI + I_0 \quad (2.15)$$

Güneş enerjisi santralının kapasitesi seçilen bölgedeki mevcut arazi alanına göre hesaplanabilmektedir. Tesis kapasitesi, FV modül teknolojisi seçimine ve montaj sistemi tipine göre değişir. Bununla beraber tesis kapasitesi (Pc) aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanır. Ülkemizde her 1Mwp için 15,380 dönüm arazi kullanılmalıdır şartı vardır(MyEnerjiSolar, 2023). Örneğin Malezya için her 1Mwp için 3,380 dönüm arazi kullanılmalıdır şartı vardır (Sreenath, vd., 2020:701).

$$P_C = \frac{A_{PV}}{15.380} \quad (2.16)$$

Apv : Bir bölgede solar FV için kurulabilecek alan miktarıdır (Scheffe, 2020:12; Sreenath, vd., 2020:701).

Adım 11 : GES tarafından meydana gelen parlama etkisinin hesaplanmasında gözlemcinin retinasına ulaşan enerjinin yoğunluğunun hesaplanması gerekmektedir. Enerji yoğunluğu değerleri (düşük geçici körlük riski, geçici körlük riski ve retinal hasar bıraktıcı risk) Şekil 1. 'de verilmiştir. Bu enerji yoğunluğu aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır (Kartal vd., 2023:2):

$$E_r = E_c \frac{d_p^2}{d_r^2} T \quad (2.17)$$

Burada E_c 'nin birimi W/Cm² dir.

dp : Göz bebeği çapı

dr: Retinada oluşan görüntü uzunluğu

T : İletim kat sayısı(Kartal vd., 2023)

Adım 12: Adım 11 'de verilmiş olan **dr** aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$dr = f.w \quad (2.18)$$

f : Parlama yüzeyinin retinada oluşturduğu görüntünün çapı

w : Nesne bakış açısı

Adım13: Adım 12'de verilmiş olan w aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$w = \beta x \sqrt{C} \quad (2.19)$$

β : Güneşten yayılan enerjinin huzme açıklık açısı

C : Enerjinin panel üzerinde odaklanma oranı

3. Forge Solar Programı İle Parlama Analizi Hesaplama

Forge Solar, Google Earth tabanlı uydu sistemini kullanarak parlama analizi yapmaya yarayan bir yazılım programıdır. Analizi yaparken gözlemci üzerindeki etkisinin de belirlenmesine yardımcı olur. Sandia National Laboratories tarafından lisanslı olup Sims Industries tarafından geliştirilen bir programdır. Forge Solar araç paketi aşağıdakilerin sayısal değerlendirmesini sağlar:

1. Öngörülen bir güneş enerjisi kurulumu için yıl boyunca parlamanın ne zaman ve nerede meydana geleceği
2. Parlamanın olduğu yerlerde insan gözü üzerindeki potansiyel etkiler ve
3. Parlamanın etkilerini azaltırken enerji üretimini en üst düzeye çıkarmak için alternatif tasarımların karşılaştırılabilmesi için FV sisteminden yıllık enerji üretimi

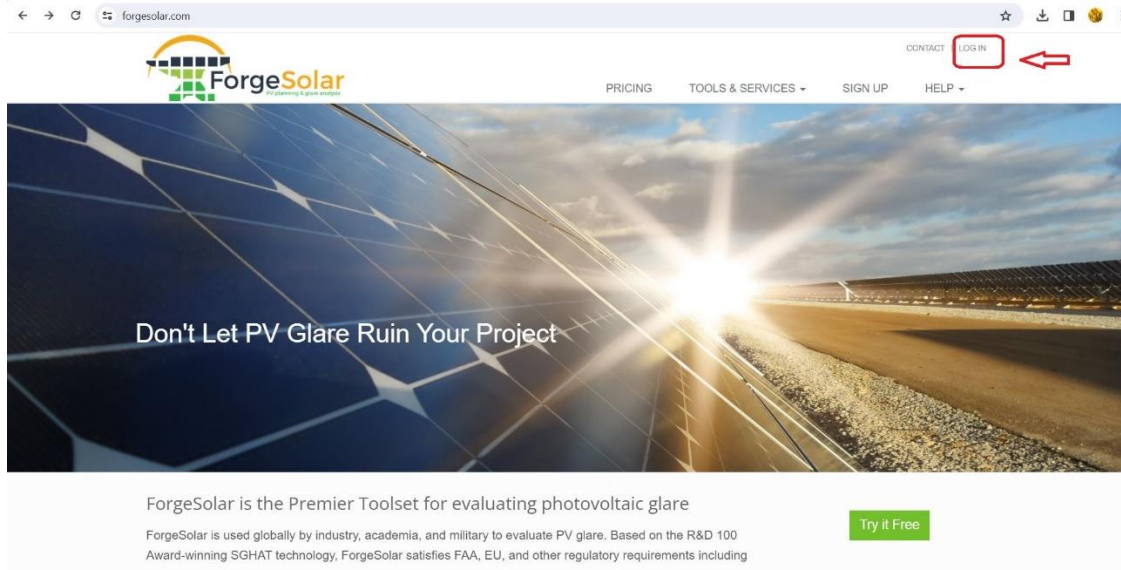
Enlem, boylam ve yükseklik Google'dan otomatik olarak sorgulanarak güneşin konumu ve vektör hesaplamaları için gerekli bilgiler sağlanır. FV panellerin yönü ve eğimi, yansıma, çevre ve oküler faktörlerle ilgili ek bilgiler kullanıcı tarafından girilir.

Parlama bulunursa araç, düşük geçici körlük riski, geçici körlük riski ve retina yanmasına kadar uzanan potansiyel oküler tehlikeleri tahmin etmek için retina ışınımını ve parlama kaynağının alt açısını (boyut/mesafe) hesaplar. Sonuçlar, yıl boyunca parlamanın ne zaman meydana geleceğini belirten basit, yorumlanması kolay bir grafikte sunulur ve renk kodları potansiyel oküler tehlikeyi belirtir. Araç aynı zamanda alternatif tasarımları, düzenleri ve konumları değerlendirirken enerji üretimini maksimuma çıkarırken parlamanın etkilerini azaltan konfigürasyonları belirlerken göreceli enerji üretimini de tahmin edebiliyor.

Forge Solar şu anda parlama analizi için her ikisine de editör aracılığıyla erişilebilen iki araç içermektedir: Bunlar:

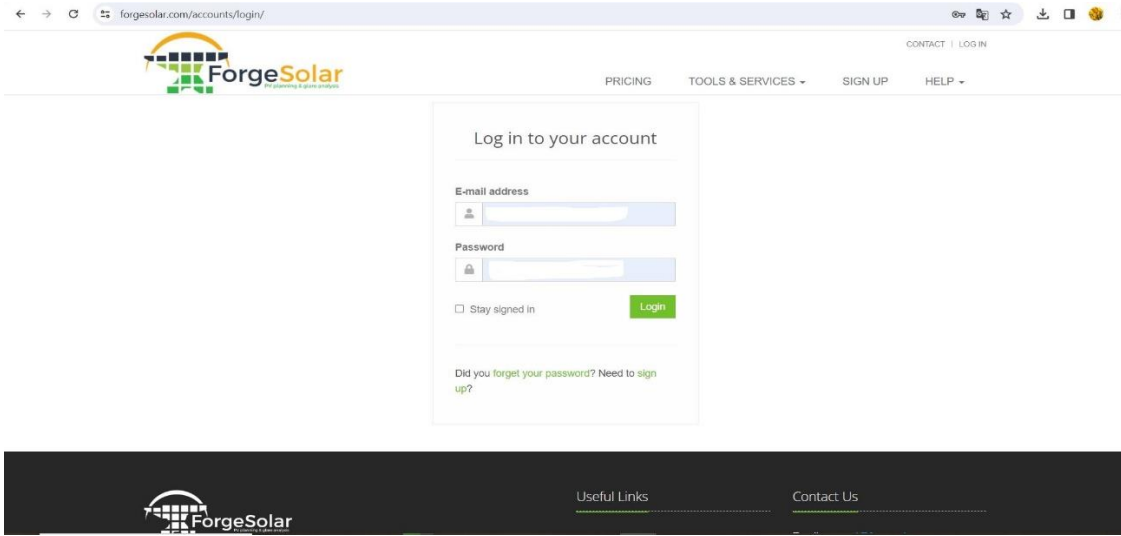
GlareGauge - FV dizileri ve alıcıların yıllık parlama tehlikesi analizi ile,

GlaReduce- çeşitli modül konfigürasyonları, eğimler ve yönelimler üzerinden tek bir FV dizisinin optimizasyon analizidir (SGHAT, 2016). Programın kullanım şekli şu şekildedir: öncelikle şekil 3.1'de de görüleceği üzere www.forgesolar.com web adresine girilir. Ardından şekil 3.1'de kırmızı okla gösterilen ve kare kutucuk içinde belirtilen "Log in" butonuna basılır.



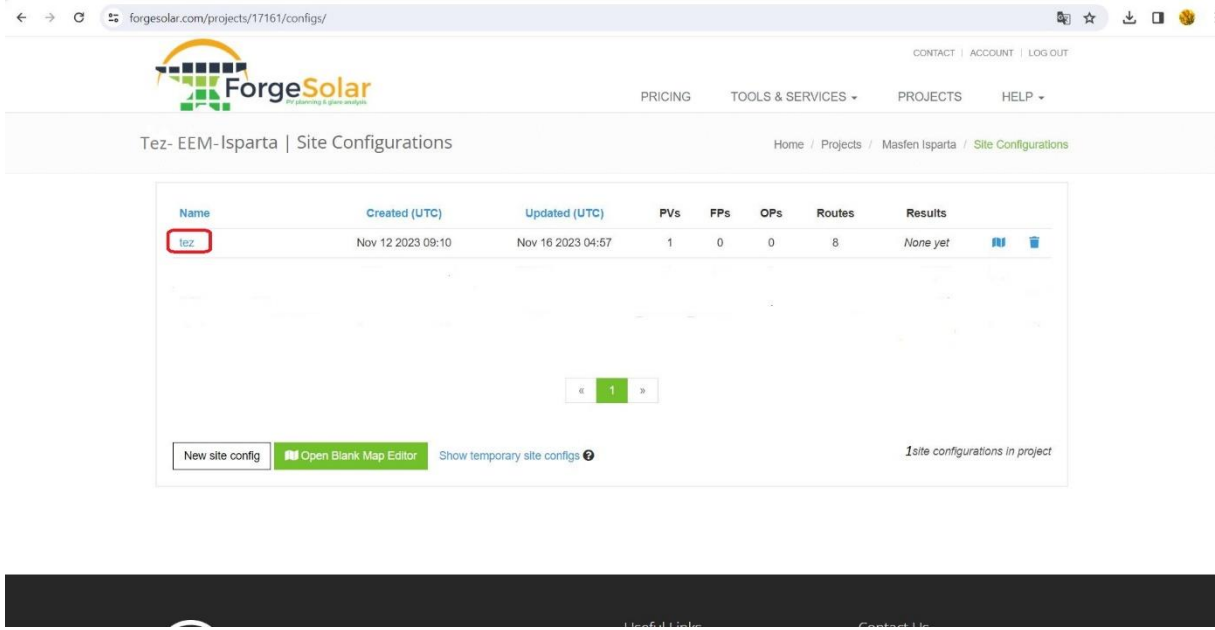
Şekil 3.1. Forge Solar açılış ekranı

“Log in” butonuna basıldıktan karşımıza şekil 3.2’deki görsel çıkmaktadır. Sisteme daha önce kayıt olunan e-mail adresi ve şifresi ile giriş yapılır.



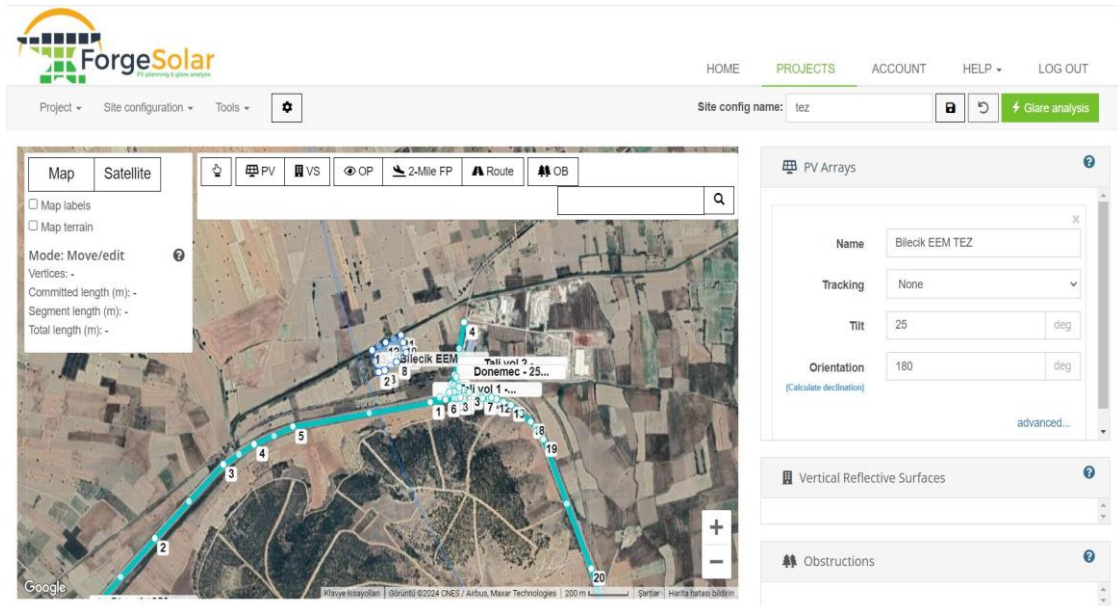
Şekil 3.2. Forge Solar hesabına giriş

Ardından, ekrana şekil 3.3’teki görsel çıkmaktadır. Bu ekranda GES projesi ile alakalı daha önce hazırlamış olduğumuz saha konfigürasyonları çıkmaktadır. Bu konfigürasyonlara giriş yapabilmek için görselde (şekil 3.3) kırmızı kutucuk alanda bulunan botuna basılır.



Şekil 3.3. Saha konfigürasyonlarına giriş

Saha konfigürasyonunda daha önce kayıt altına alınmış tüm saha verileri görülebilir bu açıdan bu kısım önemlidir. Sahaya giriş yapıldıktan sonra sahanın Google Earth tabanlı uydu görüntüleri ve bunun haricinde tüm GES tasarımına ait verilerin girilebildiği çalışma bölümleri çıkmaktadır. Tüm bu bahsedilen detaylar şekil 3.4’te sunulmaktadır.



Şekil 3.4. GES tasarım verileri giriş ekranı

Bu tasarım verileri ekranından sonra santral tasarım verileri girişi için “PV arrays” kısmında “advanced” butonuna basılarak veri girişi yapılabilir. Bu kısım şekil 3.5.’de sunulmaktadır.

Array name
Bilecik EEM TEZ

Description

Panel Configuration & Tracking

Axis tracking: None (fixed) | Orientation (Calculate declination): 180 deg | Panel tilt: 25 deg

Material & Power

Module surface material: Light textured glass with ARC

Reflectivity varies with incidence angle (view data) | Correlate slope error with module surface type (view data)

Rated power (optional): 900 kW

Footprint Vertices

id	Latitude deg	Longitude deg	Ground Elevation m	Height above ground m	Total elevation m
1	37.9231	30.4746	953.593	1.5	955.093
2	37.9231	30.4747	953.518	1.5	955.018
3	37.92318	30.47503	953.634	1.5	955.134
4	37.92352	30.47571	954.129	1.5	955.629
5	37.92352	30.47571	954.129	1.5	955.629
6	37.92352	30.47571	954.129	1.5	955.629
7	37.92352	30.47571	954.129	1.5	955.629
8	37.92352	30.47571	954.129	1.5	955.629
9	37.9239	30.4783	954.458	1.5	955.958
10	37.9243	30.4781	955.237	1.5	956.737
11	37.9246	30.478	955.626	1.5	957.126
12	37.9243	30.4751	955	1.5	956.5

Şekil 3.5. GES koordinat ve FV panel verileri giriş ekranı

Yol ait güzergâh verileri için de şekil 3.6.’da bulunan ekran kullanıcının karşısına çıkmaktadır.

Advanced Route Receptor parameters

Name: Tali yol 1 - 250

Is route one-way?

View angle: 50 deg

id	Latitude deg	Longitude deg	Ground Elevation m	Height above ground m	Total elevation m
1	37.9219	30.4777	956	2.5	958.5
2	37.9223	30.4788	956	2.5	958.5
3	37.923	30.4791	954	2.5	956.5
4	37.9251	30.4797	956	2.5	958.5

Done Delete

Şekil 3.6. Yola ait güzergâh verileri giriş ekranı

3.1 Santral bilgileri

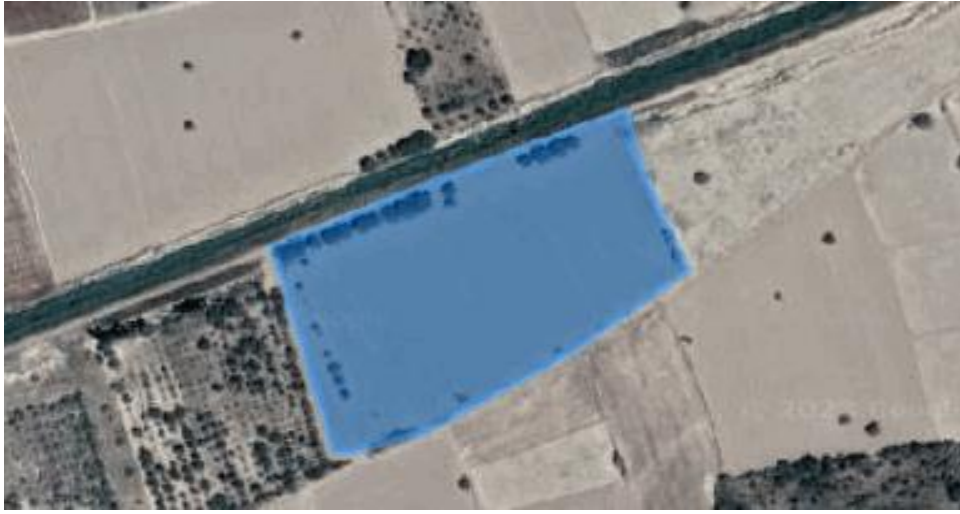
Tezin araştırma alanı olarak, Isparta'nın Gönen ilçesinde, özellikle Isparta-Burdur Otoyolu'nun yaklaşık 21. kilometresinde konumlanacak olan "T" kavşak yolunun çevresinde kurulması planlanan bir GES seçilmiştir. Kurulacak olan bu GES ait tasarım detaylarına tablo 3.1 de, santrale ait koordinatlar tablo 3.2'de ve yola güzergahlarına ait koordinatlar tablo 3.3'de sunulmaktadır. Verilen bu koordinatlara istinaden GES kurulum alanının uydu görüntüsü şekil 3.7'de, yol güzergahlarının uydu görüntüsü ise şekil 3.2'de gösterilmektedir.

Tablo 3. 1. GES'e ait tasarım detayları

Santral Verileri	Açıklama
DC güç	900 kWp
Santralin Güneş takip tipi	Güneye bakılı sabit açılı
Azimet	180°
Panellerin eğim açısı	25°
Bakış açısı	50°
GES arazi büyüklüğü	~15000 m ²
Panel dizilerinin merkezinin ortalama yüksekliği	1.5 m
Panel modüllerinin cam tipi	Hafif dokulu ARC (yansıma engelleyici yüzeyi bulunan kaplama) yüzeyli cam

Tablo 3.2 Santral koordinatları

Sıra No	Enlem (°)	Boylam (°)	Rakım (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



Şekil 3.7. Planlanan GES kurulum alanı

Kaynak: (Celik vd., 2023:5)

3.2 Yol Bilgileri

Isparta-Burdur Otoyolu'nun yaklaşık 21. kilometresinde konumlanacak olan santral için, çevresinde bulunan "T" kavşağı, Isparta-Burdur karayolu ve iki adet tali yolun kullanılması durumunda sürücülerin maruz kalabileceği parlama riski analizi gerçekleştirilmiştir (Celik vd., 2023:5). Koordinatları tablo 3.8. 'de verilen güzergahlara ait Google Earth uydu görüntüleri şekil 3.2'de sunulmuştur.



(a)

(b)



(c)

(d)

Şekil 3.8. Parlama analizi yapılan T- kavşak rotaları

Kaynak: (Celik vd., 2023:5)

a) Otoyol, b) Tali yol 1, c) Tali yol 2, d) Tali yol 3 ve kavşak

Tablo 3. 3. Yol Güzergâh Koordinatları

a) Otoyol Koordinatları

Sıra No	Enlem (Latitude) (°)	Boylam (Longitude) (°)	Rakım (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

Tablo 3. 3. Yol Güzergâh Koordinatları Devamı

b) Tali Yol 1 Koordinatları

Sıra No	Enlem (°)	Boylam (°)	Rakım (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 (°)	Rakım (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 (°)	Rakım (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

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Parametreleri Tablo 3.1’de Sunulan GES Tasarımına Göre Parlama Analizi Sonuçları

SGHAT’nin lisanslı ürünü Forge Solar yazılımı kullanılarak yapılan analizlere göre, güzergahın belirli noktalarında geçici körlük riski gözlemlenebileceği sonucuna varılmıştır. Bu değerlendirmeler, güzergâhta seyir halindeki otomobil sürücüleri için 1.25m, büyük yük taşıma ve ticari araçları (tır, kamyon, kamyonet vb.) sürücülerin ise yol yüzeyinden 2.5m yükseklikte olduğu varsayımıyla gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen sonuçlar neticesinde, rotanın çeşitli bölgelerinde Nisan ve Eylül ayları arasında akşama doğru **18:00** ile **20:00** saatleri arasında geçici ve düşük geçici körlük riski oluşturan parlama etkilerinin ortaya çıktığını göstermektedir. Analiz sonuçlarına göre, ilgili rotaları kullanan araç sürücüleri için riskli düzeyde oluşturabilecek parıltı ve parlama sınıfına dahil olan geçici körlük riskini oluşturan parlamaların yıl boyunca toplamdaki süre yaklaşık olarak 117 saat olarak belirlenmiştir. Ayrıca, düşük geçici körlük riski oluşturabilecek parlama etkilerinin süresi ise yaklaşık 242.4 saat olarak hesaplanmıştır. Bu süreler, Nisan ve Eylül ayları arasında akşam 18:00 ile 20:00 saatleri arasında rotanın belirli bölgelerinde gözlemlenen parlama etkilerini kapsamaktadır (Tablo 4.1 Parlama Analizi Sonuçları).

4.2 Uzman Tarafından Parlama Tehlikesini Ortadan Kaldırmaya Yönelik Belirlenen Parametrelere Göre Parlama Analizi Sonuçları

FAA tarafından belirlenen kurallara göre düşük geçici körlük riski ve retinal hasar bıraktıracı riskler istenmeyen durumdur ve bu risklerin ortadan kaldırılması beklenmektedir. Geçici körlük seviyesinde risk oluşturma potansiyeli bulunan parlama ve parıltı yoğunluğunu bertaraf etmek ve araç sürücüler için güvenli bir şekilde seyir sağlayabilmek amacıyla, ışığı geçirmeyen opak (yansıma kesici) bariyerin yanı sıra panel ön yüzeyindeki cam dokusu tipinin değiştirilmesi veya santrale ait tasarım parametrelerinin gözden geçirilmesini içeren dört öneri sunulmaktadır. Opak bariyer, santral yanına ek olarak yolların kenarına da yerleştirilebilir. Yapılan analizlere göre, önerilen 3m'lik bariyerin maliyeti, santral yanına kurulacak olan 5m'lik bariyerden daha ekonomik olabilir; ancak ortaya çıkacak mülkiyet ve özlük haklarından dolayı bazen yol kenarına bu tür bariyerlerin yapılması veya uygulanması mümkün olamamaktadır. Bu doğrultuda tasarımı yapılan ve yol kenarına yapılması muhtemel olan bariyer şekil 4.1’de, santral kenarına yapılması muhtemel olan bariyer şekil 4.2’de sunulmaktadır.



Şekil 4.1. Uzman tarafından belirlenen yeni GES tasarımında yapılması muhtemel olan yol kenarına paralel 3m yüksekliğe konulan yansıtma kesici ışık geçirmeyen (opak) bariyer

5 metre yüksekliğindeki bariyerin santral yanına yerleştirilmesi önerisi, hem imalat maliyetleri hem de santral alanına gölge düşürme potansiyeli nedeniyle, yatırımcılar açısından pratikte istenen bir çözüm önerisi olmayabilir. Bu nedenle, Tablo 4.1'de sunulan Öneri 3 ve Öneri 4, yatırımcılar için geçici körlük riski oluşturan parlamaya karşı alternatif çözümler sunulmaktadır. Öneri 3'te, panel cam tipinin "derin dokulu" olarak seçilmesi durumunda riskin ortadan kalktığı analiz sonuçlarıyla belirlenmiştir. Ancak, "derin dokulu cam" seçimi hem panellerin maliyetini artırmakta olup hem de enerji üretimi miktarını azaltmaktadır.



Şekil 4.2. Uzman tarafından belirlenen yeni GES tasarımında yapılması muhtemel olan ve santral kenarına paralel 5m yüksekliğe konulan yansıtma kesici ışık geçirmeyen (opak) bariyer

Öneri 4'de ise azimut açısı 220° ve panellerin eğim açısı 30° olacak şekilde analizler yapılmıştır ve parlamamanın tamamen bertaraf edildiği hesaplanmıştır; fakat bu çözüm önerisinde de azimut açısının değişimi ile birlikte üretilen enerjinin miktarında kayıp yaşanacaktır.

Tablo 4.1. Parlama ve Parıltı Analizleri Sonuçları

Analizler	Yapılan Analizler	Parlama ¹ (Saat)	Parlama ² (Saat)
Tablo 3.1	Tablo 3.1 tasarım verilerine göre analiz sonuçları	242.4	116.9
Öneri 1	Yolun kenarına paralel 3m yüksekliğe konumlandırılan bariyer (opak) analizi sonuçları	92.5	0
Öneri 2	Santralin kenarına paralel 5m yüksekliğe konumlandırılan bariyer (opak) analizi sonuçları	68.5	0
Öneri 3	Panel cam tipinin derin dokulu cam olarak düşünüldüğü analiz sonuçları	2431.2	0
Öneri 4	Azimut açısının 220° ve panel eğimi açısının 30° olarak düşünüldüğü analiz sonuçları	0	0

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

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

Tablo 4.1'deki hesaplanan parlama analizleri sonuçlarına göre, yatırımcının uygun bir şekilde belirleyeceği parlama engelleme yöntemini seçmek için gerekli fizibilite çalışmalarını yapması gerektiği değerlendirilmiştir. Parlama analizinde rotalara ait analiz sonuçları ekler kısmında sunulmaktadır.

5. SONUÇLAR

Tablo 3.1.'deki verilere dayanarak yapılan analizler, mevcut santralin alanına kurulduğunda, özellikle otoyolda ve tali yollarda dönemeç kısımlarında parlama riski oluştuğunu ortaya koymaktadır. Nisan ile Eylül ayları arasındaki saat 18:00-20:00 arasında geçici körlük (sarı parlama) riskinin bulunduğu hesaplanmıştır. Bu kapsamda Tablo 3.1'de bulunan tasarım detaylarına istinaden:

5.1 Öneri 1 Yol Yanı Bariyer:

Yaklaşık 92.5 saatlik bir süre boyunca düşük geçici körlük riskinin meydana geleceği, geçici körlük riskinin ise hiç oluşmayacağı sonucuna varılmıştır.

5.2 Öneri 2 Santral Yanı Bariyer:

Yaklaşık 68.5 saatlik bir süre boyunca düşük geçici körlük riskinin meydana geleceği, geçici körlük riskinin ise hiç oluşmayacağı sonucuna varılmıştır.

5.3 Öneri 3 Panel Cam Tipi Değişimi:

Yaklaşık 2431.2 saatlik bir süre boyunca düşük geçici körlük riskinin meydana geleceği, geçici körlük riskinin ise hiç oluşmayacağı sonucuna varılmıştır.

5.4 Öneri 4 Azimut ve Panel Eğimi Açısı Optimizasyonu:

Yapılan analizler sonucunda Şekil 1.1 de belirtilen herhangi bir parlama riski bölgesinde oluşabilecek bir parlama bulgusuna ulaşılmadığı değerlendirilmiştir.

Çalışma, genel olarak parlama riskini etkileyebilecek önemli faktörleri incelemiştir. Bu faktörler arasında panel cam tipi, azimut açısı ve panel eğimi açısı en belirgin parametreler olarak belirlenmiştir. Ayrıca, gözlemci rolündeki sürücülerin koordinatları ve izledikleri rota da önemli bir etken olarak ortaya çıkmıştır. Örneğin, Türkiye'de güneye bakan bir FV santralinin kuzeyinde bulunan bir yolun azimut etkisi nedeniyle parlama riski düşük olduğu anlaşılmıştır. Bu durum, güney yarım küre için geçerliliğini korumaktadır. Elde edilen sonuçlara göre, rota bilgisi için verilen yol koordinatlarını Forge Solar programının bir çizgi olarak kabul etmesi, her ne kadar o çizgi üzerinde parlama olmasa bile hemen çizginin 1 metre ötesinde parlama olmayacağı anlamına gelmediği gösterilmiştir. Özellikle dönemeç kısımlarında ortaya çıkan parlama bu durumu net bir şekilde kanıtlamaktadır. Bu nedenle, geniş yollarda geçerli olan ve her bir seyir için ayrı bir koordinat verilmesinin daha doğru ve kesin bir analiz sonucu vereceği değerlendirilmiştir. Tüm bu analiz sonuçları ışığında, Karayolları, Demiryolları ve Hava Yolları yetkili mercilerinin GES santrallerinin kurulum izinlerinde talep

ettiği parlama analizi kapsamında, kavşakların ve tüm tali yolların da dahil edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKÇA

Brumleve & T. D. (1977). Eye Hazard and Glint Evaluation for the 5-MWt Solar Thermal Test Facility (1-61).

Celik, R., Turhal, U. C., & Ozden, T. (2023). Glare Impact Assessment Of The 900 Kw Photovoltaic Power Plant On A T-Junction Road. *1. Bilsel Uluslararası Harput Kongresi*, (438-455).

Civil Aviation Authority of UK. (2010). *United Kingdom-https://www.caa.co.uk/media/dvcp2qho/caa-passenger-survey-report-2010.pdf*. Official release.

Clifford Ho. (2021,). *USA-*

https://www.faa.gov/newsroom/faa-issues-policy-solar-projects-airports. Official release.

Delori, F. C., Webb, R. H., and Sliney, & D. H. (2007). Maximum Permissible Exposures for Ocular Safety (ANSI 2000), With Emphasis on Ophthalmic Devices, (1250-1265).

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2017). *Güneş Enerjisine Dayalı Elektrik Üretimi Başvurularının Teknik Değerlendirmesi Hakkında Yönetmelik Birinci Bölüm*.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2023, Ocak 17). *Türkiye-https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2023/01/20230117-6.htm*. Official release.

France Ministry of Transport. (2022). *Fransa-*

https://www.stac.aviation-civile.gouv.fr/sites/default/files/ra_stac_en_2022.pdf.

Gov. UK. (2017). *Birleşik Krallık-*

https://www.gov.uk/government/publications/dclg-annual-report-and-accounts-2016-to-2017. Official release.

Government of Canada. (2019). *Kanada-https://tc.canada.ca/en/aviation/publications/aviation-land-use-vicinity-aerodromes-tp-1247*. Official release.

Ho C. (2013). Relieving A Glaring Problem (28-31).

Ho, C. K. (2011a). Observations and Assessments of Glare from Heliostats and Trough Collectors: Helicopter Flyover and Drive-By Sightings. *SolarPACES* (1-6).

Ho, C. K. (2011b). Summary of Impact Analyses of Renewable Energy Technologies on Aviation and Airports, *Sandia National Laboratories* (1-39).

Ho, C. K., Ghanbari, C. M., & Diver, R. B. (t.y.). Hazard Analyses Of Glint And Glare From Concentrating Solar Power Plants (1-10).

Ho, C. K., Ghanbari, C. M., & Diver, R. B. (2011). Methodology To Assess Potential Glint And Glare Hazards From Concentrating Solar Power Plants: Analytical Models And Experimental Validation. *Journal of Solar Energy Engineering, Transactions of the ASME*, 133(3) (1-9).

ITRP. (2022). *International Technology Roadmap for Photovoltaic (ITRPV) Results 2021 including maturity report 2022* (1-78).

Kartal, M. Z., Gökkaya, E., Taşkan, S., Saynak, U., Karabayır, O., & Aldirmaz-Colak, S. (2023). Glare Effect Analysis On Solar Panels. (1-4).
<https://doi.org/10.1109/siu59756.2023.10224046>

Metcalf, R.D., Horn, & R.E. (1958). *Visual Recovery Times From High-Intensity Flashes of Light* (1-55).

MyEnerjiSolar. (2023). <https://www.myenerjisolar.com/1-megawatt-gunes-enerjisi-maliyeti-nedir/>.

Öztürk, H. H. (2022). Güneş Enerjisinden Fotovoltaik Yöntemle Elektrik Üretiminde Güç Dönüşüm Verimi ve Etkili Etmenler, (1-14).

Scheffe, J. (2020, Temmuz 10). Solar Time and Solar Time Python Calculator, (1-17).
<https://faculty.eng.ufl.edu/jonathan-scheffe/wp-content/uploads/sites/100/2020/08/Solar-Time1419.pdf>.

Severin, S. L., Newton, N. L., Culver, & J. F. (1962). An Experimental Approach to Flash Blindness.

SGHAT. (2016). Forge Solar (SGHAT) Help Menu (Release 2023C.1). *Sandia National Laboratories*.

Sher, F., Hazafa, A., Marintseva, K., Rasheed, T., Ali, U., Rashid, T., Babu, A., & Khzouz, M. (2021). Fully Solar Powered Doncaster Sheffield Airport: Energy Evaluation, Glare

Analysis And CO Mitigation (1-10). *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 45. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101122>

Skelly, J., & Baghzouz, Y. (2021). History, Evolution, and Future of PV Cells Skelly 1 ECG 646: Photovoltaic Devices and Systems History, Evolution, and Future of PV Cells (Skelly1-Skelly7).

Sliney, D. H., & Freasier, B. C. (1973). Evaluation of Optical Radiation Hazards. *Applied Optics*, 12(1), (1-24). <https://doi.org/10.1364/ao.12.000001>

Song, H.-J., & Kyo Seo, Y. (2021). 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*, 36(2), (26-31). <https://doi.org/10.14346/JKOSOS.2021.36.2.26>

Sreenath, S., Sudhakar, K., & Yusop, A. (2021a). Glare Prediction Of Solar PV System In Airport Environment: A Scenario Analysis Of Material, Tilt And Orientation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1068(1), (1-11).

Sreenath, S., Sudhakar, K., & Yusop, A. F. (2021b). Effect Of PV Material, Texturing, Orientation And Tracking On Glare Impact: A Simulation Study From An Indian Airport (1-11). *Cleaner Engineering and Technology*, 4. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100236>

Sreenath, S., Sudhakar, K., & Yusop, A. F. (2021c). Solar PV In The Airport Environment: A Review Of Glare Assessment Approaches & Metrics. *Solar Energy*, 216, (439-451).

Sreenath, S., Sudhakar, K., & Yusop, A. F. (2021d). Suitability Analysis of Solar Tracking PV System in the Airport Based on Glare Assessment. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, 18(3), (9061-9070).

Sreenath, S., Sudhakar, K., Yusop, A. F., Cuce, E., & Solomin, E. (2020). Analysis Of Solar PV Glare In Airport Environment: Potential Solutions, (1-8). *Results in Engineering*,

Sreenath, S., Sudhakar, K., Yusop, A. F., Solomin, E., & Kirpichnikova, I. M. (2020). Solar PV Energy System In Malaysian Airport: Glare Analysis, General Design And Performance Assessment. *Energy Reports*, 6, (698-712).

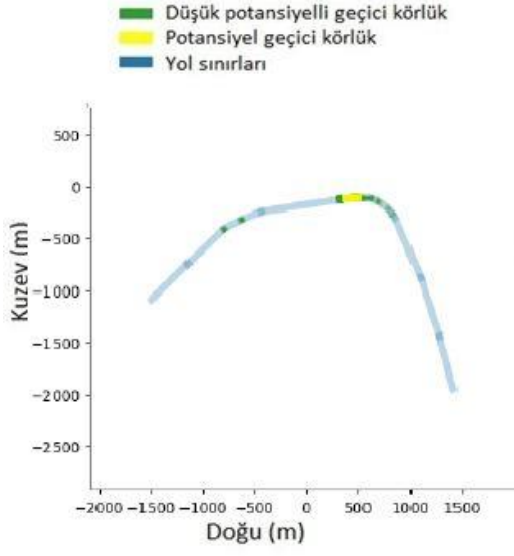
Yellowhair, J., & Ho, C. K. (2015). Assessment of Photovoltaic Surface Texturing on Transmittance Effects and Glint/Glare Impacts, (1-18). www.solarquotes.com.au

Zehndorfer Engineering For Austria. (2016). *Avusturya-*
<https://www.zehndorfer.at/en/news-en/news-solarglare-r11>.

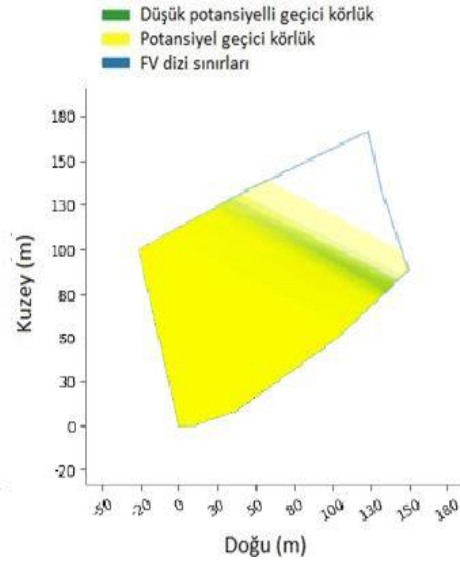
Zehndorfer Engineering For Germany. (2023). *Almanya-*
<https://www.zehndorfer.at/en/solar-glare/solarglare-faq>.

EKLER

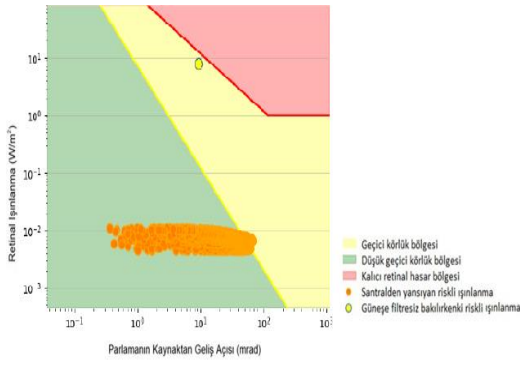
Otoyol Rotası İçin Parlama Analizi Sonuçları



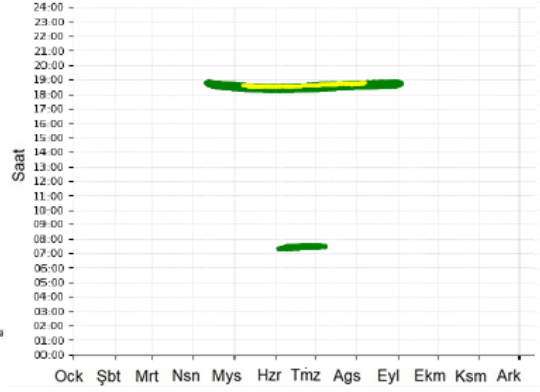
Güzergahtaki parlama bölgeleri



GES'ten güzergahlara doğru yansıyan parlama bölgesi

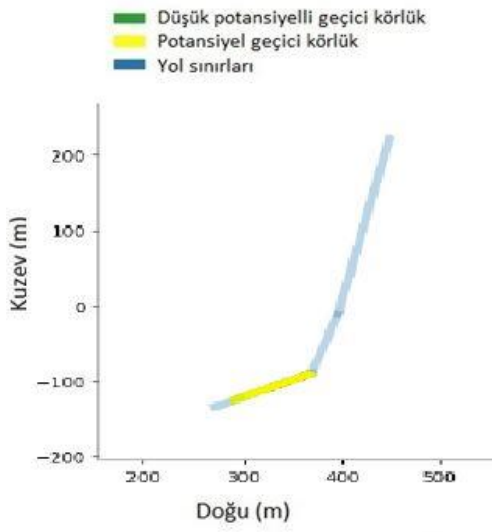


Parlamanın risk bölgeleri

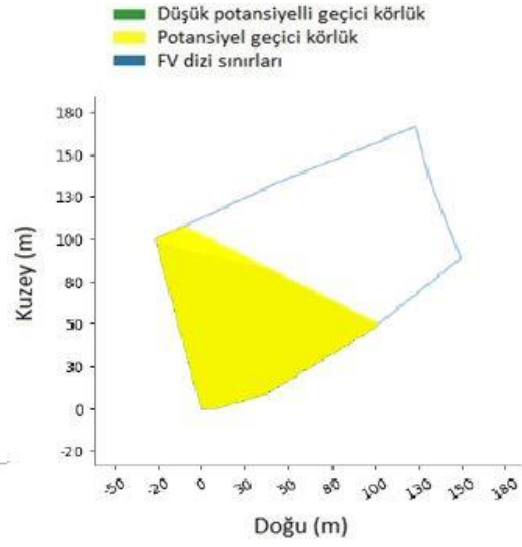


Yıl boyunca oluşan parlamaların süreleri

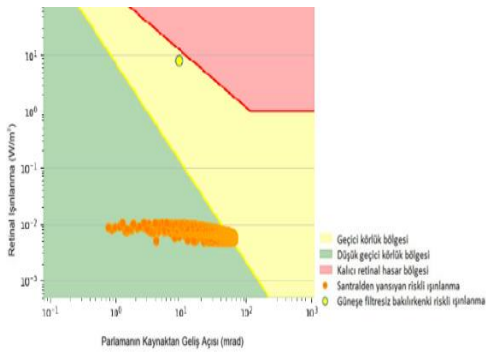
Tali Yol 1 Rotası İçin Parlama Analizi Sonuçları



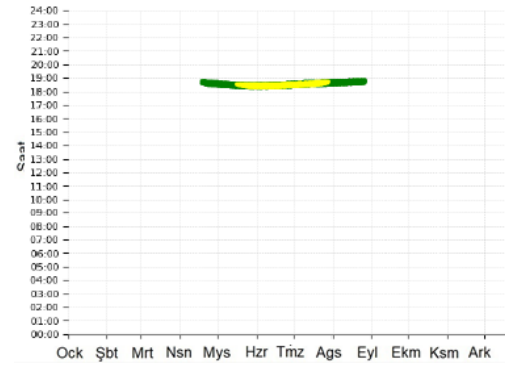
Güzergahtaki parlama bölgeleri



GES'ten güzergahlara doğru yansıyan parlama bölgesi

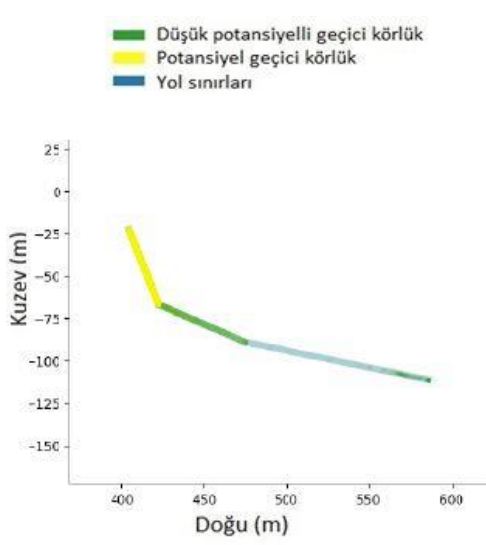


Parlamanın risk bölgeleri

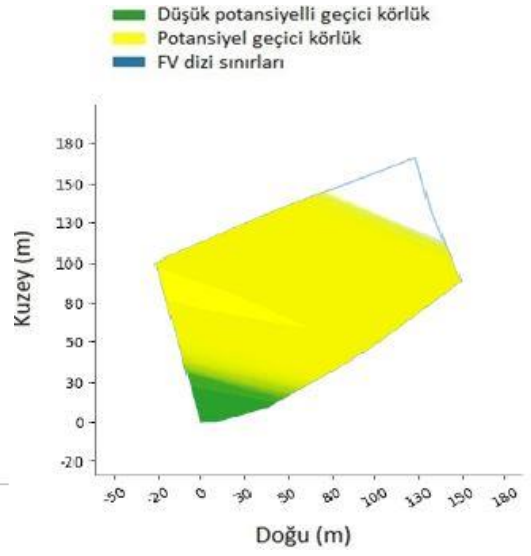


Yıl boyunca oluşan parlamanın süreleri

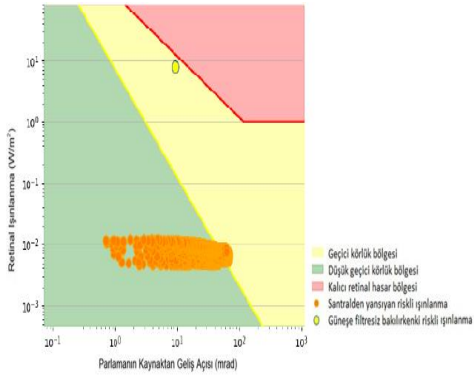
Tali Yol 2 Rotası İçin Parlama Analizi Sonuçları



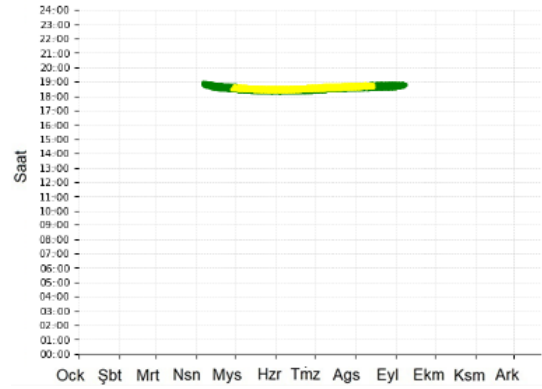
Güzergahtaki parlama bölgeleri



GES'ten güzergahlara doğru yansıyan parlama bölgesi

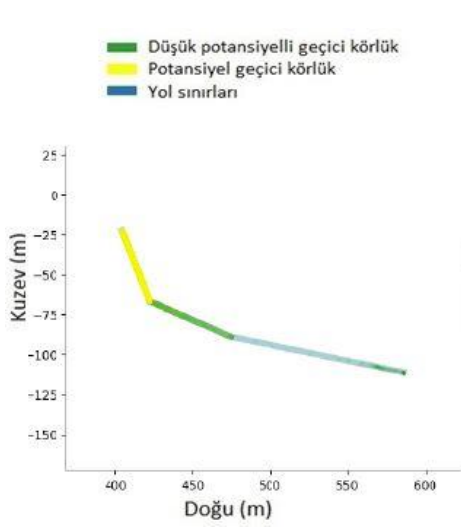


Parlamannın risk bölgeleri

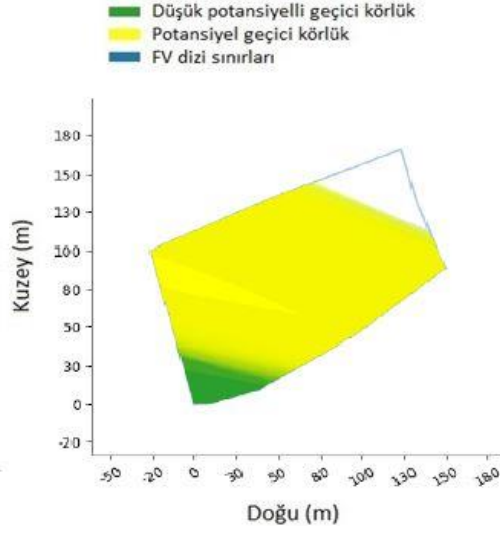


Yıl boyunca oluşan parlamannın süreleri

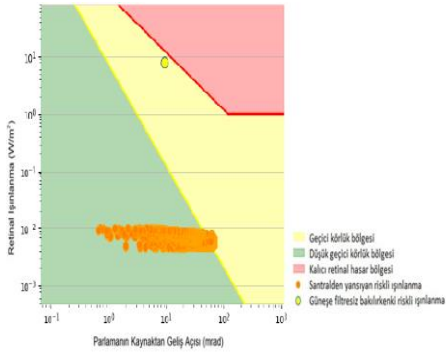
Tali Yol 3 ve Kavşak Rotaları İçin Parlama Analizi Sonuçları



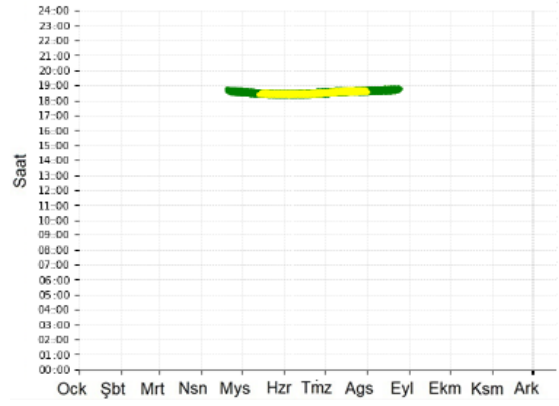
Güzergahtaki parlama bölgeleri



GES'ten güzergahlara doğru yansıyan parlama bölgesi



Parlamanın risk bölgeleri



Yıl boyunca oluşan parlamanın süreleri