

## Güneş Enerjisi Santralleri İçin İyileştirilmiş Önleyici Bakım Planlaması

Halil Karayel<sup>1\*</sup>, Ahmet Aktaş<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Enerji Sistemleri Mühendisliği / Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniveristesi, Türkiye

<sup>2</sup>Enerji Sistemleri Mühendisliği / Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniveristesi, Türkiye

Email of corresponding author: [halil.karayel@gazi.edu.tr](mailto:halil.karayel@gazi.edu.tr)

(Received: 04 March 2024, Accepted: 08 March 2024)

(4th International Artificial Intelligence and Data Science Congress ICADA 2024, March 14-15, 2024)

**ATIF/REFERENCE:** Karayel, H. & Aktaş, A. (2024). Güneş Enerjisi Santralleri İçin İyileştirilmiş Önleyici Bakım Planlaması. *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches*, 8(2), 74-81.

**Özet** – Son yıllarda artan çevresel felaketler, iklim değişiklikleri, doğal afetlerin üzerine bir de savaşların eklenmesi enerji krizlerini beraberinde getirdi. Bu gelişmeler ve olumsuz durumlar üzerine ülkeler birleşip yeni senaryolar ile yeni enerji planlarını yayınladı. Bu yeni enerji senaryolarında ve gelecek planlamalarında güneş enerji santrallerinin en büyük payı oluşturacağı görülmektedir. Güneş enerjisi santrallerinin kullanımının artan büyüme oranı, amacı maliyet etkin bir şekilde enerji üretmeyi sağlamak olan yatırımcıların, devlet kurumlarının ve diğer paydaşların bu konuda yeni sistemsel değişikliklere gitmesine sebep oldu. Öngörülen bu enerji geçişi ise beraberinde getirdiği enerji arzı güvenliğini sağlamadaki eksi yönleri nedeniyle mevcut kaygıları artırdığı söylenebilir. Bu öngörülen olumsuz durumlar, güvenilirlik, tesis ve makine bileşen arızalarının tespiti yoluyla sürekli çalışmayı sağlayan ve endüstriyel sistemlerde sürdürülebilir üretim için önemli bir parametre olan bakım işlemini çok daha önemli hale getirmektedir. Sistemin güvenilirliğini artırmak için en iyi kombinasyon önleyici bakım aralıkları ile değiştirilen bileşenlerin optimize edilmesi ile belirlenen seçici ve önleyici bakım eylemlerinin optimizasyonu- sağlanarak uygun bakım planlarını oluşturulmalıdır. Bu çalışmanın amacı bir güneş enerjisi santrali sisteminin kullanılabilirliğini en üst düzeye çıkaran önleyici bakım planlaması için yeni bir model önermektir. Bu yeni modeli oluşturmak için ise tahmin metodlarının optimum seviyede uygulandığı makine öğrenmesinde kullanılan yeni teknolojileri tesislerin bakım sistemlerine entegrasyonu temel alınmıştır. Uzun zaman sürecinde alınmış olan anlamlı veriler kullanılarak arızalara sebep olan ve verimliliği düşüren faktörler uygun analizlerle tespit edilerek doğru bir metod geliştirme yapılabileceği amaçlanmıştır. Kurulan iyileştirilmiş bakım sistemleriyle enerji arz güvenliğini sağlayan, verimli, bakım ve işletme maliyetini düşüren bir yapı oluşturulmasına zemin hazırlaması beklenilmektedir.

**Anahtar Kelimeler** – Önleyici Bakım, Güneş Enerjisi Santrali, Öngörücü Bakım, Makine Öğrenimi, Arıza Tespiti

### I. GİRİŞ

Geçtiğimiz birkaç yıl içerisinde Dünyanın dört bir yanındaki tüketiciler daha yüksek enerji faturalarına ve arz kıtlıklarına maruz kalmış; bu da güvenli, uygun maliyetli ve insan merkezli enerji geçişlerinin önemini ve bu geçişleri baltalayabilecek riskleri net bir şekilde ortaya çıkarmıştır. Enerji güvenliğine yönelik daha önceden bilinen risklerin enerji geçişlerinde ortadan kalkmamasının yanı sıra, yenilenebilir kaynaklar açısından zengin bir sistemde potansiyel yeni zayıf noktaların da mevcut risklere ekleneceği görülmektedir. Ayrıca değişen iklimimizin hava durumu düzenleri üzerinde yarattığı etkinin yanı sıra yeni riskler de ortaya çıkmaktadır [1].

Bu risklerin minimuma indirilmesi ve enerji arz güvenliğinin sürekli sağlanabilmesi için yenilenebilir enerjinin bakım ve işletmesinin yeni modellerle geliştirilmesi büyük önem arz etmektedir [2]. Bakım güvenilirlik, tesis ve makine bileşen arızalarının tespiti yoluyla sürekli çalışmayı sağladığından endüstriyel sistemlerde sürdürülebilir üretim için önemli bir parametredir. Sistemin güvenilirliğini artırmak için en iyi kombinasyon yani optimum önleyici bakım aralıkları ile optimum değiştirilen bileşenler belirlenerek seçici ve önleyici bakım eylemlerinin optimizasyonu sağlanarak uygun bakım planlarını oluşturmaktır. Bu çalışmanın amacı bir güneş enerjisi santrali sisteminin kullanılabilirliğini en üst düzeye çıkaran Önleyici Bakım Planlaması için yeni bir model önermektir.

#### *Problem durumu / Konunun tanımı*

Bu çalışma kapsamında önerilecek olan model herhangi bir bakım periyodunda bakımı yapılacak sistemdeki bileşenleri belirler. Bu çalışmanın özgünlüğü optimum sayıda önleyici bakım eylemi için en iyi kombinasyonun yanı sıra hangi bileşenlerin değiştirileceğini belirleyerek birleşik bir önleyici ve seçici bakım stratejisini dikkate almasıdır. Buna göre fotovoltaik sistemi yeni gibi iyi bir duruma getiren bu işlem sırasında tüm bileşenler değiştirildiğinde mükemmel bir önleyici bakım işlemi gerçekleştirildiği düşünülür. Aksi takdirde kusurlu bir önleyici bakım eylemi olarak kabul edilir.

#### *Araştırmanın amacı*

Bu çalışmanın amacı bir güneş enerji santralleri sisteminin kullanılabilirliğini en üst düzeye çıkaran Önleyici Bakım Planlaması için yeni bir model önermektedir.

#### *Varsayımlar / Sayıtlar*

- Sistem ve içindeki bileşenler ikili durumda, yani ya çalışıyorlar ya da arızalanıyorlar.
- Bir görev sırasında bir bileşen arızalandığında minimum onarım gerçekleştirilir.
- Değiştirildikten sonra, bir bileşen "yeni kadar iyidir". Minimal onarım yapıldığında "eski kadar kötü" hale gelir.
- Tüm arızaların rastgele ve bağımsız olduğu varsayılır.
- Elektrikli bileşenlerin arızalanması için, güvenilirlik sabit bir arıza oranı ile üstel olarak dağıtılırken, diğer arıza türleri için Weibull dağılımı kullanılır.
- Aynı bileşenlerin arıza oranı aynıdır.
- Çeşitli nedenleri olan ekipman için güvenilirliğin, tüm nedenlerin güvenilirliğinin ürünü olduğu varsayılır.

#### *Sınırlılıklar*

Bakım modellerini son kullanıcıya ulaştırmak belirli zorlukları beraberinde getirir. Bunun ana sebepleri eğitim ve yetki (bakım disiplindeki zayıf geleneksel yaklaşım) zayıflığı, metotların karmaşıklığı ve bakım optimizasyonundaki güvenilirlik çalışmalarının maliyet etkin olmasındaki şüphelerdir.

Etkin çalışan tam bir bakım yapılanmasının oluşturulması ve bu yapılanmanın güvenilirlik metotlarının başarısında veri toplama ve analizi çok önemlidir [3]. Veri analizindeki temel sorun ise, veri tabanı kalitesinin gerekli bilgiye erişmek için birçok kişiye bağlı olmasıdır. Bu durum işi zorlaştırır çünkü zaman ve kaynak gerektirir. Doğru ve verimli verilere ulaşıldığında yeni teknolojiler kullanılarak çok nitelikli çalışan öngörücü ve tahmin edici bakım yöntemleri kullanılabilir hale gelebilir.

## II. GÜNEŞ ENERJİSİ İÇİN MEVCUT KÜRESEL DURUM

Yenilenebilir enerjiden elde edilen elektrik enerjisinin payının, diğer enerji üretim merkezleriyle kıyaslandığında, gün geçtikçe arttığı gözlemlenmektedir. Yenilenebilir enerji içerisinde de güneş enerjisinden elde edilen enerji son yılları referans aldığımızda oldukça artış göstermektedir. Güneş enerjisinin küresel elektrik enerjisi üretimine katkısı. Tablo 1'deki çizelgeden görülmektedir. 2010 yılında dünyada 32 TWh olan güneş enerjisinden enerji üretimi 2022 yılında 1291 TWh değerlerine geldiği görülmektedir. 2010 yılında tüm yenilenebilir enerjiden elde edilen değerlerin %0,7 değerlerinde iken 2022 yılında 1291 TWh enerji üretimi ile tüm yenilenebilir enerjiden elde edilen payını %15'e çıkarmıştır. 12 yılda payını %14,3 artırmıştır [4].

Tablo 1. Yıllara göre farklı bölgelerdeki küresel güneş enerjisinden elde edilen elektrik enerji kapasitelerinin karşılaştırılması [4]

	Enerji Üretimi (TWh)			
	2010	2022	2030	2050
<b>Toplam Üretim</b>	21533	29033	35802	53985
Yenilenebilir Enerjiler	4209	8599	16915	37973
<i>Güneş enerji santrali</i>	32	1291	5405	17220
<i>Rüzgar enerji santrali</i>	342	2125	5229	11801
<i>Hidroelektrik santral</i>	3456	4378	4981	6351
<i>Biyoenerji santrali</i>	309	687	1073	1746
<i>Jeotermal santrali</i>	68	101	175	439
Nükleer Santraller	2756	2682	3351	4353
Hidrojen	0	0	22	91
Fosil yakıtlardan santraller	14479	17636	15406	11373
<i>Kömür santralleri</i>	8669	10427	8333	4949
<i>Dağalgaz santralleri</i>	4847	6500	6611	6150
<i>Petrol Santralleri</i>	963	709	462	274

Tüm Enerji üretim tesisleri ile kıyaslandığında da güneşten elde edilen enerjinin küresel payı %4'tür. APS senaryosu verilerinde önümüzdeki yıllarda bu payın gittikçe artması gerektiği savunulmuştur. APS Senaryosuna göre 2030 yılında Tüm Enerji üretim tesisleri içerisindeki küresel payı %15, 2050 yılında ise %32 olarak planlanmıştır. [4]

### III. GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİNDE BAKIM ÇALIŞMALARI

Enerji şu an günümüzde ülkeler için en önemli stratejik parametredir. Bu öneminden dolayı ülkeler gelecek politikalarını ancak enerji güvenliğini sağlayabildikleri kadarıyla gerçekleştirilebilirler. Güvenilirlik, üç ana kavramı içerir; güvenilirlik (reliability), sürdürülebilirlik (maintainability) ve hazır-oluş (availability). Sistemlerin etkinliğinin ölçülmesinde güvenilirlik ve sürdürülebilirlik önemlidir. Güvenilirlik ve bakım yapılabilirlik arasındaki en büyük fark, güvenilirliğin belirli bir zamanda bir arızanın meydana gelme olasılığı olması, sürdürülebilirlik ise gerekli bakımın belirli bir süre içinde başarıyla gerçekleştirilme olasılığı olmasıdır. Sürdürülebilirlik, bakım sıklığı, bakım maliyetleri, onarım süreleri ve işçilik saatleri gibi faktörlerin birleştirilmesiyle ölçülebilen, bakım eylemlerinin doğruluğunu, kolaylığını ve zaman gereksinimlerini etkileyen tasarım özelliğidir [5].

Tüm sistemler, ekipmanlar ve bileşenlerin işlevselliği, kullanım ve yaşla birlikte azalma eğilimindedir. Önleyici bakım (PM), genel sistem güvenilirliğini ve kullanılabilirliğini iyileştirmek için sıklıkla uygulanmaktadır. PM planlama, mühendislik sistemlerinin başarılı, ekonomik ve güvenilir işleyişinde çok önemli bir rol oynamaktadır [6]. Bakım eylemleri nadiren gerçekleştirildiğinde, özellikle de kusurlu bakım yapıldığında, sık sık sistem arızaları meydana gelir ve bu da sistemin kullanılabilirliğini ve bununla ilişkili mali faydayı etkileyen uzun kesinti sürelerine neden olur. Ancak bakım işlemleri çok sık yapıldığında malzeme israfına ve bakım maliyetlerinde ciddi artışa neden olabilir. Bakım maliyeti ile malzeme kullanımı arasında bir denge kurmak ve kullanılabilirliği en üst düzeye çıkarmak için arıza süresini azaltmak amacıyla optimum planlama gerekli hale gelir. Bunlar herhangi bir önleyici bakım politikası için kritik karar değişkenleridir [7].

#### A. Önleyici, Kestirimci ve Tahmine Dayalı Bakım Yöntemleri

Önleyici bakım, Preventive Maintenance (PM), genellikle Fotovoltaik enerji tesisleri işletmeye alındıktan sonra, ekipmanlar için istenilen periyodik bakıma göre planlanmış bakım türüdür. Önleyici bakım, genellikle Fotovoltaik enerji tesisleri işletmeye alındıktan sonra, ekipmanlar için istenilen periyodik bakıma göre planlanmış bakım türüdür. Kestirimci bakım ise, Fotovoltaik enerji tesislerinin bakımında bu özel biçimi, planlı sistem izlemesinden elde edilen verileri dikkate alarak sistem bileşenlerinin (ekipman) arızalanma riskini matematiksel olarak değerlendirir. Toplanan veriler, sistem hala çalışırken gelecekte meydana gelebilecek tehlikeli kusurları azaltmak için bakım rutinlerini gerçekleştirmek için öngörücü bir plan oluşturur [8].

Bu çalışma kapsamında önleyici bakım modeli oluşturmak üzere şu sorulara cevap aranmaktadır:

- Önümüzdeki birkaç günün elektrik üretimini tahmin edebilir miyiz? bu daha iyi şebeke yönetimine olanak tanır

- Panel temizlik/bakım ihtiyacını tespit edebilir miyiz?

- Sürekli arızaların takibi yapılarak iyi bir önleyici bakım modeli oluşturmak mümkün mü?

- Arızalı veya yetersiz performans gösteren ekipmanı tespit edebilir miyiz?

#### IV. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmamızda, birbirinden farklı iki güneş enerjisi santraline ilişkin 34 günlük bir süre içinde elde edilen iki bilgi seti kullanılmaktadır:

Birinci veri seti, güç üretim verileridir. Bu veri seti 15 dakikalık aralıklarla 22'şer adet eviricilerden alınan DC ve AC güç üretim verilerini ve günlük ve toplam üretim verilerini içermektedir.

İkinci veri seti ise hava durumu verilerini içerir. Tesise en uygun şekilde yerleştirilmiş tek bir sensör hattıyla ölçülür. İki farklı tesisten alınan sürekli hava durumu verileri düzenli alınarak veri setleri oluşturulmuştur. Verilerin işlenmesinde izlenen adımlar aşağıda verildiği gibidir. Her adım alt başlıklar altında detaylı olarak açıklanmıştır.

1. Verilerin İçer Aktarılması ve Ön İşleme
2. Veri Araştırma ve Arıza Tespiti
3. Durum İzleme ve Arıza Tespiti

#### A. Verilerin İçer Aktarılması ve Ön İşleme

Bu adımda öncelikle veriler içer aktarılmış, 15 dakikalık aralıklarla alınan bütün veriler Excel dosyası olarak kaydedilmiş ve .csv formatında oluşturulmuştur. Bunun ardından sütun açıklamaları, eksik değer olup olmadığı, veri setindeki evirici sayısı ve evirici başına ölçüm sayısı elde edilmiştir. Bu amaçla enerji üretimi ve hava durumu verileri incelenmiştir.

Enerji üretimi verileri incelendiğinde aşağıda yer alan sütunlara sahip olduğu belirlenmiştir. Çalışmaya başlamadan önce veri setini kontrol etmek her zaman oldukça önemlidir. Python kütüphanelerini ve .csv formatındaki veri setlerini yüklemek gerekmektedir. Python Sütun açıklamaları aşağıda verilmiştir.

DATE\_TIME: Her gözlemin tarih ve saati. Gözlemler 15 dakikalık aralıklarla kaydedildi.

PLANT\_ID: bu, dosyanın tamamı için ortak olmalıdır.

SOURCE\_KEY: Bu dosyadaki kaynak anahtarı evirici kimliğini temsil eder.

DC\_POWER: Bu 15 dakikalık aralıkta ayırıcı (kaynak\_anahtarı) tarafından üretilen DC güç miktarı. Birimler - kW.

AC\_POWER: Bu 15 dakikalık aralıkta evirici (kaynak\_anahtarı) tarafından üretilen AC güç miktarı. Birimler - kW.

TOTAL\_YIELD: Bu, eviriciün o ana kadarki toplam verimidir.

Hava durumu verileri için ise sütun açıklamaları aşağıda verilmiştir.

SOURCE\_KEY: Sensör paneli kimliğini ifade eder. Tesis için yalnızca bir sensör paneli olduğundan bu, tüm dosya için ortak olacaktır.

AMBIENT\_TEMPERATURE: Santraldeki ortam sıcaklığıdır. Not: Bu verileri için birim °C'dir.

MODULE\_TEMPERATURE: Sensör paneline bağlı bir modül (güneş paneli) bulunmaktadır. Bu, söz konusu modülün sıcaklık okumasıdır. Not: Bu verileri için birim °C'dir.

IRRADIATION: 15 dakikalık aralıktaki ışınlama miktarı. Not: Bu verileri için birim kW/m<sup>2</sup>'dir.

İki farklı Güneş Enerji Santralinden alınan 22'şer farklı evirici vardır. 15 dakikalık aralıklarla eviricilerden alınan veriler, AC ve DC gücümüzü ve aynı zamanda toplam ve günlük güç verilerinden oluşmaktadır. Evirici başına ölçüm sayısı 3104 ile 3155 arasında toplam 22 farklı evirici bulunmaktadır.

Çalışma kapsamında her iki veri kümesi birleştirilmiştir. Bunu yapmak için DATE\_TIME biçimlerini ayarlanmış, gereksiz sütunlar kaldırılmış ve DATE\_TIME boyunca birleştirilmiştir. Ayrıca ayrı tarih ve saat sütunları eklenmiştir ve eviriciler 1'den 22'ye kadar adlandırılmıştır. başlıkların detaylandırılması için 2. seviye ve 3. seviye başlıklar kullanılabilir.

### B. Veri Araştırma ve Arıza Tespiti

Veri kümesini birleştirdikten sonraki adım veri dağılımlarının ve korelasyonlarının incelenmesidir. Bu bağlamda veri dağılımı ve korelasyonları, eviricinin DC'den AC'ye dönüştürme kapasitesi, güç ve sıcaklık verilerinin incelenmesi, güç ve ışınlama verilerinin incelenmesi çalışmaları yapılmıştır. Elde edilen bulgular, çalışmanın bulgular bölümünde yer almaktadır.

### C. Durum izleme

Ekipman arızasını otomatik olarak tespit edecek modelleri iki farklı şekilde ele alabiliriz.

#### *Kural Tabanlı Arıza Tespiti*

Veri araştırması sırasında arızalı ekipmanı tanımlamanın basit bir yolu tespit edilmiştir. Normal işletme durumunda operasyonel olarak belirli bir evirici devre dışı bırakılmamış veya normal gündüz çalışması sırasında eviricide ölçülen güç yoksa, ekipman arızasını varsayabilir/tanımlayabiliriz. Bu önceden de belirtildiği üzere basit yaklaşımdır.

#### *Regresyon Modelleriyle Arıza Tespiti*

Basit kurala dayalı yaklaşım ciddi arızaları tespit etmede zaten başarılı olsa da daha az belirgin anormallikleri ve ekipman arızasına (veya temizlik/bakım ihtiyacına) ilişkin daha ince göstergeleri bulmak daha fazla çaba gerektirir. Regresyon analizin yönteminin temelinde; odaklanılmış bir olayın değerlendirilme yapılması esnasında, hangi diğer başka olayların etkisi altında olduğunun araştırılması yatmaktadır. Etki altında kalınan bu olaylar bir veya birden fazla olacağı gibi dolaylı veya direkt etkileniyor da olabilirler. Regresyon analizi değerlendirildiğinde, genellikle konusunu oluşturan, etkilendiği durumlara değişkenler adı verilir ve bu değişkenlerin bulunacağı matematiksel model incelenir. İstatistikte değişkenler arasındaki ilişkinin derecesini belirten katsayıya korelasyon, değişkenler arasındaki ilişkinin fonksiyonel şeklini oluşturan denkleme ise regresyon denklemi denir [9].

Regresyon modelinin kullanılması için, söz konusu olayla ilgili olarak, bir sebep-sonuç ilişkisi olması gerekmektedir. Sebep-sonuç ilişkisi, regresyon modeli oluşturulurken, bağımlı ve bağımsız değişkenler olarak gösterilir. Regresyon analizi yapılırken kurulan matematiksel modelde bulunan değişkenler bir bağımlı değişken ve bir veya daha çok bağımsız değişkenden oluşmaktadır. Bağımsız değişkenler oluşturulacak modelde bir değişkenli olarak geçiyorsa basit doğrusal regresyon, birden fazla bağımsız değişkenli olarak geçiyorsa çoklu regresyon modelini oluşturmaktadır. Makine öğrenmesinde regresyon modeli nedensellik ilişkisini kullanmaktan daha çok gelecek değerlerin tahminin de kullanılmaktadır. Literatürde, bağımlı değişken hedef (target) değişken olarak adlandırılırken, bağımsız değişken özellik (feature) olarak adlandırılır. Bu regresyon modeli bağlamında çalışmamızda doğrusal model ve doğrusal olmayan regrasyon modeli kullanılmıştır. Elde edilen bulgular ile model karşılaştırması yapılmıştır.

Doğrusal model için aşağıda verilen eşitlik kullanılmıştır.

$$P(t) = a + b.E(t)$$

Üretilen DC gücü P(t) ile ışınlım E(t) ve katsayılar a, b ile gösterilmiştir [10].

Arızaların tahminini hesaplamada hedef değişkeninin tahminini doğrusal regresyon kullanarak sürekli bir değer olarak hesaplamak yerine (0,1) aralığında bir ihtimal hesaplamak daha uygundur. Bu regrasyon modelinde noktaları bir doğruyla birleştirmek yerine tüm noktalara uyacak bir şekilde bir eğri uydurmak daha doğru bir yaklaşımdır. Yapılan çalışmamızda PV modül panelleri 65°C'ye kadar sıcaklıklara ulaşabilir. PV hücrelerinin verimliliği genellikle yüksek sıcaklıklarda daha düşüktür. Bu türdeki değişken ilişkisi, ışınlım ve üretilen DC gücü arasında doğrusal olmayan bir durum oluşturur. Doğrusal olmayan model aşağıda verilmiştir.

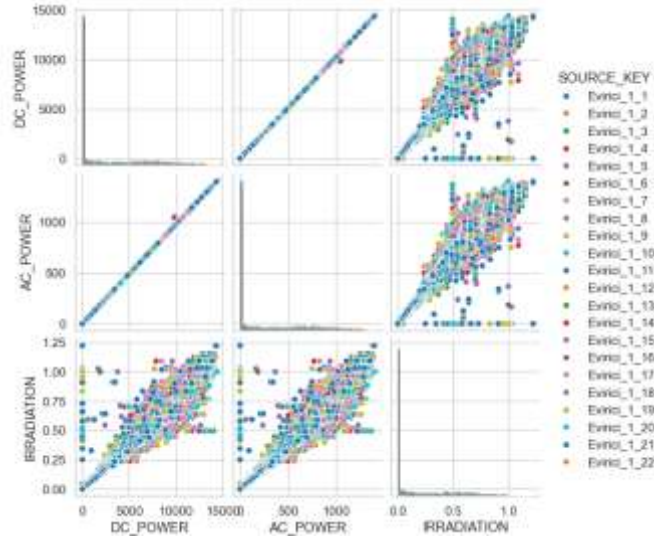
$$P(t)=aE(t)(1-b(T(t)+E(t)/800(c-20)-25)\ln(E(t)))$$

Üretilen DC gücü  $P(t)$  ile ışıınım  $E(t)$  ve katsayılar  $a$ ,  $b$  ile gösterilmiştir. Doğrusal olmayan, Lojistik regresyon kullanarak, hedef değişkeni için (0,1) aralığında bir ihtimal elde edilir. 0,5'ten daha az (veya eşit) (eşik olarak bilinir) ihtimaller, bir ilişki olmadığını sınıflandırılırken 0,5'ten büyük bir ilişki ihtimali olarak sınıflandırılır [10].

## V. BULGULAR

Bu bölümde iki farklı model kullanılarak öngörücü bakım modeli oluşturulmuş ve hedeflenerek bulgular oluşturulmuştur. Basit doğrusal regresyon model ile bağımsız bir değişken ile bağımlı bir değişkenin aralarındaki bağlantıya dayanarak kurulan ilişkidir. Aşağıdaki program çıktıları ile bu ilişki gösterilmiştir. Program olarak ise Python kullanılmıştır.

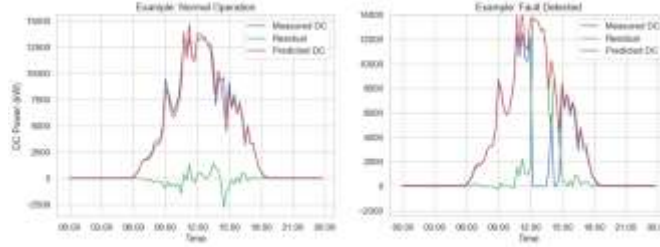
Bu grafiklerin oluşması için `sns.scatterplot` komutu kullanılmıştır. Şekil 1'de gösterildiği gibi AC power, DC power ve Irradiation değişkenleri korelasyon arasındaki ilişkiyi görmek için serpmme grafikleri çizdirilmiştir. Serpmme grafiklerinde pozitif yönde kabul edilebilir kuvvetli korelasyonlar olduğundan noktaları değişimi doğrusal bir elipstir. Aşağıdaki şekilde olduğu gibi AC power, DC power ve Irradiation değişkenleri arasındaki korelasyon zayıf olduğunda aşağıdaki serpmme grafiğinden görüldüğü gibi noktaların dağılımı doğrusal elips şeklinde olmayıp daha dağınıktır. Doğrusal veya dağınık ilişki oluşturan durumlar ise bize o evirici de arıza olduğunu ve bakım ihtiyacını gösterebilmektedir.



Şekil 1. Aykırı değer çift grafiklerinin korelasyonlarının detaylı incelemesi

Bu güneş enerjisi-elektrik kapsama oranındaki herhangi bir aykırılık, fotovoltaik panel hatlarının arızalı olduğunu gösterir. Verilerimiz, güç üretmek için yeterli güneş ışığı olmasına rağmen bazı eviricilerin DC gücü almadığı olayları açıkça göstermektedir. Normal durumda ışıınım ve DC güç arasındaki ilişki pozitif bir ilişki olmasına rağmen, bazı eviricilerin pozitif korelasyon oluşturmadıkları gözlenmiştir. Verilerimizde açıkça bazı ekipman arızaları olduğu tespit edilmiştir.

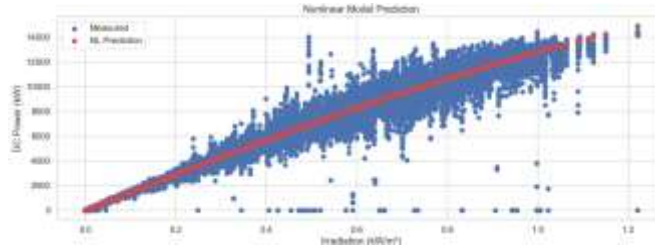
Çoklu doğrusal regresyon analizi ise modelde birden çok bağımsız değişken kullanılması dışında, temel olarak basit doğrusal modele benzer. Çoklu lineer regresyon temelinde basit doğrusal modelle aynı koşulları taşır. Ancak çoklu doğrusal analizde birden fazla bağımsız değişken olduğundan model için doğrusal olmama koşulu bulunmaktadır. Doğrusal olmama koşulu ise bağımsız değişkenlerin birbirleriyle minimum korelasyon göstermesidir. Aşağıdaki program çıktıları ile Çoklu doğrusal regresyon modeli ve doğrusal olmayan modeller olarak iki model incelenecektir. Doğrusal modellerden elde edilen bulgular şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2: Doğrusal model ile normal ve hatalı güç değeri karşılaştırması

Yukarıdaki grafik oluşturmadan önce Python programına normal operasyon durumu ve gece ve gündüz çalışmaları öğretildi. Doğrusal regresyon modeli Python `reg.predict` kodlarıyla, veri seti ile oluşturulan radiation dc power grafiği tahmin yapılarak residual veri ile hatalar tespit ediliyor. Bu sayede güç üretimi beklenen eviricilerde hata durumu öğrenildi. Veri setlerinden alınan bilgiler ile programa normalde üretmesi gereken tahmin güç verileri ile ölçülen güç değerleri karşılaştırılarak hatalar göz önüne sürüldü.

Doğrusal olmayan model ile elde edilen bulgular ise aşağıdaki şekil 3’de gösterilmiştir. Aşağıdaki doğrusal olmayan model DC power ışıınım arasındaki tahmini oluşturmak için önce programa sıcaklık ve radyasyona göre DC güç oluşturma fonksiyonu oluşturuldu. Daha sonra bu doğrultuda tahmin yaptırılarak grafik çizdirildi.



Şekil 3. Doğrusal olmayan model ile ışıınım tahmini

Bütün çıktılar incelendiğinde, doğrusal olmayan modelin, özellikle ışıınımın yüksek olduğu zamanlarda doğrusal modelden biraz daha iyi performans gösterdiği görülmektedir. Bu durum bize özellikle doğru bir iyileştirilmiş öngörücü bakım modeli oluşturmak için doğrusal olmayan makine öğrenmesi metodu kullanmanın uygun olacağı çıkarılabilir.

## VI. TARTIŞMA

Makine öğrenimi uygulamalarıyla ilgili sorun, tahmin modellerinin eğitimi için her zaman mevcut olmayan büyük miktarda geçmiş veriye ihtiyaç duyulmasıdır. Hava koşulları ve diğer koşulların öngörülemez olması sebebiyle fotovoltaik sistem davranışı doğrusal olmadığından makine öğreniminin eğitimi, tahmin modelini oluşturmak için büyük miktarda verilere ihtiyaç duyar. Bu çalışmamızda bu kaide temel alınarak geniş bir veri seti kullanılmıştır. Bu veriler ile hata ve arızaların tespiti hedeflenmiştir. Bu metodun özellikle tesislerde uygulamaya geçmesi ile operasyon ve bakım kalemlerinde verimli, maliyet etkin ve enerji güvenilirliğini sağlamada fayda sağlayacağı ön görülmüştür.

## VII. SONUÇLAR

Bu çalışmanın amacı bir güneş enerji santralleri sisteminin kullanılabilirliğini en üst düzeye çıkaran Önleyici Bakım Planlaması için öngörücü yeni bir model önermektir. Özellikle son yıllarda geliştirilen farklı bakım yöntemleri bakım faaliyetlerinin verimli ve maliyet etkin oluşturulmasını sağlamıştır. Bu metotların en günceli öngörücü tahmine dayalı bakım modelidir. Fotovoltaik enerji tesislerinin bakımında bu özel biçimi, planlı sistem izlemesinden elde edilen verileri dikkate alarak sistem bileşenlerinin (ekipman) arızalanma riskini matematiksel olarak değerlendirir. Bakım planlamasında güvenilirlik metotlarının başarısında veri toplama ve analizi çok önemlidir. Bunun sonucunda tahmine dayalı makine öğrenmesi yaklaşımları ile oluşturulan hata tahmini metotları ve bulgular oluşturmak mümkündür. Oluşturulan bu bulguların ve metotların tesislerin bakım yöntemlerine entegre edilmesi ile tam verimli ve düzgün çalışan önleyici bakım modelleri oluşturmak mümkündür.



Makine öğrenimi teknikleri, fotovoltaik sistem performans analizinde kullanılan güneş enerjisi çıktılarının doğru tahminlerini oluşturabilir. Bu tahminlerin uygulamasıyla ilgili temel sorun, tahmin modellerinin eğitimi için her zaman mevcut olmayan büyük miktarda geçmiş veriye ihtiyaç duyulmasıdır. Bu tez çalışmasında özellikle bu sorunu çözmek için 34 gün boyunca her 15 dakikada bir alınan hava sensör verileri ve her 15 dakikada bir alınan güç verileri ile yeterli veri miktarına ulaşılması sağlanmıştır. Bu tez çalışması özelinde elde edilen bulgular aracılığıyla aşağıda sıralanan sonuçlara ulaşılmıştır.

*Keşfedici Veri Analizi:* Verilerle ilgili bazı olası sorunlar fark edilmiştir. Örneğin, DAILY\_YIELD, tanımı gereği bu mümkün olmasa da bazı günlerde azalma göstermiştir. Eviriciler farklı sayıda veri noktasına sahiptir.

*Problem 1:* Her ne kadar bu tez çalışması tahmine odaklanmamış olsa da güç-ışınım modelleri, yerel hava durumu tahminlerinden elde edilen harici verilerle birlikte önümüzdeki birkaç gün için üretilen gücü tahmin etmede yardımcı olabilir. Dolayısıyla bu çalışma arıza tespiti ve önleyici bakım için olduğu kadar üretilen gücü tespit etmede kullanılabilir. Böylelikle verimliliğin değerlendirilmesi mümkündür.

*Problem 2 ve 3:* Kural tabanlı bir yöntemle ve ışınlım, sıcaklık ve DC gücü arasındaki ilişkinin doğrusal/doğrusal olmayan modellemesiyle ekipman arızası ve düşük performans olayları başarıyla belirlenmiştir. Bu yaklaşım, gerçek zamanlı durum izleme ve arıza tespiti için faydalı olabilir. Bu bağlamda güneş enerjisi santrallerinde gerçek zamanlı durum izleme ve arıza tespiti için kullanılabilir.

Bu problemler ve çıkarılan sonuçlar bize doğrusal olmayan modelleme ile tahmine dayalı öngörücü bakım modelinin yeterli veriler sağlandığında çok verimli sonuçlar ortaya çıkardığı görülmüştür.

## KAYNAKLAR

- [1] Jerez, S., Tobin, I., & Vautard, R. (2015). The impact of climate change on photovoltaic power generation in Europe. *Nature. Commun* 6.
- [2] Kannan, N., & Vakeesan, D. (2016). Solar energy for future world. *Renew Sustain Energy Rev* 2016, 1092–1196.
- [3] Baschel, S., Koubli, J., & Gottschalg, R. (2018). Impact of Component Reliability on Large Scale Photovoltaic Systems' Performance. *Energies* 2018, 11, 1579.
- [4] IEA. (2023). Dünya Enerji Görünümü 2023. International Energy Agency.
- [5] Baschel, S., Koubli, J., & Gottschalg, R. (2018). Impact of Component Reliability on Large Scale Photovoltaic Systems' Performance. *Energies* 2018, 11, 1579.
- [6] Sa'ad, A., Nyongue, A., & Hajej, Z. (2021). Improved Preventive Maintenance Scheduling for a Photovoltaic Plant under Environmental Constraints. *Sustainability* 2021, 13, 10472.
- [7] Dizdaroglu, D. (2017). The role of indicator-based sustainability assessment in policy and the decision-making process: a review and outlook. *Sustainability* 9 (6), 1018.
- [8] Sa'ad, A., Nyongue, A., & Hajej, Z. (2021). Improved Preventive Maintenance Scheduling for a Photovoltaic Plant under Environmental Constraints. *Sustainability* 2021, 13, 10472.
- [9] Polo, F., Bermejo, J., & Fernandez, J. (2015). Failure mode prediction and energy forecasting of PV plants to assist dynamic maintenance tasks by ANN based models. *Renew. Energy* 81, 227–238.
- [10] Junior JG da SF, Oozeki T, Takashima T, Koshimizu G, Uchida Y, Ogimoto K. (2012) Use of support vector regression and numerically predicted cloudiness to forecast power output of a photovoltaic power plant in Kitakyushu, Japan. *20(7):874-882*.