



BİR GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMİNİN DAĞITIM SİSTEMİ GÜVENİLİRLİĞİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Sıtkı GÜNER^{1*}, Serkan YAZICI²

¹ Eskişehir Tek. Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye

² İstanbul Arel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Dağıtık Üretim,
Fotovoltaik,
Güneş Enerjisi Santrali,
Yenilenebilir Enerji Kaynağı.*

Öz

Günümüzde artan nüfus doğrultusunda talep edilen enerjinin de artmasıyla, alternatif enerji kaynaklarına yönelim artmıştır. Bu nedenle yenilenebilir enerji kaynaklarının (YEK) kullanımı gün geçtikçe artmakta ve özellikle güneş enerjisinin kullanımı yaygınlaşmaktadır. Güneş enerjisinin kullanımı, temiz ve ekonomik olmasından dolayı mevcut enerji piyasasında önemli bir yer elde etme yolunda ilerlemektedir. Güç sistemleri yönetiminin öncelikli hedeflerinden bir kaliteli ve güvenilir enerjinin tüketiciye sağlanmasıdır. Her sistemde olduğu gibi GES'lerde de önemli sorunlardan biri arızalardır. Enerji talep eden tüketici ile elektrik iletim sistemi arasında dağıtım sistemi bulunmaktadır. Bu sistemlerde meydana gelebilecek herhangi bir arıza durumunda, arızadan sadece dağıtım şebekesinin bulunduğu bölge etkilenmesi istenmemektedir. Bu amaçla sistemin sürekliliği sağlanabilmesi için sistemin güvenilir olması gerekmektedir. Dağıtım sistemlerinin çalıştığı süre boyunca istenilen görevleri yerine getirebilmesine güvenilirlik denmektedir. Bu amaç doğrultusunda yapılan bu çalışmada, dağıtım sistemine entegre edilmiş bir güneş enerjisi santralinin (GES) güvenilirlik analizi yapılmıştır. İstanbul ili Büyükçekmece ilçesinde belirlenen yere bir benzetim programıyla GES tasarlanmıştır. Bu çalışmada 5113 m² alan içinde 3014 adet Canadian Solar 320 Wp panel, ABB 5.k kW invertör kullanılmıştır. Toplamda 1000 kWp güç üretecek santralin, bir benzetim programında 365 gün üreteceği enerjinin analizi yapılmıştır. Aylık ve saatlik tüketim bilgisi kullanılarak projenin günlük yük eğrisi elde edilmiştir.

THE ANALYSIS OF IMPACTS OF A PV SYSTEM ON THE DISTRIBUTION SYSTEM RELIABILITY

Keywords

*Distributed Generation,
Photovoltaik,
PV Generation System,
Renewable Energy Source.*

Abstract

Today, in line with the increasing population and also with the increasing demanded energy, the tendency towards alternative energy sources has increased. As a result, the use of renewable energy sources (RES) is increasing day by day and especially the use of solar energy is becoming widespread. The use of solar energy has gained an important place in the current energy market because of its clean and economical feature. Malfunctions are one of the significant problems in solar power plants (SPP) as in every system. There is a distribution between the consumer demanding energy and the electricity transmission system. It is not desired to be affected of areas where the distribution network is located in case of any malfunction that may occur in these systems. For that purpose, the system must be reliable in order to ensure the continuity of the system. The ability that fulfilling the desired tasks during their operation is called reliability. The reliability analysis of a solar power plant (SPP) integrated into the distribution system has been made conducted for this purpose in this study. SPP has been designed with a simulation program to the place determined in Büyükçekmece which is the district of Istanbul. In this study, 3014 Canadian solar 320wp panels and ABB 5.k kW inverter have been used in a 5113m² area. The energy analysis to be generated power in 365 days of a power plant is to produce 1000kwp power in total has been done in a simulation program. The daily

* İlgili yazar / Corresponding author: sguner@eskisehir.edu.tr, +90-222-321-3550

load curve has been obtained by using monthly and hourly consumption information.

Alıntı / Cite

Güner, S., Yazıcı, S., (2022). Bir Güneş Enerji Sisteminin Dağıtım Sistemi Güvenilirliğine Etkilerinin İncelenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 10(2), 538-549.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

S. Güner, 0000-0003-1085-0474
S. Yazıcı, 0000-0002-7014-6924

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	20.10.2021
Revizyon Tarihi / Revision Date	18.02.2022
Kabul Tarihi / Accepted Date	16.03.2022
Yayın Tarihi / Published Date	30.06.2022

1. Giriş (Introduction)

1.1. Motivasyon (Motivation)

Güç sisteminin yönetiminde sistem operatörlerinin performanslarının ölçülmesinde güvenilirlik analizi ölçütleri kullanılmaktadır. Özellikle ülkemizde serbestleşmiş dağıtım şebekelerinin operatörlerinin sistemi yönetme kabiliyetlerinin ölçülmesi ve tüketiciye kaliteli ve güvenilir enerjinin sağlandığının belirlenmesi için dağıtım sistemi güvenilirlik analizi ölçütleri kullanılmaktadır.

Ülkemizdeki radyal dağıtım sistemi, yapısında tek yönlü bir enerji akışı olduğundan dolayı birçok arıza sistemdeki çoğu tüketiciyi etkilemektedir. Arızalardan etkilenen müşteri sayısının azaltılması için dağıtım üretim sistemlerinin (DÜS) yaratacağı olumlu etki şüphe götürmez bir gerçektir. DÜS'lerinin dağıtım sistemi güvenilirliğine etkilerinin incelenmesi kurulacak yeni üreteçlerin öneminin belirlenmesi için kullanılabilir.

Bu çalışmada İstanbul'da 1 MW gücünde kurulacak bir lisansız üretim sisteminin gerçek bir dağıtım sistemi güvenilirliğine etkileri incelenmiştir. Çalışmada dağıtım sistemi güvenilirlik ölçütlerinden SAIDI (Sistem Ortalama Kesinti Süresi Ölçütü), SAIFI (Sistem Ortalama Kesinti Ölçütü), ENS (Enerji Sağlanamaması) ölçütleri güneş enerji sisteminin (GES) dağıtım sistemi güvenilirliğine etkilerinin incelenmesi için kullanılmıştır.

Bu çalışmada bir dağıtım fiderine bağlanan bir GES'nin yarattığı etki incelenmiştir. Bu GES'nin kendine yakın olan yük noktalarında yarattığı iyileşme sistem için çok anlamlıdır. Bu noktadan yola çıkarak sisteme katılacak birde çok GES'nin öncelikle kendisine yakın bölgelerde yaratacağı etkilerle sistem güvenilirliğinde daha fazla iyileşme sağlanabilir. Bu da ülkemizdeki dağıtım sistemlerinin en büyük sorunu olarak tüketiciye kesintisiz enerji sağlanamamasının önüne geçilmesine yardımcı olabilir. Bu çalışmanın devamında GES'leriyle depolama birimlerinin birleştirmesinin optimum yönetimi ve şebekede yaratacağı iyileşmenin belirlenmesi hedeflenmektedir.

1.2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretiminin güç sistemlerinde artmasının en önemli nedenlerinden biri küresel ısınmanın etkisini her geçen gün artırmasıdır. GES'leri de yeşil enerjiden elektrik enerjisi üretimi noktasında en yaygın kullanılanlardanır. Şebekeye bağlı GES'leri gün geçtikçe artmaktadır. DÜS olarak GES'leri dağıtım sistemlerindeki genel görüşü değiştirmektedir. Gelişen ve değişen güç sistemlerinde fotovoltaik sistemler ile şebekeden bağımsız çalışarak tüketicilerin enerji ihtiyacının bireysel olarak karşılaması sağlanırken, şebekeye bağlı olarak çalıştığında tüketicilerin yük ihtiyaçlarına göre şebekeyle etkileşimi sağlanmaktadır. GES'lerinin şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız olarak çalışmasının elektrik üretimine etkileri (İga vd., 2002)'de ortaya konmuştur. Ayrıca, MW boyutundaki GES'leri de sadece şebekeyi besleme yönünde çalışmaktadır ve gün geçtikçe dağıtım seviyesinden güç sistemine bağlanan GES'lerinin sayıları artmaktadır. Bu noktada karşılaşılan sorunların başında gelen hat empedansı ve yük değişiklikleri şebekenin güç kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Bundan dolayı, dağıtım GES'lerle dağıtım sistemi gerilim profiline iyileşme yönünde yaptığı etki (Thomas vd., 2018) ortaya konmuştur.

Daha önce de belirtildiği gibi, fotovoltaik sistemlerin yaygınlaşmasıyla beraber farklı uygulamalar ortaya çıkmaktadır. (Barker ve Bing, 2005)'de, son dönemde fotovoltaik sistem uygulamaları alanında meydana gelen gelişmelere sunulmuştur. Akıllı şebeke ortamıyla beraber özellikle elektrikli araçların kullanımının yaygınlaşması bu araçların şarj ihtiyacının temiz enerjiden karşılanması ihtiyacını ortaya çıkartmıştır. Bu sorunun çözülmesi için elektrikli araçlar için güneş enerjili şarj istasyonunun tasarımı ve analizini içeren bir çalışma (Mollah, 2012)'de yayınlamıştır. Elektrikli araçların şarj yükünün karşılanması için akıllı otopark sistemleriyle fotovoltaik sistemlerinin elektrikli araçlarla optimum yönetimi hem güneşten elektrik üretimine katkı sunarken, hem de elektrikli araçların temiz enerjiden enerji ihtiyacının karşılanmasına imkan verecektir. (Honarmanda vd., 2015)'de

tasarlanan akıllı otopark sisteminde, güneş radyasyonu belirsizliği, rezerv gereksinimleri ve elektrikli araç sahiplerinin memnuniyeti de dikkate alınmıştır. Ayrıca elektrikli araçların şarj ve deşarjının ekonomik ve teknik yönleri de akıllı otopark sistemine eklenmiştir.

Fosil kaynakların artan maliyetleri özellikle güneş ve rüzgar enerjisi kullanılarak elektrik üretiminin artmasına katkıda bulunmaktadır. (Aminifar vd., 2020)'de yapılan çalışmada GES'lerinin şebekeyle entegrasyonunun yarattığı ekonomik faydalar ve iş istihdamı gibi olumlu etkileriyle şebeke tarafında yarattığı sorunlar incelenmiştir. Bu noktada GES'lerinin şebekeye katılımı ileri mühendislik çözümleriyle beraber incelenmesi gerekmektedir (Singh vd., 2019; Nguyen ve Tsuji, 2019). Ayrıca akıllı şebeke ortamında yönetim kolaylaşan mikro şebekelerle birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarıyla depolama birimlerinin birleştirilmesiyle kendi kendine yeterek sistem güvenilirliğini artıran çözümler oluşturulmaktadır. (López-Prado vd., 2020)'de mikro şebekeye sahip dağıtım sistemlerindeki güvenilir değerlendirme yapan çalışmaların sınıflandırması bulunmaktadır. Bu literatür özetinde GES'lerinin müşteri tabanlı güvenilirlik ölçütlerinde yarattığı iyileşme ortaya konmaktadır. Ada modu çalışma mantığı DÜS'leriyle birlikte sıklıkla kullanılmaktadır. Fotovoltaik sistem, dizel generatör ve bataryalardan oluşan hibrit bir yapıyla şebeke arızalarından daha az müşterinin etkilenerek dağıtım sistemi güvenilirliğinin iyileştirilmesi mümkündür (Esan vd., 2019). GES'lerinden sağlanacak maddi kazancın artırılması için depolama birimleriyle entegra olarak kullanılmaktadır. Bu GES'leriyle ilgili işletme şekli dağıtım sistemi güvenilirliğini iyileştirmek için de kullanılmaktadır (Ostovar vd., 2021).

GES'lerinin şebekelere dahil olmasıyla beraber sahip oldukları güç elektroniği ve kontrol ekipmanlarından dolayı dağıtım sisteminin enerji kalitesi kötü yönde etkilenmektedir. (Zainal vd., 2013)'de GES'nin 11 kV gerilim seviyesine sahip dağıtım sistemi için bir vaka analizi yapılarak harmonik distorsiyonun IEEE 519-1992 standardından daha yüksek olduğu ortaya konmuştur. Aktif ve reaktif güç kontrolü için GES'lerinin optimum çalışma noktasının belirlenmesi için yapılan çalışmanın sonucunda GES'lerinin dağıtım sistemlerine katılım oranını artırmasının güç kalitesine olumlu etki ettiği sonucuna ulaşılmıştır (Hsu vd., 2013). GES'lerinin sadece dağıtım sistemi özelinde sistem güvenilirliğinde yarattığı iyileşmenin yanında iletim sistemi güvenilirlik ölçütlerinden LOLP (Loss of Load Probability) ve LOEP (Loss of Energy Probability) iyileşme yarattığı (Bouhours vd., 2010)'de ortaya konmuştur.

Güç sistemlerinde yaşanacak arızalarda gerekli anahtarlama koordinasyonu ile tüketicilerin bir bölümüne enerjinin GES'leriyle sağlanması sistem güvenilirliğine etkileri (Stember vd., 1982)'de incelenmiştir. Akıllı şebeke ortamında ve gelişen dünya düzeninde artık tüketicinin kaliteli ve sürekli enerji isteği daha fazla karşılık bulmaktadır. Geleneksel enerji sistemlerinde üretim ve iletim sisteminde yaşanabilecek arıza ve kesintiler daha fazla kullanıcıyı etkilediğinden güç sistemi operatörleri dağıtım sisteminde yaşanacak olumsuzluklara daha az önem vermekteydi (Güner, 2018). Dağıtım sisteminde yaşanacak arızalardan daha az kullanıcının etkilenmesi için DÜS'lerinin yapacağı olumlu etkinin ortaya konulması dağıtım sistemi işletmesine de yardımcı olacaktır.

1.3. Çalışmanın Katkıları ve Organizasyonu (Contributions and Organisation of Studies)

Bu çalışmada gerçek bir bölgeye kurulabilecek GES'nin tasarımı her aşaması ile yapılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda hem üretim bilgileri hem de bağlantı şemaları kullanılarak belirtilen bölgede GES kurulum imkânı vermektedir. Bu çalışmanın sonuçları YEK'larından elektrik enerji üreten sistemlerin dağıtım sistemine entegre edileceği projelere yol gösterecektir. Bu çalışma gerçek bir GES kurulabilecek konum seçilip gerçek bir dağıtım sistemi kullanılıp, gelecekte İstanbul'da kurulabilecek bir GES için ön çalışma niteliği taşımaktadır.

Bu çalışma, aşağıdaki ana aşamalardan oluşmaktadır:

- Belirlenen alanda kurulacak GES üretim bilgilerinin hesaplanması için bir benzetim programı kullanılarak alanın coğrafik konumu bilgisi ile beraber tasarımı yapılmıştır. Bu şekilde GES'nin yılın her ayı için toplam üretim bilgisine ulaşılır.
- İstanbul ili özelinde kurulacak bir GES'nin dağıtım sistemi güvenilirliğine etkileri kötü senaryo Ocak ayına ait üretim bilgileri, orta senaryo Mayıs ayına ait üretim bilgileri ve iyi senaryo Temmuz ayına ait üretim bilgileri kullanılarak gözlemlenmiştir. Bu şekilde GES'nin dağıtım sistemi güvenilirliğinde yarattığı iyileşme her durum için incelenmiştir.
- Bu çalışmayla GES'lerinin dağıtım sistemi güvenilirliğine etkilerini inceleyerek Türkçe literatürdeki eksik olan bir konuda literatüre katkı sunmak amaçlanmıştır.
- Oluşturulan modellerden en fazla enerjinin Temmuz ayında alınmasına rağmen sistem güvenliği ve analizi açısından en verimli ayın Mayıs olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada GES üretim, sistem bilgileri ve GES'nin bağlanabileceği dağıtım fiderinin günlük yük eğrisinin hesaplanması ile ilgili süreçler 2. bölümde, benzetim, güvenilirlik analizi ve analiz sonuçları ise 3. bölümde anlatılmıştır. Çalışmanın sonuç kısmı 4. bölümde sunulmuştur.

2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

2.1. Matematiksel Model (Mathematical Model)

Güç sistemi yöneticileri başlıca görevi, tüketicilere mümkün olduğunca ekonomik, kesintisiz ve kaliteli enerji sağlamaktır. Gelişen dünyada tüketici ihtiyaçları da değişmektedir. Elektrik enerjisi kullanımının hane başına artması güç sistemlerinin sınır değerlerde çalıştırılmasına neden olmaktadır. Bu durum güç sistemlerinde rastgele bileşen (donanım ve yazılım) arızalarına ve enerji kesintilerine neden olur. Enterkonnekte güç sistemlerinde üretimin iletiminin ve tüketimin bütünleştiği bir yapı vardır. Bu bütünleşik yapı şebekenin herhangi bir noktasında yaşanan arızalardan az sayıda tüketicinin etkilendiği gibi şebekenin büyük bir kısmına elektrik enerjisi sağlanamamasına neden olabilir. Bu kesintilerin hem ekonomik hem çevresel hem de toplumsal etkileri vardır. Güç sistemlerinde yaşanan kesintilerinin sıklığı, süresi, sağlanamayan enerji değeri olasılıksal modellemeler kullanılarak güvenilirlik analizleriyle belirlenir. Güç sistemlerinde yaşanabilecek kesintilerin sıklığı, süreleri ve ekonomik sonuçları, olasılıksal olarak yapılan güvenilirlik analizleri ile belirlenir (Kim vd., 2016).

Güç sistemlerinde güvenilirlik analizi üretim iletim ve dağıtım sistemleri olarak üç işlevsel bölgeye ayrılarak yapılır. Üretim ve iletim sistemlerinde güvenilirlik analizleri enerji yokluğu ve enerji yokluğu olasılığı gibi ölçütler kullanılarak yapılır. Buna karşın dağıtım sistemlerinde güvenilirlik analizleri temel ölçütler kullanılarak hesaplanır (Dhillon ve Singh, 1981; Billington ve Allan, 1988). Temel ölçütler;

- Yük noktası arıza oranı (λ),
- Ortalama arıza süresi (r) ve
- Yıllık kullanılamazlık (yokluk) (U).

Bu temel ölçütler eşitlik (1), (2) ve (3)'de verildiği gibi hesaplanır. Bu ölçütler yük noktasındaki tüketicilerin yaşadığı kesintileri belirlemek için kullanılır. Analiz edilen dağıtım sisteminin veya dağıtım fiderinin güvenilirlik ölçütleri sistemindeki bütün yük noktaları ve ekipmanlar dikkate alınarak hesaplanır. Bu hesaplamaların değişik ölçütler kullanılarak bütün sistemin güvenilirlik analizi yapılır (Billington ve Allan, 1996). Bu çalışmada Sistem Ortalama Kesinti Sıklığı İndisi (SAIFI), Sistem Ortalama Kesinti Süresi İndisi (SAIDI), Sağlanamayan enerji (ENS) ölçütleri kullanılmıştır. Bu ölçütlerin eşitlik (4), (5) ve (6)'de verildiği gibi hesaplanır. Ayrıca,

$$\lambda_s = \sum_i \lambda_i \quad (1)$$

$$U_s = \sum_i \lambda_i r_i \quad (2)$$

$$r_s = \frac{U_s}{\lambda_s} = \frac{\sum_i \lambda_i r_i}{\sum_i \lambda_i} \quad (3)$$

$$SAIFI = \frac{\text{Yıllık toplam kesintiye uğrayan tüketici sayısı}}{\text{Toplam tüketici sayısı}} = \frac{\sum_i \lambda_i N_i}{\sum_i N_i} \quad (4)$$

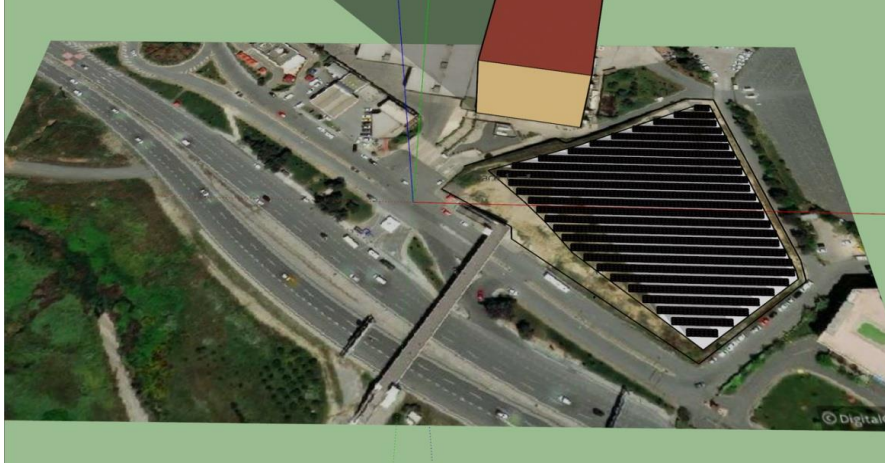
$$SAIDI = \frac{\text{Yıllık toplam kesintiye uğrayan tüketici sayısı}}{\text{Toplam etkilenen tüketici sayısı}} = \frac{\sum_i \lambda_i N_i}{\sum_i N_{ai}} \quad (4)$$

$$ENS = \text{Yıllık toplam sağlanamayan enerji} = \sum_i \lambda_i L_i \quad (6)$$

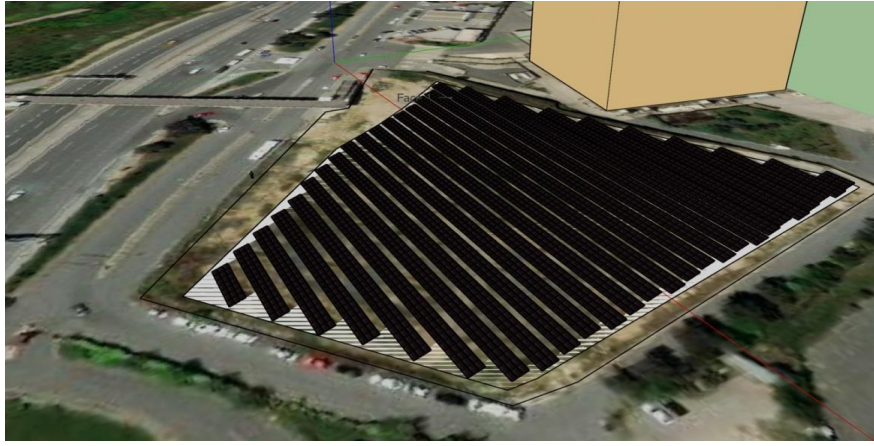
i yük noktası indisini, N_i ise i yük noktasındaki toplam tüketici sayısını, L_i ise i yük noktasındaki toplam yükü ifade eder. Bu çalışmada yukarıda anlatılan matematiksel alt yapı kullanılarak örnek dağıtım fiderinin güvenilirlik ölçütleri GES olmadan ve olduğu durumlar için Monte-Carlo benzetimi kullanılarak hesaplanır.

2.2. GES'nin Üretim Bilgileri (The Generation Information of The PV System)

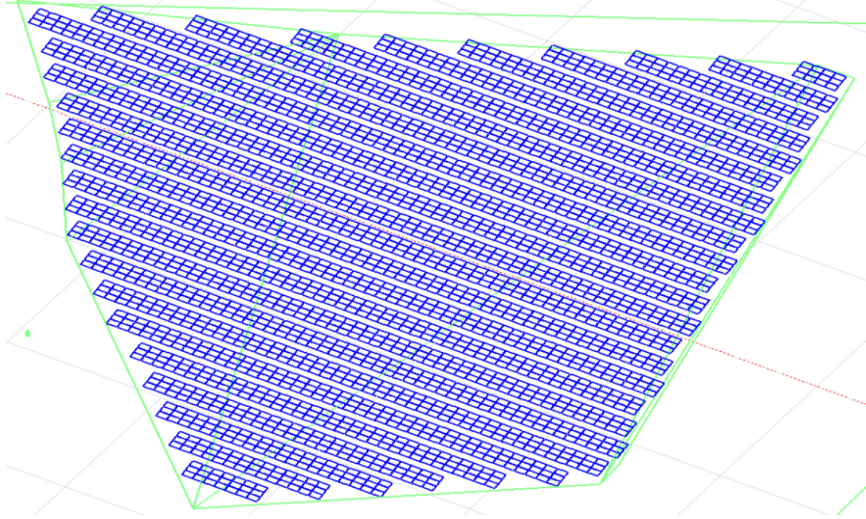
Bu çalışmada daha önce de belirtildiği gibi İstanbul ili Büyükçekmece ilçesi Hadımköy yolu caddesi yanında bulunmaktadır. Tasarımın konumu olarak 41°01'25" kuzey enlemi ile 28°37'29" doğu boylamı belirlenmiştir. GES'nin panellerinin eğimi 10° belirlenmiş, azimut açısı 13° olarak hesaplanmıştır. GES'nin 5113 m² alana kurulması planlanmıştır. Bu alanda 3014 adet Canadian Solar 320 Wp panel kullanılarak ABB 5 kW invertörün seçilmiştir. GES'nin tasarımı bir benzetim programı kullanılarak Şekil 1 ve Şekil 2'de verildiği gibi çizilmiştir. Ayrıca, GES'nin panellerinin tasarım yerleşimini Şekil 3'de, GES'in yapılması planlanan konumun iso gölgelendirmesi Şekil 4'de verilmiştir.



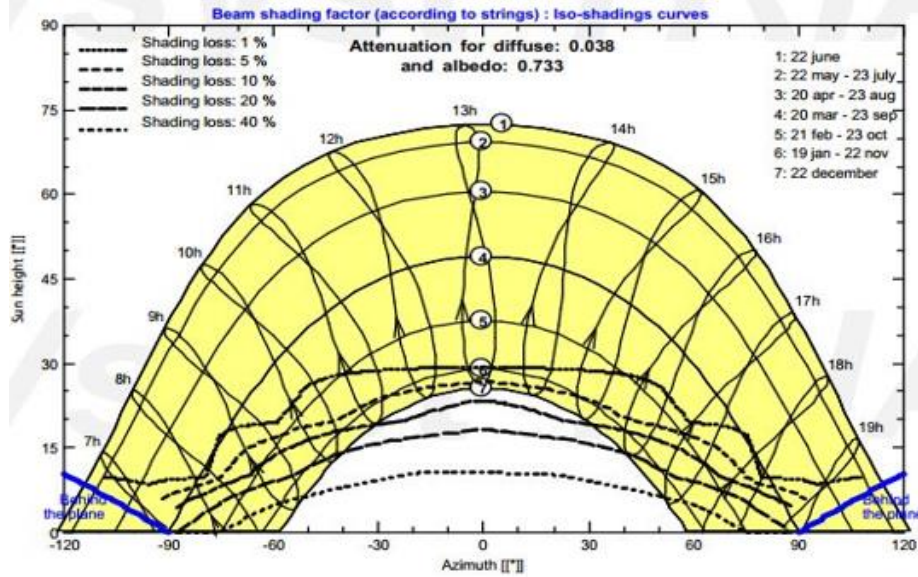
Şekil 1. GES'nin bir tasarım programında Çizimi-1 (The drawing of the PV system with a simulation program -1)



Şekil 2. GES'nin bir tasarım programında Çizimi-2 (The drawing of the PV system with a simulation program -2)



Şekil 3. GES 'nin yerleşimi (The allocation of PV system)

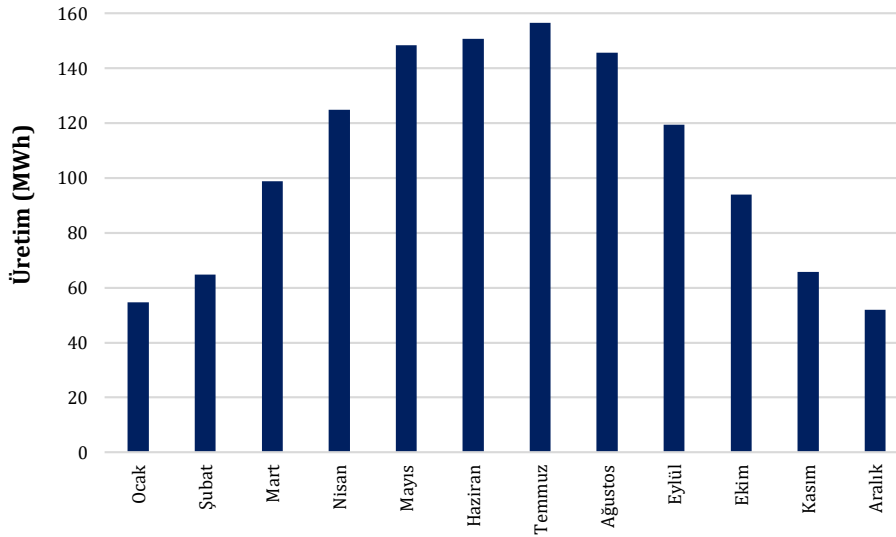


Şekil 4. GES'nin bulunduğu konumun iso gölgelendirmesi (The iso curve of the location of PV system)

GES'nin bir yıllık üretimi bir benzetim programı kullanılarak daha önce verilen bilgilerle hesaplanmıştır. GES'nin aylara göre üretimi Tablo 1'de verildiği gibi bulunmuştur, ayrıca Şekil 7'de görselleştirilmiştir. Tablo 1'de de görüldüğü gibi GES en yüksek üretime Temmuz ayında 156.60 MWh değerine ulaşırken, Aralık ayında 51.96 MWh değerinde kalmıştır.

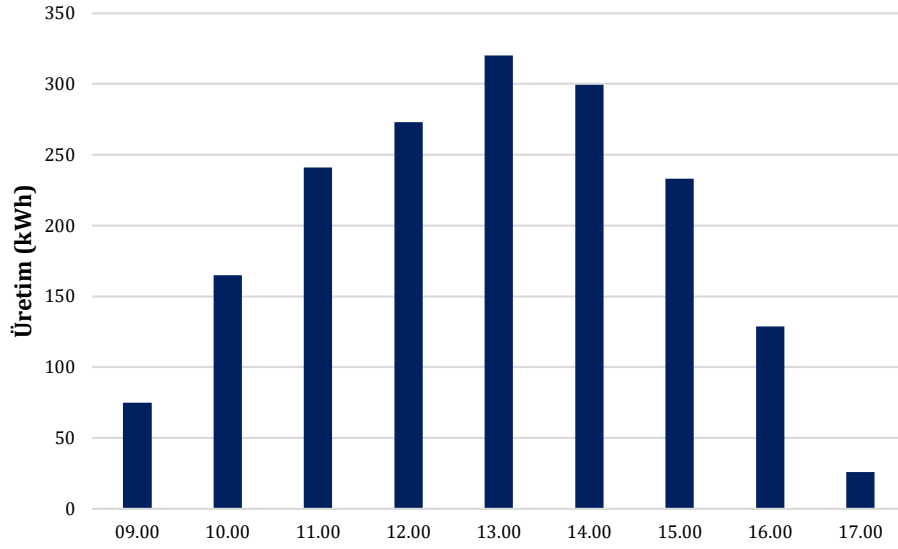
Tablo 1. GES'nin aylık üretimi (Monthly generation of the PV system)

Aylar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Üretim (MWh)	54.62	64.91	98.78	124.81	148.34	150.84	156.60	145.76	119.55	93.89	65.83	51.96

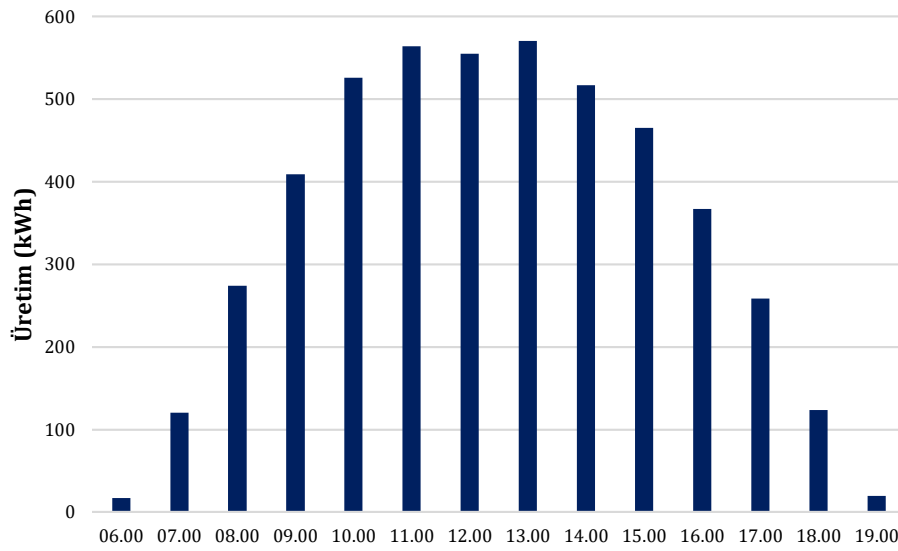


Şekil 5. GES'nin aylık üretimi (Monthly generation of the PV system)

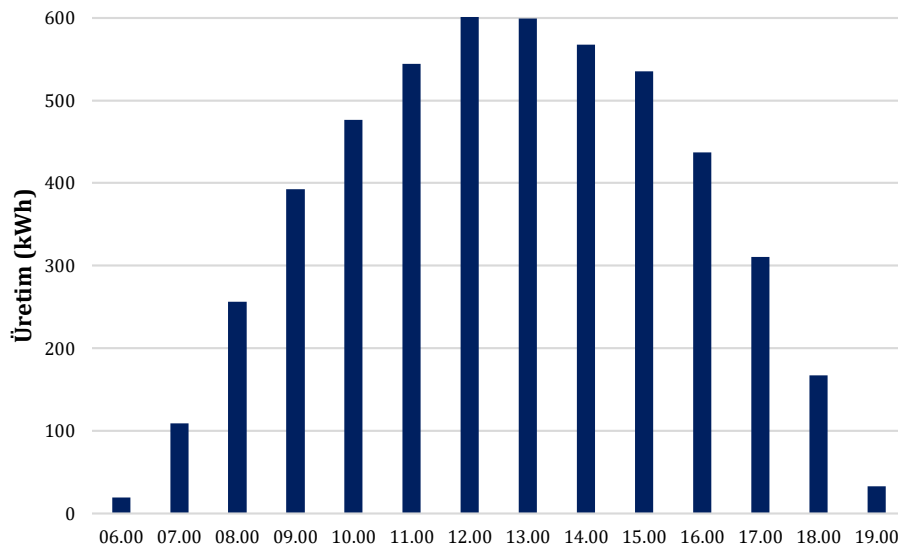
GES'nin dağıtım sisteminin güvenilirliğine etkilerini gözlemlemek için kötü, orta ve iyi senaryolar için sırasıyla GES'nin Ocak, Mayıs ve Temmuz üretimine odaklanılmıştır. GES'nin gün içi saatlerdeki ortalama değerleri benzetim programının sonuçları kullanılarak bulunmuştur. Bulunan üretim değerleri Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8'de verildiği gibidir. Bu üretim değerleri gün için saatler için ortalama üretim değerleridir.



Şekil 6. GES'nin Ocak ayına ait ortalama üretimi (Daily average generation of the PV system for January)



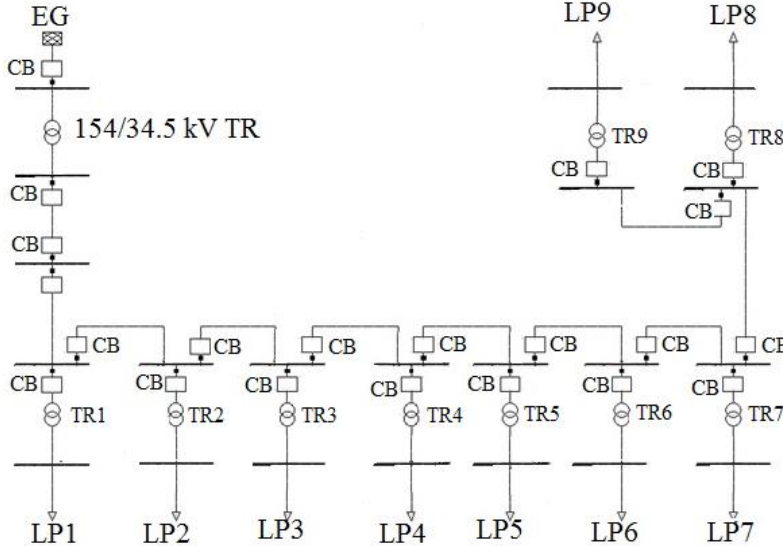
Şekil 7. GES'nin Mayıs ayına ait ortalama üretimi (Daily average generation of the PV system for May)



Şekil 8. GES'nin Temmuz ayına ait ortalama üretimi (Daily average generation of the PV system for July)

2.3 Dağıtım Fiderinin Bilgileri (Distribution Feeder Configuration)

GES'nin bağlanabileceği dağıtım fiderinin bilgileri BEDAŞ tarafından sağlanmıştır. Bu bilgiler dağıtım fiderinin tek hat şeması (Şekil 9), yük noktalarının yük ve tüketici bilgileri (Tablo 2), 34.5/0.4 kV transformatörlerin anma değerleri (Tablo 3) ve dağıtım fider elemanlarının arıza oranı ve ortalama onarım süre bilgileri (Tablo 4) içermektedir. Bu şebekede 9 adet 34.5/0.4 kV trafo merkezi (Transformer – TR) 9 adet yük noktasının (Load Point – LP) fider ile bağlantısını sağlamaktadır. Ayrıca devrede koruma ekipmanı olarak kesiciler (Circuit Break – CB) bulunmaktadır. Şekil 9'da harici şebeke (External Grid - EG) olarak belirtilen kısım fiderin bağlı olduğu iletim sistemini ifade etmektedir.



Şekil 9. Dağıtım Fiderinin Tek Hat Şeması (The Single Line Diagram of The distribution Feeder)

Tablo 2. Yük noktalarındaki maksimum yük ve tüketici bilgileri (Maximum load and number of consumer at load points)

Aylar	LP1	LP2	LP3	LP4	LP5	LP6	LP7	LP8	LP9
Yük (kVA)	125.32	1553.54	227.85	508.85	115.22	116	388.39	336.81	150
Tüketici Sayısı	333	1333	333	417	333	210	333	210	1

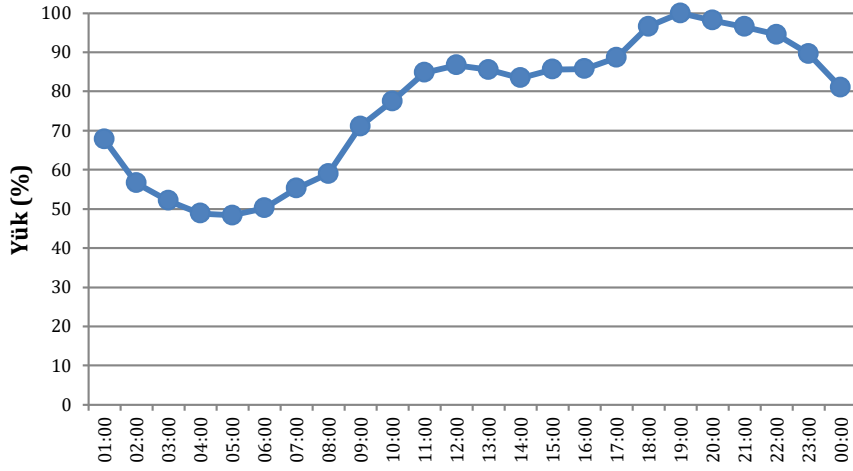
Tablo 3. 34.5/0.4 kV Transformatörlerin anma gücü bilgileri (Power rating of 34.5/0.4 kV transformers)

Aylar	TR1	TR2	TR3	TR4	TR5	TR6	TR7	TR8	TR9
Güç (kVA)	1000	4000	1000	1250	1000	630	1000	630	1000

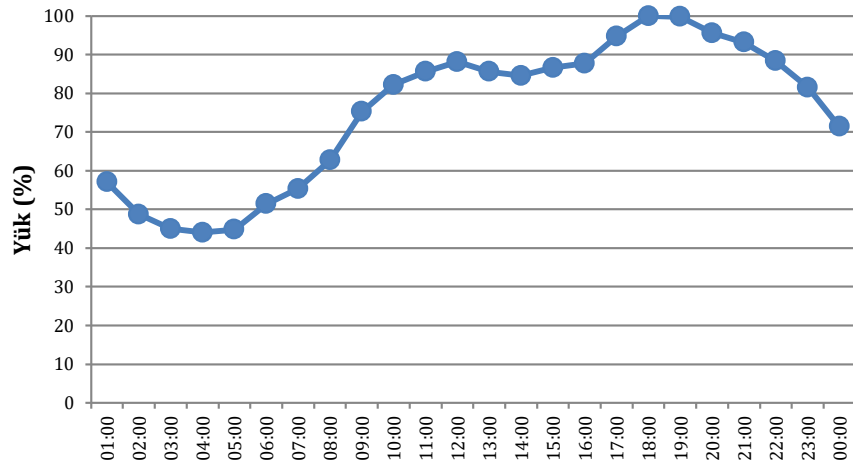
Tablo 4. Dağıtım fider elemanlarının arıza oranı ve ortalama onarım süre bilgileri (Failure rate and repair time of each element in distribution feeder)

Aylar	Harici Şebeke	Dağıtım Transformatörleri	Bara	Kablo
λ (1/yıl) [Kablo için 1/(yıl.km)]	0.1	0.5	0.25	0.75
r (saat/yıl)	8.7	3	4	4

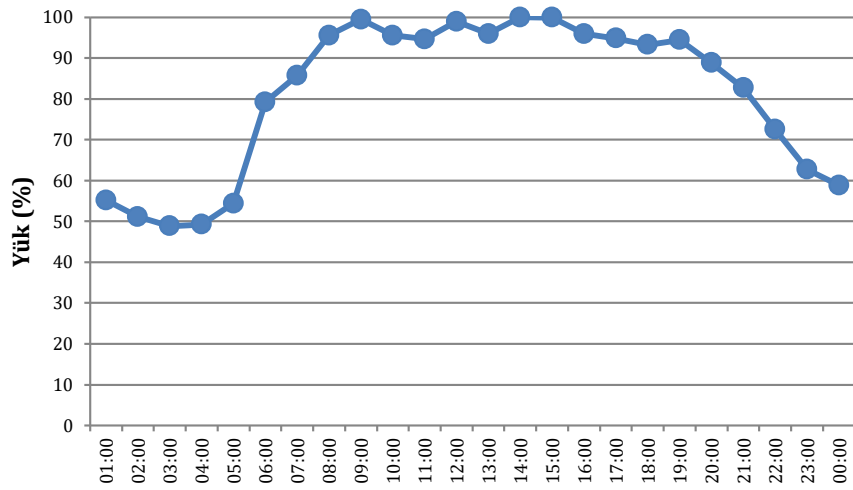
Ayrıca BEDAŞ tarafından sağlanan veri kullanılarak kış, yaz ve bahar aylarına ait dağıtım fiderinin günlük yük eğrileri elde edilmiştir. Dağıtım fiderinin bulunduğu bölgenin yük karakteri %60 işletme, %40 meskendir. Her mevsim kendi ayları içinde gruplandırılarak oluşturulmuş, yük eğrileri yüzdeler olarak gösterilmiştir. Her mevsimin puant yük değeri farklıdır, Bu değer kış mevsimi için 3.42 MVA, bahar mevsimi için 2.84 MVA, yaz mevsimi için 2.32 MVA'dır. Ayrıca belirtilen üç mevsim için hesaplanan günlük yük eğrisi Şekil 10, Şekil 11 ve Şekil 12'de verilmiştir.



Şekil 10. Kış ayları için dağıtım fideri yük eğrisi (Daily load curve of the distribution feeder for winter months)



Şekil 11. Bahar ayları için dağıtım fideri yük eğrisi (Daily load curve of the distribution feeder for spring months)



Şekil 12. Yaz ayları için dağıtım fideri yük eğrisi (Daily load curve of the distribution feeder for summer months)

3. Benzetim Sonuçlar (Experimental Results)

Kurulan GES'in üretim hesaplamaları ve üretim sonuçları bir önceki bölümde ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Güvenilirlik analizi için oluşturulan GES'in, Şekil 5'de verilen dağıtım fideri tek hat şemasında belirtilen LP9 noktasına bağlanması planlanmıştır. GES'in bu fiderin güvenilirlik ölçütlerine yarattığı iyileşmenin hesaplanabilmesi için öncelikle GES'nin sisteme dâhil olmadan fiderin sistem ve yük noktası güvenilirlik ölçütleri hesaplanmıştır. Sistemin temel durumuna ait bilgiler Tablo 5'de gösterilmiştir. Bu tabloda SAIFI ve LPIF

ölçütlerinin birimi $\frac{\text{arıza (failure)}}{\text{müşteri (customer).yıl (year)}} \left(\frac{f}{c.y}\right)$ 'dır, SAIDI ve LPID ölçütlerinin birimi $\frac{\text{saat (hour)}}{\text{müşteri (customer).yıl (year)}} \left(\frac{h}{c.y}\right)$ 'dır, ENS ve LPENS ölçütlerinin birimi $\frac{MWh}{\text{yıl (year)}} \left(\frac{MWh}{y}\right)$ 'dır.

Tablo 5. Temel durum için güvenilirlik ölçütleri (Base case reliability indices)

Fider Güvenilirlik İndeksleri		Yük Noktası Güvenilirlik İndeksleri	Yük Noktaları								
			LP1	LP2	LP3	LP4	LP5	LP6	LP7	LP8	LP9
SAIFI $\left(\frac{f}{c.y}\right)$	5.87	LPIF $\left(\frac{f}{c.y}\right)$	2.92	3.92	4.92	5.92	6.92	7.92	8.92	9.92	11.17
SAIDI $\left(\frac{h}{c.y}\right)$	23.44	LPID $\left(\frac{h}{c.y}\right)$	11.64	15.64	19.64	23.64	27.64	31.64	35.64	39.64	44.64
ENS $\left(\frac{MWh}{y}\right)$	60.28	LPENS $\left(\frac{MWh}{y}\right)$	1.06	17.74	3.27	8.78	2.32	2.68	10.10	1.12	10.97

GES dağıtım fiderine bağlandığı durumda dağıtım sisteminin güvenilirlik ölçütlerinde yarattığı iyileşme 3 farklı ayın ortalama günlük üretim bilgileri kullanılarak oluşturulan kötü (Ocak), orta (Mayıs) ve iyi (Temmuz) senaryoları için güvenilirlik ölçütleri tekrar hesaplanmıştır. Bu hesaplamada dağıtım sistemindeki bütün ekipmanların arıza sıklıkları ve arıza süreleri dikkate alınarak olasılıksal bir modellemeyle hesaplanmıştır. Güvenilirlik analizi hesaplamaları GES sisteme dahil olduğu durum için de sistemde olmadığı durum için aynı hesaplama yöntemi kullanılmıştır. Bölüm 2.1'de verilen güvenilirlik ölçütlerinin matematiksel formülleri güvenilirlik analizinin her aşamasında kullanılmıştır. Belirlenen senaryolar GES'nin üretimi değerlerine göre kötü, orta ve iyi olarak belirlenmiştir. Bunun sonucunda hesaplanan güvenilirlik ölçütleri Tablo 6, Tablo 7, Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 6. Kötü senaryo için güvenilirlik ölçütleri (Worst case reliability indices)

Fider Güvenilirlik İndeksleri		Yük Noktası Güvenilirlik İndeksleri	Yük Noktaları								
			LP1	LP2	LP3	LP4	LP5	LP6	LP7	LP8	LP9
SAIFI $\left(\frac{f}{c.y}\right)$	5.78	LPIF $\left(\frac{f}{c.y}\right)$	2.92	3.92	4.92	5.92	6.92	7.92	8.92	9.5	9.77
SAIDI $\left(\frac{h}{c.y}\right)$	23.10	LPID $\left(\frac{h}{c.y}\right)$	11.64	15.64	19.64	23.64	27.64	31.64	35.64	37.99	39.06
ENS $\left(\frac{MWh}{y}\right)$	58.74	LPENS $\left(\frac{MWh}{y}\right)$	1.06	17.74	3.27	8.78	2.32	2.68	10.10	1.07	9.44

Tablo 7. Orta senaryo için güvenilirlik ölçütleri (Moderate case reliability indices)

Fider Güvenilirlik İndeksleri		Yük Noktası Güvenilirlik İndeksleri	Yük Noktaları								
			LP1	LP2	LP3	LP4	LP5	LP6	LP7	LP8	LP9
SAIFI $\left(\frac{f}{c.y}\right)$	5.53	LPIF $\left(\frac{f}{c.y}\right)$	2.92	3.92	4.92	5.92	6.92	7.92	8.18	6.20	6.98
SAIDI $\left(\frac{h}{c.y}\right)$	22.06	LPID $\left(\frac{h}{c.y}\right)$	11.64	15.64	19.64	23.64	27.64	31.64	32.67	24.78	27.90
ENS $\left(\frac{MWh}{y}\right)$	55.08	LPENS $\left(\frac{MWh}{y}\right)$	1.06	17.74	3.27	8.78	2.32	2.68	9.29	0.70	6.87

Geliştirilen senaryolardaki GES'nin dağıtım sistemi güvenilirliğinde yarattığı iyileşme Tablo 9'da verildiği gibidir. Dağıtım fiderine bağlanan 1 MW güce sahip GES'nin dağıtım sistemi güvenilirlik ölçütlerinden ENS ölçütünde 8%'e varan, SAIDI ve SAIFI ölçütlerinde %6'ya varan iyileşmeler yarattığı bu çalışmanın önemli sonuçlarıdır. Ayrıca, Tablo 10'da verildiği gibi GES'nin yük noktalarının LPENS ölçütünde yarattığı iyileşme gösterilmektedir. GES'nin kapasitesi arıza veya kesinti durumunda LP7, LP8 ve LP9 yük noktalarının enerji ihtiyacını

karşılayabildiğinden bu noktaların güvenilirlik ölçütüne katkı Tablo 10'da gösterilmiştir. Bu tabloda görüldüğü gibi yük noktalarında %42'ye varan iyileşme sağlanması bir GES ile mümkündür.

Tablo 8. İyi senaryo için güvenilirlik ölçütleri (Best case reliability indices)

Fider Güvenilirlik İndeksleri		Yük Noktası Güvenilirlik İndeksleri	Yük Noktaları								
			LP1	LP2	LP3	LP4	LP5	LP6	LP7	LP8	LP9
SAIFI ($\frac{f}{c.y}$)	5.56	LPIF ($\frac{f}{c.y}$)	2.92	3.92	4.92	5.92	6.92	7.92	8.91	5.79	6.51
SAIDI ($\frac{h}{c.y}$)	22.20	LPID ($\frac{h}{c.y}$)	11.64	15.64	19.64	23.64	27.64	31.64	35.64	23.12	26.04
ENS ($\frac{MWh}{y}$)	55.31	LPENS ($\frac{MWh}{y}$)	1.06	17.74	3.27	8.78	2.32	2.68	10.10	0.65	6.36

Tablo 9. GES'nin sistem güvenilirlik ölçütlerinde yarattığı yüzdelik iyileşme (Percentage reliability improvement created by PV system on system reliability indices)

	SAIFI	SAIDI	ENS
OCAK	1,533	1,45	2,554
MAYIS	5,792	5,887	8,626
TEMMUZ	5,281	5,29	8,244

Tablo 10. GES'nin LPENS Güvenilirlik Ölçütlerinde yarattığı yüzdelik iyileşme (Percentage Reliability Improvement Created by PV system on System Reliability Indices)

	SAIFI	SAIDI	ENS
OCAK	0	4,464	13,947
MAYIS	8,019	37,5	37,374
TEMMUZ	0	41,964	42,023

4. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Karbon emisyonunu azaltılması için oluşan farkındalık ve pandemi kaynaklı fosil kaynakların fiyatlarındaki artış GES gibi YEK kullanarak enerji üretiminin güç sistemlerindeki payının artmasına katkıda bulunacaktır. Ülkemizde de yerli üretimin desteklenmesinin en önemli adımı yerli ve YEK'larından elektrik enerjisi üretmekten geçmektedir. Bu noktadan yola çıkarak İstanbul gibi bir metropolde kurulabilecek bir GES'nin dağıtım sistemine nasıl bir katkı sunduğu güvenilirlik analizi bakış açısından ortaya konmuştur. Bu çalışmanın en önemli katkılarından biri türkçe mühendislik literatüründe bulunmayan bir konu olan GES'lerinin dağıtım sistemi güvenilirliğine etkilerinin incelenmesidir.

Çalışma sonucundan ulaşılan sonuçlar tek bir GES'nin dağıtım sisteminin küçük bir parçasında %8 daha az elektrik enerjisinden mahrum kalmasını sağladığını göstermektedir. Aynı şekilde GES'nin kurulduğu bölgedeki kullanıcıların bu durumdan daha fazla fayda elde ederek yaklaşık %42 oranında daha az elektrik enerjisinden mahrum kalmasını sağlamaktadır.

Oluşturulan 3 senaryonun temel amacı GES'nin mevsimsel koşullara çok duyarlı olmasından dolayıdır. Fakat bu çalışmanın sonuçları en yüksek üretimin yapıldığı Temmuz ayında sağlanan sistem güvenilirliğindeki iyileşme Mayıs ayında sağlanandan daha azdır. Tespit edilen bu durumun en önemli nedeni tüketicilerin enerjiye ihtiyaç duydukları zaman aralığındaki farktır. Özellikle rüzgar ve güneş kaynaklı elektrik enerjisi üretiminin kesikli bir yapısının olmasının önüne depolama birimleriyle geçilebilir. Gelecek çalışmalarında depolama birimlerinin de dahil edileceği bir sistemde optimum enerji yönetimiyle GES'lerinin güç sistemi güvenilirliğine etkilerinin incelenmesi temel hedeftir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Boğaziçi Elektrik Dağıtım A.Ş'ye (BEDAŞ) bu çalışmaya örnek bir dağıtım şebekesinin istatistiksel ve teknik verilerini sağlayarak katkıda bulunduğu için teşekkürlerimizi sunarız.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Aminifar, F., Shahidehpour, M., Alabdulwahab, A., Abusorrah, A., Al-Turki, Y., 2020. The Proliferation of Solar Photovoltaics: Their Impact on Widespread Deployment of Electric Vehicles. *IEEE Electrification Magazine*, 8(3), 79–91.
- Barker, P. P., & Bing, J. M., 2005. Advances in solar photovoltaic technology: An applications perspective. *2005 IEEE Power Engineering Society General Meeting*, 2, 1955–1960.
- Billinton, R., Allan, R. N., 1988. *Reliability Assessment of Large Electric Power Systems*. US, Springer.
- Billinton, R., Allan, R. N., 1996. *Reliability Evaluation of Power Systems*. New York, Springer.
- Bouhouras, A. S., Marinopoulos, A. G., Labridis, D. P., Dokopoulos, P. S., 2010. Installation of PV systems in Greece—Reliability improvement in the transmission and distribution system. *Electric Power Systems Research*, 80, 547–555.
- Dhillon, B. S., Singh, C. 1981. *Engineering Reliability: New Techniques and Applications*. John Wiley & Sons Inc.
- Esan, A. B., Agbetuyi, A. F., Oghorada, O., Ogbeide, K., Awelewa, A. A., Afolabi, A. E., 2019. Reliability assessments of an islanded hybrid PV-diesel-battery system for a typical rural community in Nigeria. *Heliyon*, 5.
- Güner, S. 2018. Elektrikli Araç Otoparklarının Dağıtım Sistemi Güvenilirliğine Etkilerinin İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye.
- Honarmanda, M., Zakariazadeha, A., Jadid, S., 2015. Self-scheduling of Electric Vehicles in an Intelligent Parking Lot Using Stochastic Optimization. *Journal of the Franklin Institute*, 352, 449-467.
- Hsu, C. T., Tsai, L. J., Cheng, T. J., Chen, C. S., Hsu, C. W., 2013. Solar PV generation system controls for improving voltage in distribution network. *ISNE 2013 - IEEE International Symposium on Next-Generation Electronics 2013*, 486–489.
- Iga, A., Kaneko, T., Ishihara, Y., 2002. Research of an evaluation method of photovoltaic output and generated energy connected with a power grid. *IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition*, 3, 1641–1646.
- Kim, E., Kim, Y., Ko, W., 2016. A dynamic electricity tariff survey for smart grid in South Korea. *The 20th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics (WMSCI 2016)*, USA, Orlando, Florida, Temmuz 5–8.
- López-Prado, J. L., Vélez, J. I., Garcia-Llinás, G. A., 2020. Reliability Evaluation in Distribution Networks with Microgrids: Review and Classification of the Literature. *Energies*, 13(23).
- Mollah, M. B. 2012. An analysis, design and opportunity of solar based recharging stations for electric vehicles in Bangladesh. *Proceedings of 2nd International Conference on the Developments in Renewable Energy Technology, ICDRET 2012*, 43–47.
- Nguyen, H. X., Tsuji, T., 2019. Multi-layer Reactive Power Control of Solar Photovoltaic Systems in MV Distribution Network. *Proceedings of 2019 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe, ISGT-Europe 2019*.
- Ostovar, S., Esmaili-Nezhad, A., Moeini-Aghaie, M., Fotuhi-Firuzabad, M., 2021. Reliability assessment of distribution system with the integration of photovoltaic and energy storage systems. *Sustainable Energy, Grids and Networks*, 28.
- Singh, R., Tripathi, P., Yatendra, K., 2019. Impact of Solar Photovoltaic Penetration In Distribution Network. *2019 3rd International Conference on Recent Developments in Control, Automation and Power Engineering, RDCAPE 2019*, 551–556.
- Stember, L. H., Huss, W. R., Bridgman, M. S., 1982. A Methodology for Photovoltaic System Reliability & Economic Analysis. *IEEE Transactions on Reliability*, R-31(3), 296–303.
- Thomas, N., Jayabarathi, R., Nambiar, T. N. P., 2018. Effect of Line Impedance and Loading on Voltage Profile in Distribution Network with Distributed Solar Photovoltaic System. *Proceedings of the 3rd International Conference on Communication and Electronics Systems, ICCES 2018*, 962–968.
- Zainal, Z., Ang, S. P., Salam, M. A., Weira, P. J., Goh, R., 2013. Measurement of harmonics in different sectors on 11 kV distribution networks. *IEEE Region 10 Annual International Conference, Proceedings/TENCON*.