



HİBRİT GÜÇ SİSTEMLERİNDE ARIZA TESPİTİ

Ümit ÖZLEYEN

Yüksek Lisans Tezi
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Sami EKİCİ

NİSAN-2019

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HİBRİT GÜÇ SİSTEMLERİNDE ARIZA TESPİTİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ümit ÖZLEYEN

151135106

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 04 Mart 2019

Tezin Savunulduğu Tarih: 05 Nisan 2019

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Sami EKİCİ (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri: Doç. Dr. Resul ÇÖTELİ (F.Ü)

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ÜSTÜNDAĞ (B.Ü)

NİSAN-2019

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tez çalışmasının hazırlanmasında çok kıymetli zamanını ayırarak beni her konuda yönlendiren ve destek veren çok değerli hocam ve danışmanım Prof. Dr. Sami EKİCİ ile yardımlarını esirgemeyen eşime ve arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ümit ÖZLEYEN

Elazığ-2019



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	V
ABSTRACT	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ	VII
TABLolar LİSTESİ	IX
SEMBOLLER LİSTESİ	X
KISALTMALAR LİSTESİ	XI
1. GİRİŞ	1
1.1. Arıza Yeri Tespitinin Önemi	2
1.2. Literatür Taraması	3
1.3. Yenilenebilir Enerji Santrallerinin Entegrasyonu.....	5
1.4. Tezin Amacı.....	6
1.5. Yöntem	6
2. HİBRİT GÜÇ SİSTEMİ BİLEŞENLERİ	8
2.1. Hibrit Güç sistemleri.....	8
2.1.1. Hibrit Enerji Sistemlerinin Avantajları.....	9
2.1.2. Hibrit Enerji Sistemlerinin Dezavantajları	10
2.2. Güneş Santralleri	11
2.3. Rüzgâr Santralleri	12
2.4. Senkron Generatörler.....	14
2.5. Dizel Jeneratörler.....	15
3. SİSTEM MODELİ VE BENZETİM ÇALIŞMASI.....	17
3.1. Benzetimi Yapılan Sistem Modeli.....	17
3.2. Sistem Parametreleri	20
3.3. Hibrit Güç Sisteminde Arıza Benzetimleri.....	21
3.4. Benzetim Sonuçları.....	23
4. AKIM VE GERİLİM DALGA ŞEKİLLERİNDEN ÖZELLİK ÇIKARIMI..	29
4.1. Dalgacık Dönüşümü	29
4.1.1. Sürekli Dalgacık Dönüşümü (SDD)	30
4.1.2. Ayırık Dalgacık Dönüşümü (ADD).....	32

4.2.	Ayrık Dalgacık Dönüşümü İle Özellik Çıkarımı	34
4.3.	Veri Sayısı İndirgeme ve Veri Setinin Oluşturulması	35
4.3.1.	Entropi	36
4.3.2.	Basıklık	36
4.3.3.	Çarpıklık	37
4.3.4.	Standart Sapma	37
5.	ARIZA TİPİ VE YERİNİN BELİRLENMESİ	38
5.1.	Arıza Tipinin Belirlenmesi	38
5.2.	Arıza Yerinin Belirlenmesi	52
6.	SONUÇ	58
	KAYNAKÇA	60
	ÖZGEÇMİŞ	64

ÖZET

Bu tez çalışmasında Matlab / Simulink yazılımı ortamında bir hibrit güç sistemi modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan bu sistemde hat boyunca hibrit güç sisteminde oluşabilecek muhtemel arıza durumları incelenmiştir. Enerji iletim hattında belirli mesafelerde sanal arızalar meydana getirilmiş ve bu arızalara ait akım ve gerilim işaretleri bilgisayar ortamında kaydedilerek bir veri tabanı oluşturulmuştur. Bu veriler ön işleme aşamasında normalize edildikten sonra sayısal işaret işleme aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada amaç, farklı noktalarda meydana gelen arızalar için akım ve gerilim işaretlerinden ayırt edici özellikler çıkartmaktır. Toplam 100 km uzunluğundaki üç fazlı enerji iletim hattında 15. km'den başlatarak 85. km'ye kadar her km'de bir sanal arıza meydana getirilmiştir. Deneyler tekrarlanarak toplam 497 farklı arıza meydana getirilmiştir. Yapılan benzetimlerin gerçek sistemdeki duruma benzer hale getirilmesi için hazırlanan bir Matlab programı ile arıza tipleri, arıza dirençleri ve arıza oluş açıları rastgele oluşturulmuştur. Ayırt edici özelliklerin elde edilmesi için 12 seviyeli (Ayrık Zaman Dalgacık Dönüşümü) kullanılmıştır. Elde edilen detay ve yaklaşık katsayıları için entropi, standart sapma, çarpıklık ve basıklık gibi 4 ayrı istatistiksel parametre hesaplanarak eğitim veri seti oluşturulmuştur. Bu veri setinin eğitim ve geçerlilik testi için Matlab Regression Learner uygulaması kullanılmış ve literatürde elde edilen sonuçlar kullanılan birçok yöntemin sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonuçlar önerilen yöntemin oldukça düşük bir hata oranı ile arıza yerini tahmin ettiğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Hibrit güç sistemleri, dalgacık dönüşümü, arıza yeri, yapay zekâ

ABSTRACT

Fault Detection in Hybrid Power Systems

In this study, a hybrid power system was created in Matlab / Simulink software environment. In this system, probable fault conditions that may occur in the hybrid power system have been investigated along the line. Virtual disturbances at certain distances in the energy transmission line are simulated and a data base is created by recording the current and voltage signals of these faults in the computer environment. After normalizing this data in the preprocessing phase, it is passed to the digital signal processing stage. The goal in this phase is to obtain distinctive features of current and voltage signals for faults occurring at different points. Starting from 15th km up to 85th km, virtual faults have been created at each km of the three-phase transmission line which has 100 km length. By repeating the experiments, 497 different faults have been created. Fault types, fault resistances and fault inception angles are changed randomly to obtain similar fault occurrence conditions as in real life by preparing a matlab program. To obtain distinctive features, 12-level Discrete Wavelet Transform is used. 4 different statistical parameters including entropy, standard deviation, skeewness and kurtosis are computed for detail and approximation coefficients to build final dataset. For training and validation of the dataset, Matlab Regression Learner App is employed and the obtained results are compared with a lot of methods which are used in the literature. The obtained results show that the proposed method can estimate fault locations with rather small error rate.

Key Words: Hybrid power systems, wavelet transform, fault location, artificial intelligence

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. PV-Rüzgâr-Dizel Hibrit Sistemi	9
Şekil 2.2. Türkiye'nin Ortalama Güneş Yoğunlukları	12
Şekil 2.3. Türkiye rüzgâr hızı enerjisi potansiyel atlası	13
Şekil 2.4. Türkiye rüzgâr hızı enerjisi potansiyel atlası	14
Şekil 2.5. Senkron generatörlerin şebekeye bağlantı şeması	15
Şekil 2.6. PV / rüzgâr / dizel hibrit sisteminin şematik diyagramı.....	16
Şekil 3.1. Hibrit güç sisteminin MATLAB/simulink programında tasarımı.....	18
Şekil 3.2. Rüzgâr ve PV hibrit sistemin MATLAB/simulink programında tasarımı	19
Şekil 3.3. Arıza benzetimi ve arıza verilerinin toplanması	22
Şekil 3.4. Farklı arıza konumlarında arıza direncinin değişimi	23
Şekil 3.5. Farklı arıza tiplerinin meydana gelme sıklığı.....	23
Şekil 3.6. 15. km'de B3 den itibaren ölçülen ABG arızasına ait gerilim sinyalleri	24
Şekil 3.7. 15. km'de B3 den itibaren ölçülen ABG arızasına ait akım sinyalleri.....	24
Şekil 3.8. 15. km'de B1 den itibaren ölçülen ABG arızasına ait gerilim sinyalleri	25
Şekil 3.9. 15. km'de B1 den itibaren ölçülen ABG arızasına ait akım sinyalleri.....	25
Şekil 3.10. 85. km'de B3 den itibaren ölçülen ABG arızasına ait gerilim sinyalleri	26
Şekil 3.11. 85. km'de B3 den itibaren ölçülen ABG arızasına ait akım sinyalleri.....	26
Şekil 3.12. 85. km'de B1 den itibaren ölçülen ABG arızasına ait gerilim sinyalleri	27
Şekil 3.13. 85. km'de B1 den itibaren ölçülen ABG arızasına ait akım sinyalleri.....	27
Şekil 4.1. Fourier dönüşümü ve dalgacık dönüşümü arasındaki ilişki (a) zaman-büyüklik (b) Fourier dönüşümü (c) Kısa zamanlı Fourier dönüşümü (d) dalgacık dönüşümü	30
Şekil 4.2. ADD yöntemi işlem basamakları	34
Şekil 4.3. 15. km'de B3 den itibaren ölçülen A fazına ait akımın dalgacık dönüşümünden elde edilen yaklaşık ve detay katsayıları	35
Şekil 5.1. Classification Learner arayüzünde sınıflandırma.....	39
Şekil 5.2. Bütünleşik torbalı karar ağaçlarına ait karşıtlık matrisi	39
Şekil 5.3. İyi karar ağaç karşıtlık matrisi	41
Şekil 5.4. Orta karar ağaç karşıtlık matrisi.....	42
Şekil 5.5. Kaba karar ağaç karşıtlık matrisi.....	42
Şekil 5.6. Doğrusal DVM karşıtlık matrisi.....	43

Şekil 5.7. İkinci dereceden DVM karşıtlık matrisi.....	43
Şekil 5.8. Kübik DVM karşıtlık matrisi	44
Şekil 5.9. Gauss DVM karşıtlık matrisi	44
Şekil 5.10. Orta Gauss DVM karşıtlık matrisi	45
Şekil 5.11. Kaba Gauss DVM karşıtlık matrisi	45
Şekil 5.12. İyi tip en yakın komşuluk modeli karşıtlık matrisi	46
Şekil 5.13. Orta tip en yakın komşuluk algoritması karşıtlık matrisi.....	46
Şekil 5.14. Kaba en yakın komşuluk algoritması karşıtlık matrisi.....	47
Şekil 5.15. Kosinüs en yakın komşuluk algoritması karşıtlık matrisi	47
Şekil 5.16. Kübik en yakın komşuluk algoritması karşıtlık matrisi	48
Şekil 5.17. Ağırlıklandırılmış en yakın komşuluk algoritması karşıtlık matrisi	48
Şekil 5.18. Güçlendirilmiş ağaçlar bütünleşik modeli karşıtlık matrisi	49
Şekil 5.19. Torbalı ağaçlar bütünleşik modeli karşıtlık matrisi	50
Şekil 5.20. Alt uzay ayırım bütünleşik modeli karşıtlık matrisi.....	50
Şekil 5.21. Alt uzay en yakın komşuluk bütünleşik modeli karşıtlık matrisi.....	51
Şekil 5.22. RUS geliştirilmiş ağaçlar bütünleşik modeli karşıtlık matrisi	51
Şekil 5.23. AG arıza tipi için gauss süreç regresyon modeli ile tahmin edilen sonuçların gerçek sonuçlar ile karşılaştırılması.....	54
Şekil 5.24. BG arıza tipi için gauss süreç regresyon modeli ile tahmin edilen sonuçların gerçek sonuçlar ile karşılaştırılması.....	55
Şekil 5.25. CG arıza tipi için gauss süreç regresyon modeli ile tahmin edilen sonuçların gerçek sonuçlar ile karşılaştırılması.....	55
Şekil 5.26. ABG arıza tipi için gauss süreç regresyon modeli ile tahmin edilen sonuçların gerçek sonuçlar ile karşılaştırılması.....	56
Şekil 5.27. ACG arıza tipi için gauss süreç regresyon modeli ile tahmin edilen sonuçların gerçek sonuçlar ile karşılaştırılması.....	56
Şekil 5.28. BCG arıza tipi için gauss süreç regresyon modeli ile tahmin edilen sonuçların gerçek sonuçlar ile karşılaştırılması.....	57
Şekil 5.29. ABCG arıza tipi için gauss süreç regresyon modeli ile tahmin edilen sonuçların gerçek sonuçlar ile karşılaştırılması.....	57

TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1. Benzetim çalınmasında yer alan senkron generatörün özellikleri	20
Tablo 3.2. Benzetim çalınmasında yer alan iletim hattının özellikleri	20
Tablo 3.3. Benzetim çalınmasında yer alan üç fazlı transformatörün özellikleri	20
Tablo 3.4. Benzetim çalınmasında yer alan üç fazlı seri RLC yükünün özellikleri	21
Tablo 3.5. Benzetim çalınmasında yer alan Rüzgâr Türbini özellikleri	21
Tablo 4.1. Entropi, basıklık, çarpıklık ve standart sapma gerilim ve akım aralığı	36
Tablo 5.1. Sınıflandırma modellerine ait doğruluk, tahmini hızı ve eğitim süresi değerleri	40
Tablo 5.2. Matlab Regression Learner regresyon algoritmaları kullanılarak elde edilen ortalama karesel hata değerleri	53
Tablo 5.3. Matlab Regression Learner analizde en iyi sonucu veren gauss süreç regresyon yönteminin performans değerleri	54

SEMBOLLER LİSTESİ

$\Psi_{s,\tau}^*(t)$	: Ana dalgacık
τ	: Öteleme faktörü
s	: Ölçeklendirme katsayısı
τ_0	: Genleşme katsayısına bağlı öteleme faktörü
$f(t)$	: Dalgacık dönüşümü
$\varphi_{j,k}(t)$	: Ölçekleme fonksiyonu
γ	: Sönümlenme açısı
$\lambda_j(k)$	: Yaklaşık katsayılar
$\gamma_j(k)$	: Detay katsayılar
E_{jk}	: j ölçeğindeki sinyalin dalgacık enerji spektrumları
φ	: Aktivasyon fonksiyonu
F_s	: Örnekleme frekansı
R^2	: Karesel regresyon parametresi

KISALTMALAR LİSTESİ

AD	: Ana Dalgacık
ADD	: Ayrık Dalgacık Dönüşümü
DD	: Dalgacık Dönüşümü
DVM	: Destek Vektör Makinaları
FD	: Fourier Dönüşümü
FRSNPS	: Fuzzy Reasoning Spiking Neural P Systems
GEPA	: Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası
HOMER	: Hybrid Optimization Model for Electric Renewable
MAE	: Ortalama Mutlak Hata (Mean Absolute Error)
MSE	: Ortalama Karesel Hata (Mean Squared Error)
PV	: Güneş Paneli
REPA	: Rüzgâr Enerji Potansiyel Atlası
RMS	: Karelerin Ortalama Karekökü (Root Mean Squared)
RMSE	: Ortalama Karesel Kök Hata (Root Mean Squared Error)
RT	: Rüzgâr Türbini
SDD	: Sürekli Dalgacık Dönüşümü
YEGM	: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
YES	: Yenilenebilir Enerji Sistemleri

1. GİRİŞ

Enerji, günlük yaşamımızı etkileyen ve biçimlendiren en önemli faktörlerdendir. Dünyadaki nüfusun hızla artmasına bağlı olarak artan yaşam standartları ve ekonomik faaliyetlerin büyümesi ile enerji ihtiyacı hızlı bir şekilde artmaktadır. Enerji ihtiyacı arttıkça enerji kaynaklarının verimli kullanımı ve bu kaynakların üzerinde hâkimiyet kurma çabası önem kazanmış, enerji yönetiminin başarılı bir biçimde uygulanması öncelikli bir konu haline gelmiştir. Son yüzyılın enerji altyapılarının büyük bir kısmının fosil yakıt (kömür, petrol, doğalgaz vb.) temelli olduğu görülmektedir [1]. Günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarına karşı duyulan ilgi, fosil kaynaklı yakıtlardan oluşan çevre kirliliklerinin fazla olması nedeniyle sürekli artmaktadır. Hibrit sistemlere dayalı oluşturulan yenilebilir enerji sistemleri gerek küresel ısınma gerekse iklim değişiklikleri ile yapılan mücadelelerde etkin bir rol oynamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş ve rüzgâr zaman içerisinde farklılık göstermesinden dolayı bazı süreksizlikler meydana gelmektedir. Yenilebilir enerji kaynaklarının tek başına kullanılması, sistemin güvenilirliğinin düşük olmasına neden olmaktadır. Hibrit enerji sistemleri, en az iki yenilenebilir enerji kaynağının bir arada kullanılmasıyla oluşur. Bu sistemde kaynaklar birbirinin tamamlayıcısıdır ve bunun sonucunda sistemin güvenilirliği artmaktadır. Genellikle enerji tüketiminin fazla olduğu mevsimlerde enerjiye olan ihtiyaçlar artmaktadır. Kesintisiz bir enerji sağlayabilmek için hibrit sistemler kurulması son derece önemlidir. Bu kaynaklardan hangisinin kullanılacağı o bölgenin meteorolojik koşullarına göre seçilir [2]. Hibrit güç sisteminin iletim hattında çok sayıda arıza meydana gelebilir. Bu arızalar, hat boyunca güç akışında düzensizlikler ile sonuçlanır [3]. Bir iletim hattında meydana gelen arıza, akım ve gerilim sinyallerinde ani bir değişime neden olur [4]. Arıza akımı arızasız duruma göre oldukça yüksek olup sistem üzerinde yıkıcı etkiye sahiptir [5].

Bugüne kadar çok sayıda farklı arıza yeri tespit yöntemi önerilmiş olsa da, doğru arıza yeri tahmini için kullanılacak yöntemin seçimi her zaman zor bir karar olmuştur. Yapılan sinyal işleme ve yapay zekâ tabanlı çalışmalar genellikle klasik güç sistemleri üzerinde yoğunlaşmıştır [6-8]. Son yıllarda, yüksek gerilim, doğru akım enerji iletim hatlarının kullanılmaya başlanmasıyla bu tip hatların üzerinde yapılan çalışmalar az da olsa mevcuttur [9]. Hibrit güç sistemleri üzerinde yapılan çalışma sayısı ise yok denecek kadar azdır. Rüzgâr ve güneş santralleri gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının hayatımıza girişi

ile birlikte bu enerji kaynaklarının güç şebekeleri ile birleştirilmesi sonucu sistem daha karmaşık bir hale gelmiştir. Hibrit güç sistemlerinde arıza yerinin mevcut röleler ile tespit edilmesi oldukça zor bir hale gelmiştir.

Bu çalışmada, hibrit güç sistemleri için yeni ve etkili bir arıza yeri tespit yöntemi sunulmuştur. İletim hattında meydana gelen çeşitli arızaları modellemek ve analiz etmek için hibrit güç sisteminin Matlab/Simulink modeli oluşturulmuştur. Gerçekleştirilen Simulink modelinde tek faz toprak, iki faz toprak ve üç faz toprak arızaları oluşturulmuş, arıza durumlarına ait akım ve gerilim sinyalleri analiz edilerek elde edilen özellik vektörleriyle akıllı bir sayısal mesafe koruma rölesi modeli geliştirilmiştir.

1.1. Arıza Yeri Tespitinin Önemi

Bir elektrik güç sistemi, çeşitli yerlerde üretilen elektrik gücünün alıcıya ulaşmasını sağlamak için çok sayıda birbirine bağlı elektrik bileşenini içeren karmaşık bir sistemdir. Herhangi bir elektrik güç sistemi; üretim, iletim ve dağıtım olmak üzere üç ana aşamaya kadar basitleştirilebilir. Bu üç bölümün her birindeki güç sistemi bileşenleri arızaya açıktır. Ancak güç sisteminin normal koşulların dışında çalışmasına neden olan bozuklukların büyük çoğunluğu şebekenin iletim ve dağıtım taraflarında meydana gelir. İletim ve dağıtım şebekelerinin diğer şebeke bileşenlerinden daha sorunlu olmasının temel nedeni, uzun mesafelere uzanmaları ve uzun iletkenlerin doğrudan sert iklim koşullarına ve dış temaslara maruz kalmasıdır. İletim ve dağıtım şebekelerinde genel olarak ortaya çıkan arızalar, ağırlıklı olarak yüksek ağaçların varlığı, büyük kuşların bunlara temas etmesi, yağmur veya nemden dolayı yol boyunca akım kaybı, çevreyi kirletici etkiye sahip maddelerin birikmesi gibi çevre, hava ve hayvan kaynaklı geçici kısa devrelerin oluşmasıdır. Bu arızalar tek faz toprak arızaları (AG, BG ve CG), iki faz arızaları (AB, AC, BC), iki faz toprak arızaları (ABG, ACG ve BCG) ve üç faz arızaları (ABC) olmak üzere dört ana kategoride sınıflandırılabilir. Bu durumda şebeke operatörü, şebekedeki geçici arızalardan kaynaklanan zayıf noktaları tespit etmek ve aynı zamanda rutin bakım sırasında sistemi güçlendirmek için bakım personelinin görevlendirilmesine izin verir. Bu işlemlerin yapılmasıyla şebekedeki arızadan kaynaklı kesinti süresi azalır, güç sisteminin güvenilirliği artar ve gelecekte oluşabilecek arızalar da azalmış olur. Ayrıca, hattın enerjisiz hale getirilmesi ve iletim hattına tekrar enerji verilmesi ile birlikte ortadan kalkan geçici

arızalar, elektrik şebekelerinde küçük miktarlarda hasara neden olabilir. Bu durumda hattaki yük artacağı için daha sonra hatta kalıcı arızalara dönüşebilir [10].

1.2. Literatür Taraması

Günümüzde yenilenebilir enerji kaynakları ve çeşitli hibrit güç sistemleri ile alakalı birçok çalışma yapılmaktadır. Aşağıda hibrit sistemler ve hibrit sistemlerde arıza tespitine yönelik yapılmış olan bazı çalışmalardan bahsedilmiştir.

(Yılmaz v.d., 2010) yaptıkları çalışmada, Gökçeada'da yenilenebilir enerji kaynakları ile elektrik enerjisi üretim potansiyeli üzerinde durmuşlar ve bu konuda araştırmalar yapmışlardır. Elektrik yükü, rüzgâr hızı ve güneş ışınlamı gibi zamanla değişen değerlerin etkisini yenilenebilir enerji sistemine eklemek için HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewable) programını kullanmışlardır. Karma veya karma olmayan yenilenebilir enerji sisteminin en uygun düzenlemesini elde etmek için, güneş panelleri, rüzgâr türbinleri ve akülerden oluşan enerji üreticiler ile benzetimler yapmışlardır. Bilgisayar benzetimi sonuçlarından yola çıkarak, Gökçeada için rüzgâr enerjisi sistemine ilişkin enerji maliyetlerinin daha düşük olduğunu belirtmişlerdir [11].

(Emre ve Telli, 2003) yaptıkları çalışmada pilot bölge olarak seçtikleri İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) Elektrik-Elektronik Fakültesinin enerji talebi için kurulacak bir hibrit sisteminin maliyet analizini yapmışlardır. Ayrıca HOMER adı verilen yazılımla simülasyon ortamında bölgenin teknik ve ekonomik parametrelerini hesaplamışlardır [12].

(Çelik, 2002) yaptığı çalışmada beş farklı bölgenin (Cardiff, Canberra, Davos, Athens, Ankara), 8 yıllık saatlik rüzgar hızı ve güneş ışınlamı verilerini kullanarak, Fotovoltaik Güneş Paneli (PV) ve Rüzgar Türbinin (RT)'den oluşan hibrit sistemlerin (PV/RT/akü), hangi durumlarda daha optimum çözümü sağladığını araştırmıştır. Rüzgâr hızı ve güneş ışınlamı verileri aylık olarak gruplandırıldığında, hem rüzgârın hem de güneşin daha fazla ve ikisinin de eşit olduğu aylar olarak basitçe üç grup oluşturmuşlardır. Bu üç durum göz önüne alınarak ise, oluşturulan hibrit sistemler için RT ve PV kullanım oranları incelenmiştir [13].

(Kaur ve Singh, 2015) çalışmalarında, hibrit güç sisteminde, rüzgâr-dizel güç sisteminin ve iletim hattındaki arıza tespitini, MATLAB/Simulink yazılımını kullanarak simülasyon ortamında yapmışlardır. Ayrıca gerilim, akım ve güç gibi elektriksel parametreleri de hesaplamışlardır. Simülasyon ortamında elde edilen RMS (Karelerin

Ortalama Karekökü)'nin gerilim, akım ve gücün maksimum değerlerini bulmuşlardır. Benzetim çalışmalarında elde ettikleri sonuçlar ile mevcut sistemdeki arıza değerleri sonuçlarının benzer olduklarını göstermişlerdir [14].

(Gururaja Rao, v.d., 2017) yaptıkları çalışmada, özellik çıkarma için oldukça yeni ve etkili olan Dalgacık Dönüşümü (DD) tabanlı bir yöntem sunmuşlardır. Ayırık dalgacık dönüşümü kullanılarak normal ve arıza durumundaki üç fazın akım sinyallerini incelenmişlerdir. Matlab / simulink modelinde hattaki arızayı tespit etmek için iletim hattının farklı yerlerinde çeşitli arızalar gerçekleştirilmiştir. Ayrıca arıza yerinin belirlenmesi için hattın direnci, arıza sırasındaki gerilim ve akım değerlerini kullanmışlardır [6].

(Sharma v.d., 2016) yaptıkları çalışmada iletim hattının korunması için bir fazlı, iki fazlı ve üç fazlı arızaları sınıflandırabilmek için Dalgacık (DB4) ve Yapay Sinir Ağı yaklaşımını sunmuşlardır. Sunulan yöntem ile daha önce önerilen diğer yöntemlere göre arızaları çok daha kısa sürede tespit edebildiklerini ve sınıflandırabildiklerini ifade etmişlerdir [15].

(Nandi, R. and Panigrahi, B.K., 2015) yaptıkları çalışmalarda bazı arızaların tespiti ve sınıflandırılmasında, dalgacık dönüşümü yönteminden faydalanmışlardır. Sistem geçişlerini dalgacık dönüşümü yöntemi ile elde edilen verilere bağlı olarak değerlendirmişlerdir. Dalgacık dönüşümü yöntemi ile bazı anormal durumların nasıl algılanabileceğini ve sınıflandırılabileceğini açıklamışlardır [3].

(Rong v.d., 2017) yaptıkları çalışmalarda iletim hatlarında oluşan arıza türlerini sınıflandırmak için yeni bir yaklaşım olan Dalgacık Dönüşümünü ve Fuzzy Reasoning Spiking Neural P Systems (FRSNPS) yöntemlerini önermişlerdir. Önerilen bu yöntemde, iletim hatlarında kaydedilen arıza akımlarının özellik çıkarımı için dalgacık dönüşümü ve arıza tipi sınıflandırma modellerinin oluşturulması için ise FRSNPS yöntemini önermişlerdir. Önerilen yaklaşımların başarımını doğrulamak için, simülasyon ortamında arıza başlangıç açısı, arıza direnci ve arıza yeri parametreleri alınarak güç iletim hatlarında oluşan farklı arıza türlerine sahip birkaç deneysel çalışma yapmışlardır. Bu çalışmaların sonucunda, gelecekteki çalışmalarda kullanılacak çift devre ve seri kapasitörlü iletim hatları gibi güç sistemlerinde daha karmaşık arıza durumlarını ele alabileceklerini ifade etmişlerdir [16].

(Adamu v.d., 2011) çalışmalarında 300 km, 330 kV ve 50 Hz bir güç iletim hattı modeli üzerinde çalışma yapmışlardır. MATLAB / Simulink yazılımını kullanarak güç

iletim sisteminde arıza akımının dalga şekillerini elde etmişlerdir. Arıza mesafesinin tahmini için arızadan önce ve sonraki sinyallere Ayrık Dalgacık Dönüşümü (ADD) yöntemi uygulanmıştır. Arıza öncesi ve sonrası katsayıları, Daubechies 'db5' dalgacık kullanarak %3'lük bir hata ile bulmuşlardır [17].

(Salat v.d., 2004) çalışmalarında, sistemde ölçülen bir terminal gerilim ve akımın geçici sinyallerinin frekans karakteristiklerine dayanarak yüksek gerilimli güç iletim hattında arıza yerinin belirlenmesinde etkili olan Destek Vektör Makinaları (DVM) yöntemini sunmuşlardır. Bu yöntemde iki adımdan oluşan hibrit yaklaşım modelini kullanmışlardır. Birinci adımda, DVM sinir ağı, arızalı fazların gerilimleri ve akımlarının temel harmoniklerinin yer aldığı bilgileri kullanmışlardır. İkincisinde yüksek frekans aralığı özelliklerinde bulunan bilgileri kullanarak bu mesafenin son tahminini düzeltmişlerdir. 200 km'lik bir iletim hattındaki arıza konumunun ortalama hatası 100 m'nin altında ve maksimum hatanın da 2 km'yi aşmadığını görmüşlerdir [18].

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde özellikle son yıllarda yenilenebilir enerji sistemlerinin mevcut sistemlere entegre edilmesi ile oluşan hibrit sistemler ve hibrit sistemlerde arıza tespitine yönelik çalışmalar yoğun olarak sürdürülmektedir.

1.3. Yenilenebilir Enerji Santrallerinin Entegrasyonu

Dünya nüfusunun büyük bir kısmı coğrafi olarak ayrılmış ve seyrek nüfuslu uzak kırsal bölgelerde yaşamaktadır. Bu alanlar çok düşük güç talebine sahiptir ve elektrik şebekesine bağlı değildir. Elektrik, en temiz enerji aktarma seçeneklerinden biridir ve bu nedenle güç kaynağına bakılmaksızın bir bölgenin geliştirilmesinin esas kaynağıdır. Son yıllarda, çevresel açıdan da bakıldığında, yenilenebilir enerji kaynakları üzerine çevre dostu sınırsız, tükenmez ve sürdürülebilir kaynaklar ile yoğun çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Elektrik üretiminin kırsal alanlardaki insanların yaşam standartlarını iyileştirmeye yardımcı olan yenilenebilir kaynaklarla doğrudan ve dolaylı olarak sağladığı faydalar arasında, sulama, gıdaları koruma, ürünleri işleme, soğutma ve küçük ölçekli sanayiler bulunmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının bulunabilirliği oldukça değişken ve alana özgüdür. Bu kaynaklardan elde edilen elektrik enerjisinin değişkenliği sonucunda büyük yenilenebilir enerji santrallerinin kurulması, enerjiyi depolama ve yeniden dönüştürme tesislerinin eklenmesi gibi yenilenebilir enerji santrallerin birbirleriyle

entegre edilmesiyle bu kaynaklardan elde edilen üretim değişkenliği problemi kısmen ortadan kaldırılabılır [19].

1.4. Tezin Amacı

Bu tezin amacı, son yıllarda hızla yaygınlaşan hibrit güç sistemlerindeki arıza yerini otomatik olarak belirleyebilen sayısal işaret işleme ve makine öğrenme yöntemlerine dayalı bir mesafe koruma yöntemi sunmaktır. Bu tez çalışmasında Matlab/Simulink yazılımı ortamında oluşturulacak bir hibrit güç sisteminde sanal arızalar meydana getirilerek sistemde meydana gelen bu arızaların konumu, sayısal işaret işleme ve yapay zekâ yöntemleri kullanılarak tespit edilmektedir. Bu yaklaşım, gerçek bir hibrit güç sistemlerinde meydana gelebilecek arızalara erken müdahaleyi sağlayacaktır.

1.5. Yöntem

Simülasyon çalışmasında rüzgar enerjisi santrali ve fotovoltaiik güneş enerjisi santrali ile senkron generatöre bağlı bir hibrit güç sistemi oluşturulmuştur. Üç fazlı iletim hattının toplam uzunluğu 100 km'dir. Her bir kilometrede üç faza ait arıza akım ve gerilim sinyalleri, 15 ve 85. kilometreler arasında kaydedilmiştir. Arıza direnci 0 ile 100 ohm arasında rastgele seçilmektedir. Sanal arızaların başlangıç ve bitiş süreleri otomatik olarak rastgele belirlenmektedir. Bu parametrelerden arıza analizi sırasında yaralanabilmek için rastgele üretilen arıza durum bilgisi, arıza direnci, arıza başlangıç ve bitiş süreleri kaydedilmiştir. Her seferinde farklı değerler üretilerek otomatik olarak çalıştırılan hibrit sistem modelinde hem senkron generatör hem de rüzgar-güneş santralleri tarafından ölçülen üç faz akım ve gerilim sinyalleri kaydedilmiştir. Ayrıca bu parametrelerin gerçek sistemlerde olduğu gibi rastgele atanabilmesi için bir matlab programı yazılmıştır. Güç sistemi modeli için hazırlanan program 7 defa çalıştırılmış ve toplamda 497 (7x71) arıza simülasyonu verisi elde edilmiştir. Ölçümlerin hem senkron generatör hem de rüzgar, güneş santrali tarafında üç faz akım ve gerilim değerleri için yapıldığı düşünöldüğünde oldukça büyük bir veri seti meydana gelmiştir. Simülasyonda kullanılan örnekleme frekansı 20 kHz'dir.

Simülasyon çalışmasından elde edilen akım ve gerilim sinyalleri (-1, 1) aralığında normalize edilmiştir. Daha önce kaydedilen arıza başlangıç ve bitiş sürelerinden

yararlanılarak yarım periyot arıza öncesi ve yarım periyot arıza sonrası olmak üzere toplam 1 periyotluk (400 örnek) sinyallere, 12 seviyeli ayrık dalgacık dönüşümü uygulanmıştır. Elde edilen yaklaşık ve detay katsayıları için standart sapma, entropi, çarpıklık ve basıklık değerleri hesaplanarak özellik veri matrisinin boyutları düşürülmüştür. Oluşturulan nihai veri seti Matlab Regression Learner uygulamasına giriş olarak kullanılmış ve arıza yeri tahminleri yapılmıştır.



2. HİBRİT GÜÇ SİSTEMİ BİLEŞENLERİ

Yenilenebilir enerji sistemlerinin (YES) kullanıldığı enerji sistemleri, uzaktaki tüketicilerin enerji ihtiyaçlarını karşılayan çevre dostu teknolojik çözümler olmasına rağmen bu sistemlerin ilk kurulum maliyeti oldukça yüksektir. Bazı araştırmacılar sözü edilen nispeten yüksek işletme masraflarını sınırlamak ve sistem güvenilirliğini artırmak için şebekeden bağımsız olarak birden fazla YES'ten paralel şekilde faydalanarak, bir başka deyişle her aday bölgede mevcut olan yenilenebilir enerji potansiyelini temel alan enerji sistemlerinin kurularak güçlendirilmesini önermektedir. Aslında hibrit bir enerji sistemi yalnızca YES veya küçük bir termal güç ünitesi (örneğin dizel elektrik jeneratörü ya da küçük bir gaz türbini) ile kullanıldığında, iki veya daha fazla elektrik üretim seçeneğine ve enerji depolama için elektronik devreye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bağlamda, bir hibrit enerji sistemi birden fazla YES'in, bir başka deyişle rüzgâr/güneş/hidro-güç ve hatta biyokütle sisteminin potansiyelini birleştirmektedir. Bunun yanı sıra yakın gelecekte jeotermal ve dalga enerjisinin de kullanımı beklenmektedir [20].

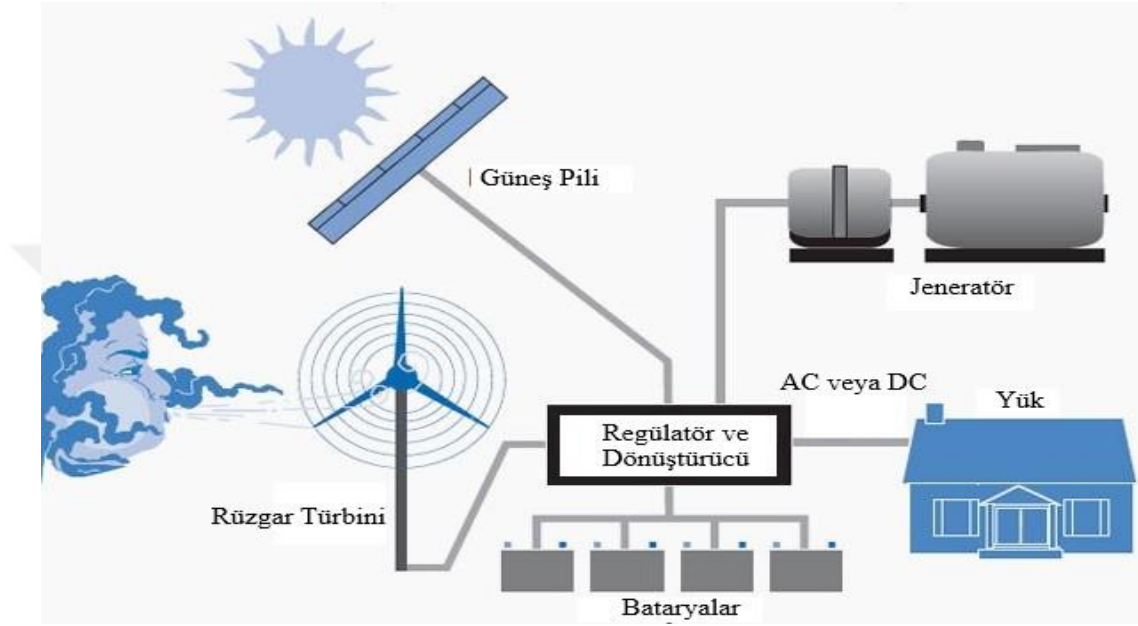
2.1. Hibrit Güç sistemleri

Hibrit sistemler, en az iki enerji kaynağının bir araya gelerek enerji ürettiği sistemlerdir. Farklı enerji kaynaklarının bir arada kullanılmasının çeşitli nedenleri olabilmektedir. Rüzgâr ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının dezavantajları sürekliliklerinin bulunmamasıdır. Rüzgârın kış ayları için sürekliliği kabul edilebilmesine rağmen yaz ayları için bu durum söz konusu değildir. Çünkü güneş ışınlarının en kuvvetli ve parlak olduğu yaz aylarında rüzgâr hızı düşüktür. Rüzgâr ve güneş enerjisi sistemlerinde enerji üretimi, günün ve yılın değişik zamanlarında farklılık gösterir. Rüzgâr hızının yetersiz olduğu günlerde alternatif olarak güneş enerjisinden istifade edilebilir. Böylece enerji üretiminin devamlılığı sağlanmış olur. Ayrıca bu sistemlere dizel jeneratörler de eklenerek güç eksikliği karşılanabilir. Hibrit sistemlere PV-rüzgâr, PV-rüzgâr-dizel, rüzgâr-dizel gibi enerji sistemleri örnek olarak verilebilir [1].

Bir hibrit enerji sistemi şebekeye bağlı veya şebekeden bağımsız olabilir. Genellikle kırsal bölgelerde uzaklık fazla olduğundan büyük merkezli elektrik şebekelerinden bağımsızdırlar. Bu sistemlerde bireysel güç kaynakları, toplam yükün farklı yüzdelerini

sağlamalıdır. Son yıllarda hibrit enerji sistemin önemi gittikçe artmaktadır. Tamamen hidro-karbon yakıtına dayanan sistemlere kıyasla uygulanabilir bir alternatif çözüm olarak görülmeye başlanmıştır. Hibrit enerji sistemi özellikle kırsal ve uzak bölgelerde yaşayan tüketicilerin yaşam standartlarını kolaylaştırmakta ve en uygun hale getirmektedir [21].

Şekil 2.1’de şebekeden bağımsız bir PV-rüzgâr-dizel hibrit sistemin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.1. PV-Rüzgâr-Dizel Hibrit Sistemi [1].

2.1.1. Hibrit Enerji Sistemlerinin Avantajları

Hibrit enerji sistemlerinin birçok avantajları olmakla birlikte bunlar; [20]

- Birden fazla elektrik üretim kaynağı temelli olduğu için, hibrit enerji sisteminin artan güvenilirliği,
- Özellikle kullanılan farklı YES'in tamamlayıcı özellik gösterdiği durumlarda, enerji depolama kapasitesini küçültmesi,
- Özellikle fotovoltaik (PV) panellerin kurulumunun kurşun-asit bataryalar gibi klasik enerji depolama aygıtlarının kullanıldığı durumlarda, sınırlı bakım ve işletim maliyeti sunması,
- Özellikle hibrit enerji sisteminin hiçbir fosil yakıt kullanmadığı (sadece YES temelli hibrit enerji sistemleri) durumlarda, optimum çevre dostu olması,

- Özellikle hibrit enerji sisteminin optimum tasarım teknikleriyle kurulduğu durumlarda, fosil yakıt fiyatlarının zamanla değişimine bağlı olmayan, minimum yaşam-boyu elektrik üretim maliyetinin oluşu şeklinde sıralanabilir.

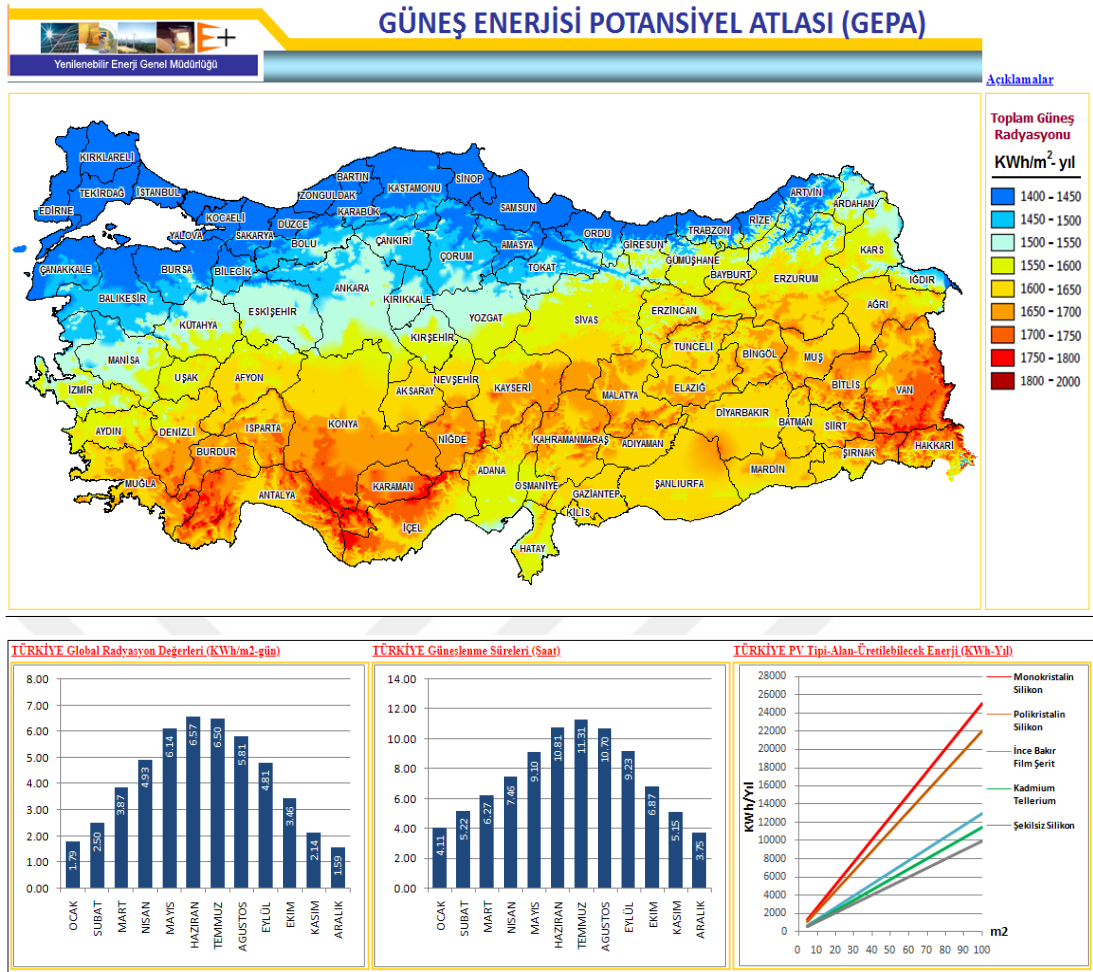
2.1.2. Hibrit Enerji Sistemlerinin Dezavantajları

Hibrit enerji sistemlerinin avantajlarının yanında dezavantajları da vardır. Bunların bazıları aşağıda verilmiştir; [20]

- Çoğu durumda hibrit enerji sistemi daha büyük boyutlandırılmıştır. Çünkü sistem tasarımcıları her bir sistem bileşeninin yük talebini diğer enerji kaynaklarının katılımı olmadan sağlayabilmek için uğraşırlar. Bu olumsuz durum yeni boyutlandırma algoritmaları kullanılarak çözülebilir.
- Uzun vadedeki maliyetinin düşük olmasının yanı sıra ilk kurulum maliyeti yüksektir. Bu yüksek kurulum maliyeti bazı potansiyel yatırımcıları çekimser hale getirmektedir.
- Farklı teknolojilerin uygulanması şebekeden bağımsız sistemlere bir derece karmaşıklık getirir (özellikle elektronik kontrol aygıtlarında ve bakım ve işletim prosedürlerinde). Bu durum özellikle uzaktaki tüketiciler için ciddi bir problemdir.
- Termal ünitelerin (örneğin dizel elektrik jeneratörleri) ve bataryaların kullanılmasının çevresel etkiler ile ilişkisi vardır. Bu yüzden bu YES-temelli sistemlerin çevre dostu özelliklerini düşürmektedir.

2.2. Güneş Santralleri

Güneş enerjisi, güneş ışığının olduğu her yerde kolayca bulunabilen en bol yenilenebilir enerji kaynağıdır. Ayrıca güneş enerjisi, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarıyla karşılaştırıldığında toplam maliyeti nispeten daha düşük ve kullanılması kolaydır. Güneş enerjisinin kirlletici olmama, zarar açısından minimum çevresel etkiye sahip olma gibi avantajları vardır. Güneş ışığından oldukça fazla miktarda enerji elde edebilmek için büyük bir toplama alanına gerek duyulmaktadır. Tarihsel olarak, insanlar alanı ısıtma, aydınlatma ve sıcak su üretmek için güneş ışığını kullanmışlardır. Günümüzde güneş enerjisinden faydalanmak genellikle güneş ışığını doğrudan ya da dolaylı olarak elektriğe dönüştürmek ve sonra üretilen elektrik gücünü hemen kullanmak ya da elektrik şebekesine geri göndermek ya da ileride kullanmak üzere enerji depolama sistemlerinde fazla kullanılmayan elektrik gücünün depolanması yollarına gidilmiştir. Alternatif olarak güneş enerjisini elektriğe çevirmek için termoelektrik malzemeler de kullanılabilir. Gelişmiş ülkelerde yaşayan çoğu insan hâlihazırda buzdolabı, klima, telefon, televizyon ve bilgisayar gibi elektrikli aletler ile mümkün olan konforlu bir yaşam için güneş enerjisini kullanılmaktadır. Dünyanın enerji tüketiminin kaynaklarının başında fosil yakıtlar, nükleer santraller ve çok sınırlı derecede yenilenebilir enerji santralleri gelmektedir. Fosil yakıt enerjisi üretimi, nükleer ve yenilenebilir kaynakların bir araya getirilmesinden çok daha büyük bir kaynaktır. Fosil yakıt, bir gün tükenecek olan sınırlı bir doğal kaynaktır. Fosil yakıtların kitlesel tüketimi, iklim değişikliği ve çevre kirliliği sorunlarına neden olan aşırı CO₂ emisyonları gibi olumsuz çevresel etkiye de sahiptir. Güneş enerjisi, dünyanın en büyük enerji kaynağını temsil ettiğinden ve rüzgâr enerjisi, hidroelektrik, jeotermal, biyokütle ve biyoyakıt ile kıyaslandığında minimum olumsuz çevresel etkileri olduğundan dolayı yenilenebilir enerji sektöründeki küçük bir yüzdesine hala güvenmektedir. Güneş enerjisi, hem kentsel hem de uzaktaki kırsal bölgeler için uygun olmasının yanı sıra konut ve şebeke ölçekli geliştirme için de uygun bir enerji kaynağıdır. Güneş enerjisi, maliyetini düşürmek ve enerji dönüşüm verimliliğini artırmak için güneş teknolojisi araştırmalarındaki ilerlemelerin sonucunda gezegenimizin ana enerji kaynağı olacaktır [22]. Şekil 2.2’de Türkiye’nin ortalama güneş yoğunlukları verilmiştir.



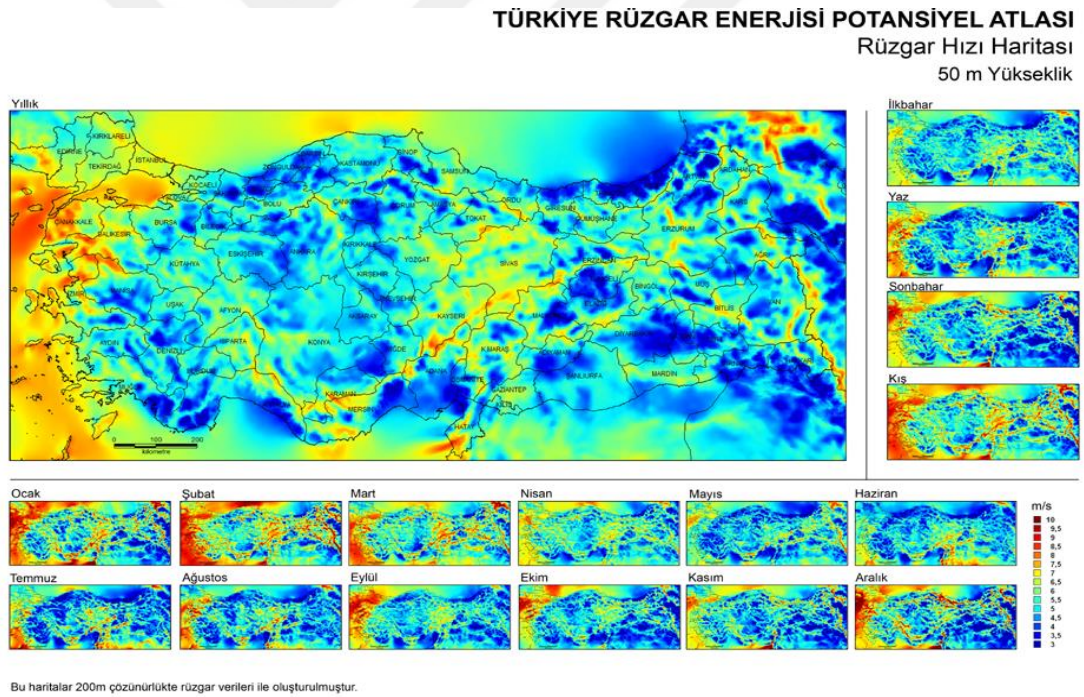
Şekil 2.2. Türkiye'nin Ortalama Güneş Yoğunlukları [23].

2.3. Rüzgâr Santralleri

Global rüzgâr enerjisi, dünyanın enerji ihtiyacını karşılayabilecek potansiyele sahiptir ve fosil kaynaklardan farklı olarak, hemen hemen her yerde mevcuttur [24]. Geçtiğimiz on yıl boyunca, temiz ve yenilenebilir bir kaynak olarak rüzgâr enerjisinin kullanımı küresel ilgiyi çekmiştir. Bir rüzgâr türbini, kinetik rüzgâr enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren bir mekanik sistemdir. Öte yandan, rüzgâr türbinleri hala titreşim, korozyon ve sıcaklık değişiklikleri gibi potansiyel problemlerden zarar görmektedir (Örneğin üretim kapasitesini etkileyebilecek ve tüm sistemin kayda değer arıza süresine neden olabilecek motor, sensör, bıçak ve vites kutusunda). Açık denizde kurulan birçok rüzgâr santralinde arıza meydana geldiğinde bakım maliyeti yüksek olmaktadır ve müdahale edilmesi çok tehlikelidir. Geri dönüşü olmayan olası hasarı önlemede mümkün olan en erken zamanda sistemdeki arızaların otomatik olarak tespit edilmesi

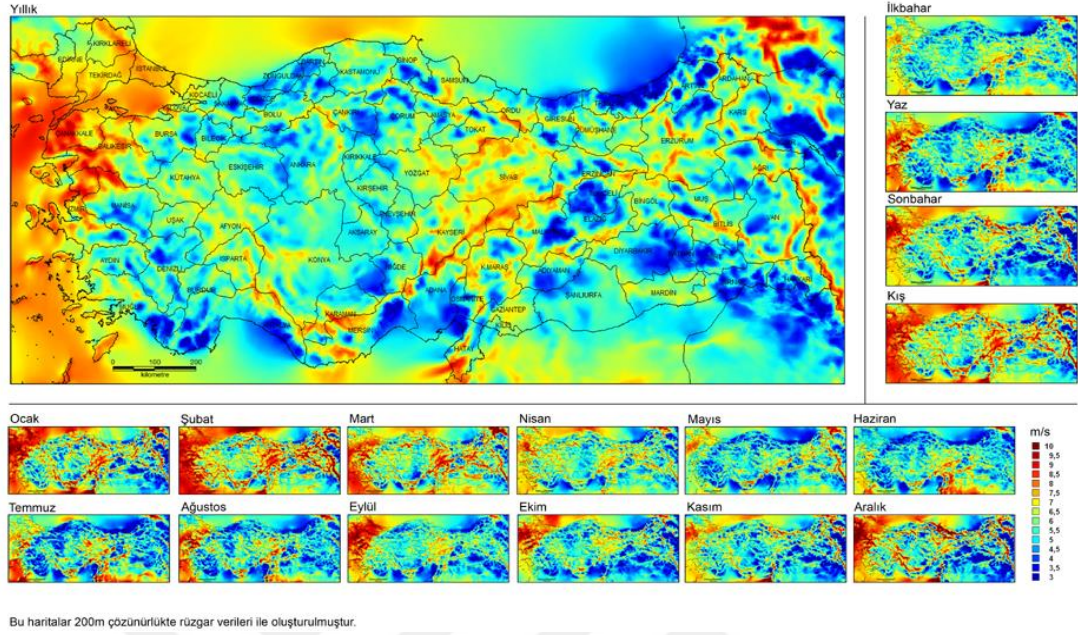
gerekmektedir. Uygulama noktalarından rüzgâr türbinleri için birkaç arıza tespit sistemi başarılı bir şekilde geliştirilmiştir. Önerilen yaklaşımların çoğu, rüzgâr türbinlerinin fiziksel modeline ve yerleşik modeline bağlı olup arıza teşhis tekniklerinin doğrudan uygulanabilmesine dayanır. Bununla birlikte pratikte bir rüzgâr türbini modellemesi, modele dayalı yaklaşımların uygulanmasını sınırlandıran zor bir görevdir. Model tabanlı arıza tespit tekniklerinin araştırılmasına paralel olarak, veriye dayalı yöntemler günümüzde oldukça dikkat çekmektedir [25]. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü'nün (YEGM) ölçüm merkezlerinden aldığı verilerle aracılığıyla bölgelerin ortalama rüzgâr hızları ve hangi bölgenin rüzgâr enerji santralleri için elverişli olduğunu belirlenmektedir. Bu sayede Türkiye rüzgâr enerji potansiyel atlası (REPA) oluşturulmaktadır [26].

Şekil 2.3 ve Şekil 2.4'te 50 ve 100 metre yükseklikteki rüzgâr hızının enerji potansiyelleri verilmiştir.



Şekil 2.3. Türkiye rüzgâr hızı enerjisi potansiyel atlası [26].

TÜRKİYE RÜZGAR ENERJİSİ POTANSİYEL ATLASI
Rüzgar Hızı Haritası
100 m Yükseklik



Şekil 2.4. Türkiye rüzgâr hızı enerjisi potansiyel atlası [26].

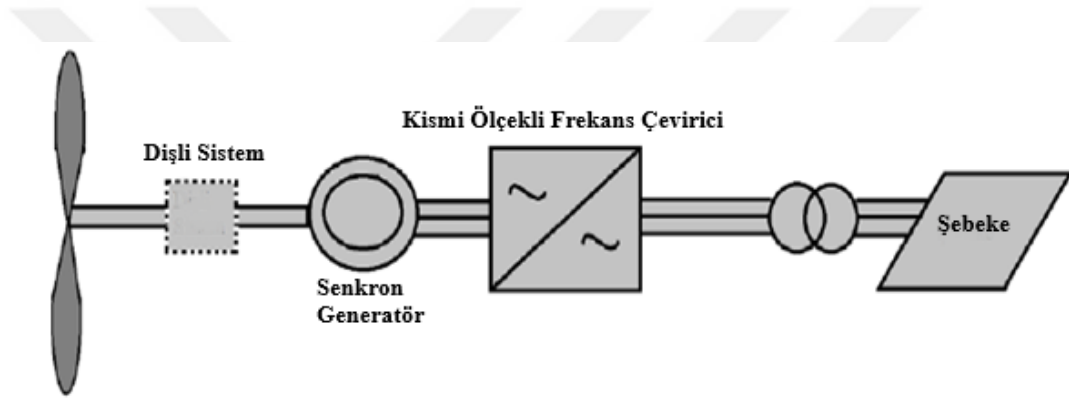
2.4. Senkron Generatörler

Senkron generatörler, elektrik gücü alternatif akım türünden elektrik gücüne çevirmek için kullanılan makinalardır. Genaratörler, türbinler ile kendisine iletilen mekanik gücü, elektrik enerjisine dönüştürürler. Dönüştürülen alternatif gerilimin frekansı hem kutup sayısına hem de rotorun dönüş hızına bağlıdır. Generatör, mıknatıs alanı içerisinde endüksiyon yolu ile bir elektromotor kuvvet oluşması ilkesine göre çalışır [27].

Senkron generatörler; rotoru sargılı senkron generatörler ve sürekli mıknatıslı senkron generatörler olarak ikiye ayrılırlar. Rotoru sargılı senkron generatörlerin stator sargıları doğrudan şebekeye bağlanır ve böylece dönüş hızı besleme şebekesinin frekansı ile sabitlenir. Rotor sargısı, dönen bir doğrultucusu olan fırçasız bir uyarıcı ile ya da kayan bilezik ve fırça sistemi kullanılarak uyarılır. Rotoru sargılı senkron generatör, asenkron generatörler gibi herhangi bir ilave reaktif güç kompanzasyon sistemine ihtiyaç duymazlar. Doğru akımın aktığı rotor sargısı uyarıcı alanı oluşturur ve bu alan senkron hızda döner. Senkron generatörün hızı dönen alanın frekansı ve rotordaki kutup çifti sayısı tarafından belirlenir. Senkron generatörlerin dişli kutusuna ihtiyaç duymuyor olmaları sistem açısından avantaj olsa da, büyük ve ağır generatör ve sistemin tam gücünü kaldırması gereken tam ölçekli bir güç konverterine ihtiyaç olması gibi dezavantajlara sahiptirler.

Senkron makinanın rotorunda bulunan doğru akım uyarım sargıları sürekli mıknatıslar ile yer değiştirilerek rotorda meydana gelen manyetik akı sürekli mıknatıslar tarafından sağlanırsa sürekli mıknatıslı senkron makina elde edilmiş olunur. Mıknatısların kullanılması, çalışma prensibi ve tasarım açısından senkron makinalar için çok elverişlidir. Rotoru sargılı senkron makinaya göre dinamik performansı daha da artmış olur. Senkron makinaların statorunda asenkron makinalarındaki gibi üç fazlı sargı bulunur. Rotorda sargı yerine sürekli mıknatısın kullanılmasıyla fırça ve kollektörden kaynaklanan sakıncalar da giderilmiş olunur. Bunun yanı sıra, uyarma kayıpları ortadan kalktığı için termik sınırlar genişlemekte ve aynı hacimli bir makinadan daha büyük güçler elde edilebilmektedir [28].

Şekil.2.5’ de Senkron generatörlerin şebekeye bağlantı şeması verilmiştir.

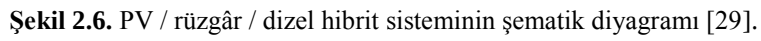


Şekil.2.5. Senkron generatörlerin şebekeye bağlantı şeması [28].

2.5. Dizel Jeneratörler

Son yıllarda rüzgâr ve güneş enerjisine dayanan yenilenebilir enerji sistemlerinin sağladığı yeni teknolojik çözümler oldukça yüksek büyüme oranlarına sahiptir. Güneş ve rüzgâr enerjisi sistemleri her yerde mevcuttur ve serbestçe kullanılabilir. Çevre dostu olması ve topolojik avantajları nedeniyle gelecek vaat eden güç kaynakları olarak kabul edilir. [29]. Dizel jeneratörler, yüksek güvenilirlik ve düşük yakıt kullanımından dolayı birçok sektörde büyük ölçüde kullanılmaktadır. Ani kesinti durumunda ise yedek güç kaynakları olarak kullanılmakta ve üretim işlemlerinin devam etmesini sağlamaktadır. Jeneratör grubu (genset) denetleyicisi jeneratörlerin düzgün işleyişini izleme ve kontrol etme imkânı sağlamaktadır. Mevcut jeneratör kontrolörlerinden bazıları motorun uzaktan başlatma ve durdurma, jeneratörün güç ölçümlerini okuma ve ayarlanabilir parametrelerini modifiye etme gibi işlevleri sağlamaktadır. Dizel jeneratörü bir set olarak dizel motoru,

Şekil.2.6’ da hibrit bir sistemde fotovoltaik panel, rüzgâr türbini ve dizel jeneratörünün bağlantısı verilmiştir.

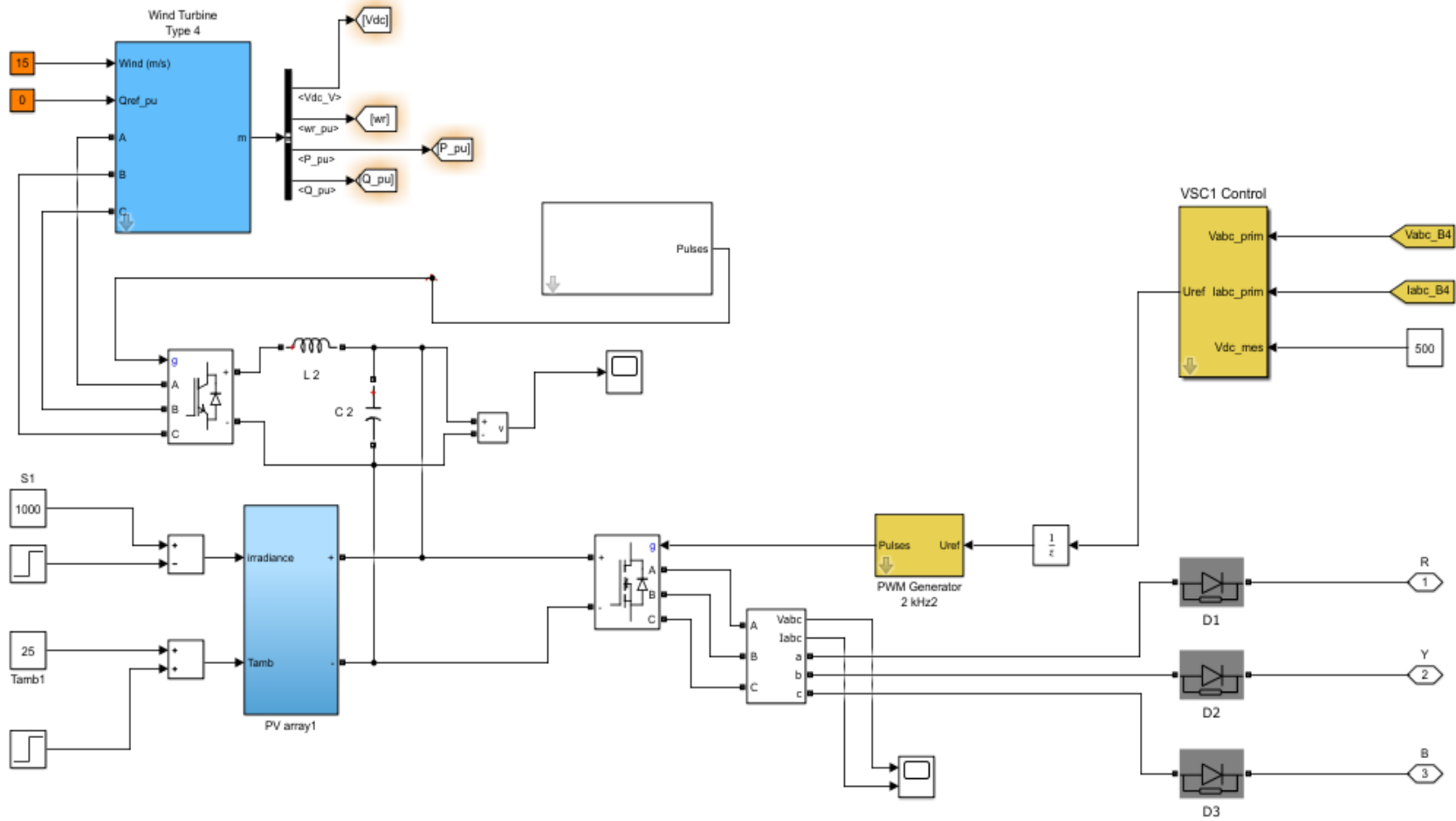


3. SİSTEM MODELİ VE BENZETİM ÇALIŞMASI

3.1. Benzetimi Yapılan Sistem Modeli

MATLAB/Simulink programı kullanılarak rüzgar enerji santrali ve fotovoltaiik güneş santrali ile senkron generatöre bağı bir hibrit güç sistemi hazırlanmış ve Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Rüzgâr ve PV Hibrit sisteminin modeli MATLAB/Simulink programı kullanılarak hazırlanmış ve Şekil 3.2’de gösterilmiştir.

Sistem parametrelerin gerçek sistemlerde olduğu gibi rastgele atanabilmesi için ayrı bir matlab programı yazılmıştır. Güç sistemi modeli için hazırlanan program 7 defa çalıştırılmış ve toplam 497 (7x71) arıza simülasyonu verisi elde edilmiştir. Ölçümlerin hem senkron generatör hem de rüzgar, güneş santrali tarafında üç faz akım ve gerilim değerleri için yapıldığı düşünüldüğünde oldukça büyük bir veri seti elde edilmiştir. Simülasyonda kullanılan örnekleme frekansı 20 kHz’dir. Simülasyon çalışmasından elde edilen akım ve gerilim sinyalleri (-1, 1) aralığında normalize edilmiştir. Daha önce kaydedilen arıza başlangıç ve bitiş sürelerinden yararlanarak yarım periyot arıza öncesi, yarım periyot arıza sonrası olmak üzere toplam 1 periyotluk (400 örnek) sinyallere 12 seviyeli ayrık dalgacık dönüşümü uygulanmıştır. Elde edilen yaklaşık ve detay katsayıları için standart sapma, entropi, çarpıklık ve basıklık değerleri hesaplanarak özellik veri matrisinin boyutları düşürülmüştür. Oluşturulan nihai veri seti Matlab Regression Learner uygulamasına girişi ile birlikte arıza yeri tahminleri yapılmıştır.



Şekil 3.2. Rüzgâr ve PV hibrit sistemin MATLAB/simulink programında tasarımı

3.2. Sistem Parametreleri

Senkron generatörün bağlı olduğu hibrit güç sisteminin simülasyon çalışmasındaki senkron generatörün ve hat-1 ile hat-2 iletim hattının parametre değerleri Tablo 3.1, Tablo 3.2’de verilmiştir. Ayrıca üç fazlı transformatör, seri RLC yükünün ve rüzgâr türbinin parametre değerleri Tablo 3.3, Tablo 3.4 ve Tablo 3.5’de verilmiştir.

Tablo 3.1. Benzetim çalınmasında yer alan senkron generatörün özellikleri

Parametreler	Değerler
Fazlar arası gerilim (V_{rms-V}):	(25000)*1.00008
A fazının faz açısı (derece):	0.13223
Frekans (Hz):	50
Baz gerilimi ($V_{rms\ ph-ph} - V$):	63510.4
X / R oranı:	7

Tablo 3.2. Benzetim çalınmasında yer alan iletim hattının özellikleri

Parametreler	Değerler
Faz sayısı [N]:	3
Frekans (Hz):	50
Direnç (Ohm/km) [NxN matris] veya [r1 r0 r0m]:	[0.01273 0.3864]
İndüktans (H/km) [NxN matris] veya [l1 l0 l0m]:	[0.9337e-3 4.1264e-3]
Kapasitans (F/km) [NxN matris] veya [c1 c0 c0m]:	[12.74e-9 7.751e-9]
Hat uzunluğu (km):	100

Tablo 3.3. Benzetim çalınmasında yer alan üç fazlı transformatörün özellikleri

Parametreler	Değerler
Nominal güç ve frekans [P nominal (VA), F nominal (Hz)]	[100e3 50]
Nominal hat-hat gerilimleri [V1, V2] (V_{rms})	[63510.4 254.03]
Sargı dirençleri [R1, R2] (pu)	[0.01 0.01]
Yüksüz uyartım akımı (% I nominal)	2
Yüksüz durumdaki pozitif dizi kayıpları (W)	1000
Pozitif dizi kısa devre reaktansı X12 (pu)	0.06
Sıfır dizi kısa devre reaktansı X12 (pu)	0.03

Tablo 3.4. Benzetim çalınmasında yer alan üç fazlı seri RLC yükünün özellikleri

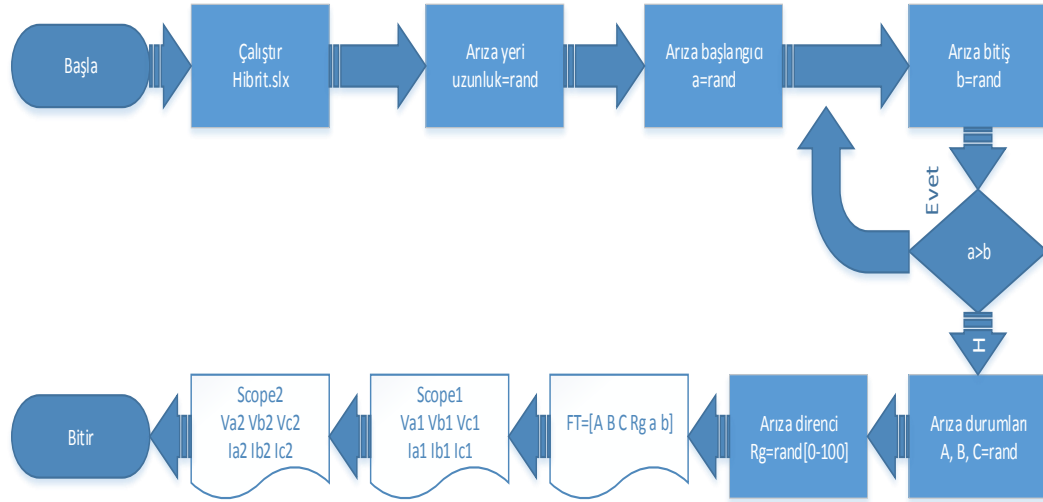
Parametreler	Değerler
Nominal faz-faz gerilimi V_n (Vrms)	254.04
Nominal frekans f_n (Hz):	50
Aktif güç P (W):	50e3
İndüktif reaktif güç Q_L (pozitif var):	100
Kapatif reaktif güç Q_c (negatif var):	0

Tablo 3.5. Benzetim çalınmasında yer alan Rüzgâr Türbini özellikleri

Parametreler	Değerler
Türbin sayısı	1
DC bara gerilim regülatörü [K_p K_i]:	[1.1 27.5]
Gerilim regülatörü	2
Akım regülatörü	[1 50]
Hız regülatörü	[5 1]

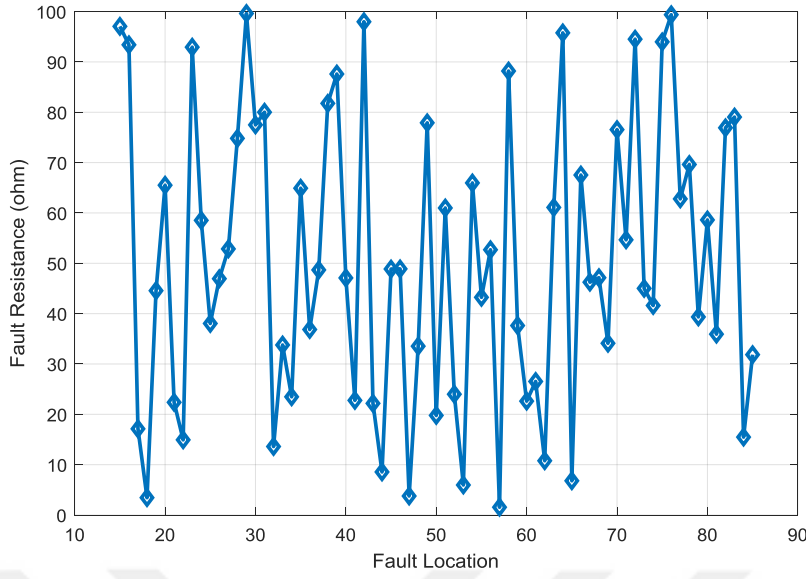
3.3. Hibrit Güç Sisteminde Arıza Benzetimleri

Matlab/Simulink ortamında farklı arıza benzetimleri oluşturmak için bir matlab programı yazılmıştır. Hazırlanan bu program hat-1 ve hat-2 uzunluklarını 1'er km aralıklarla 15 ve 85 km aralığında otomatik olarak değiştirerek her defasında 71 farklı arıza durumu meydana getirmektedir. Bu program sayesinde arıza başlangıç ve bitiş süreleri, arıza tipleri ve arıza direnci rastgele ve otomatik olarak seçilmektedir. Bu program ile istenildiği kadar farklı arıza durumu oluşturulabilmektedir. Çalışmada, yazılan matlab kodu 7 kez çalıştırılmış ve 497 farklı arıza benzetimi yapılarak elde edilen akım ve gerilim sinyalleri kaydedilmiştir. Rüzgar enerji santrali ve fotovoltaiik güneş santrali ile senkron generatör içeren hibrit güç sistemi modelinde meydana getirilen farklı arıza durumları için oluşturulan matlab yazılımına ait akış diyagramı Şekil 3.3'de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Arıza benzetimi ve arıza verilerinin toplanması

Başlangıç zamanı (a), bitiş zamanından (b) büyük ise ($a > b$) ise her defasında yeni b değerleri üretilmektedir. Bu işlem $a < b$ oluncaya kadar tekrarlanmaktadır. Aynı zamanda arıza durumları da rastgele belirlenmektedir. A, B, C fazları sıfır (0) ya da bir (1) değerlerini rastgele almaktadır. Örneğin: ABC değerleri: 100 olarak üretilmiş ise arıza durumu A fazı-toprak olarak seçilecektir. ABC değerleri 000 ise herhangi bir arıza olmadığı anlaşılmaktadır. Arıza direnci 0 ile 100 ohm arasında rastgele seçilmektedir. Bu parametrelerden arıza analizi sırasında yararlanabilmek için rastgele üretilen arıza durum bilgisi, arıza direnci, arıza başlangıç ve bitiş süreleri kaydedilmiştir. Her seferinde farklı değerler üretilerek otomatik olarak çalıştırılan hibrit sistem modelinde senkron generatör tarafından ve rüzgar ve güneş santrallerinin bulunduğu taraftan ölçülen üç faz akım ve gerilim sinyalleri kaydedilmiştir. Farklı yerlerde arıza direncinin değişimi Şekil 3.4'de verilmiştir. Farklı arıza tipi oluşum sıklığı değerleri Şekil 3.5'de verilmiştir.



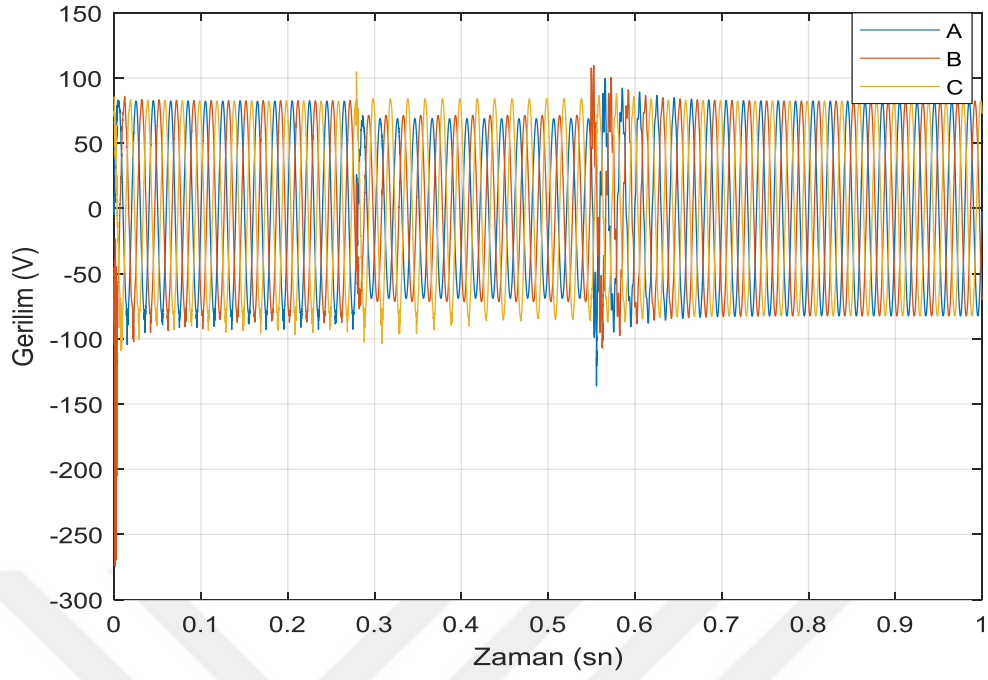
Şekil 3.4. Farklı arıza konumlarında arıza direncinin değişimi



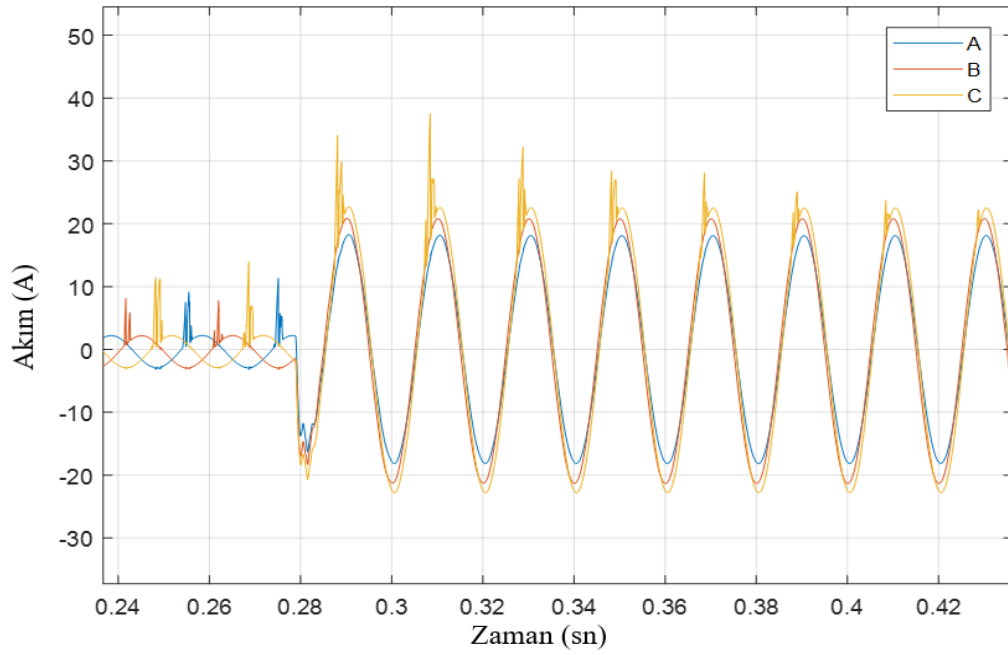
Şekil 3.5. Farklı arıza tiplerinin meydana gelme sıklığı

3.4. Benzetim Sonuçları

Rastgele oluşturulan arıza durumu bilgisi (A,B,C), arıza direnci (R_g), arıza başlangıç (a) ve bitiş zamanları (b) bir FT matrisinde $FT = [A \ B \ C \ R_g \ a \ b]$ olarak kaydedilmiştir. Şekil 3.6 ve Şekil 3.7’de iletim hattının 15. kilometresinde meydana gelen, güneş ve rüzgâr santrallerinin bağlı olduğu B3 barasından ölçülen bir AB fazı-toprak (G) arızasına ait 3 faz gerilim ve akım sinyalleri gösterilmiştir.

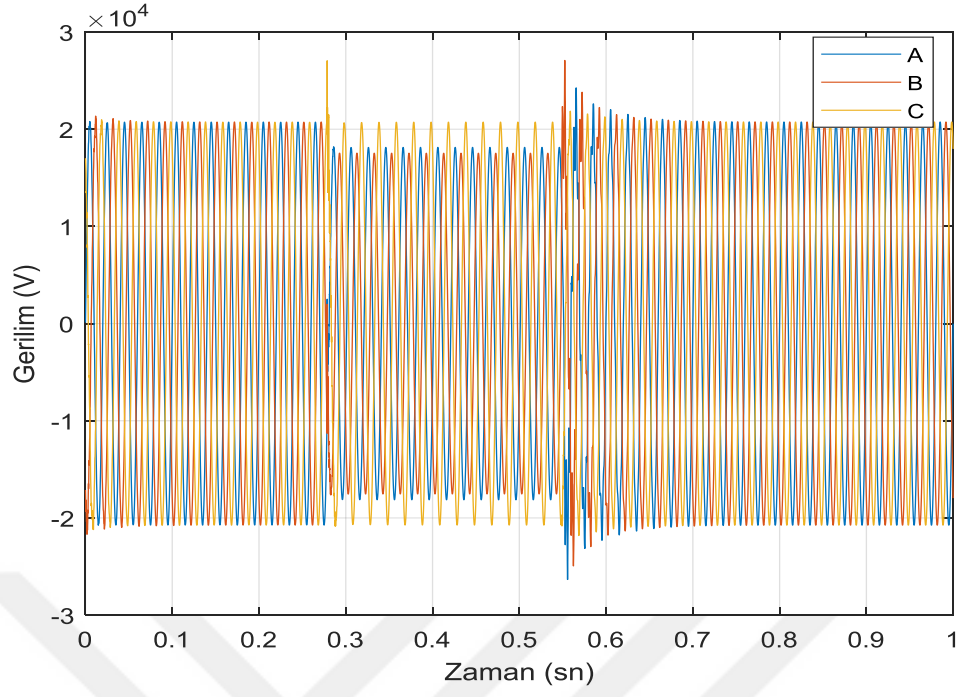


Şekil 3.6. 15. km’de B3 den itibaren ölçülen ABG arızasına ait gerilim sinyalleri

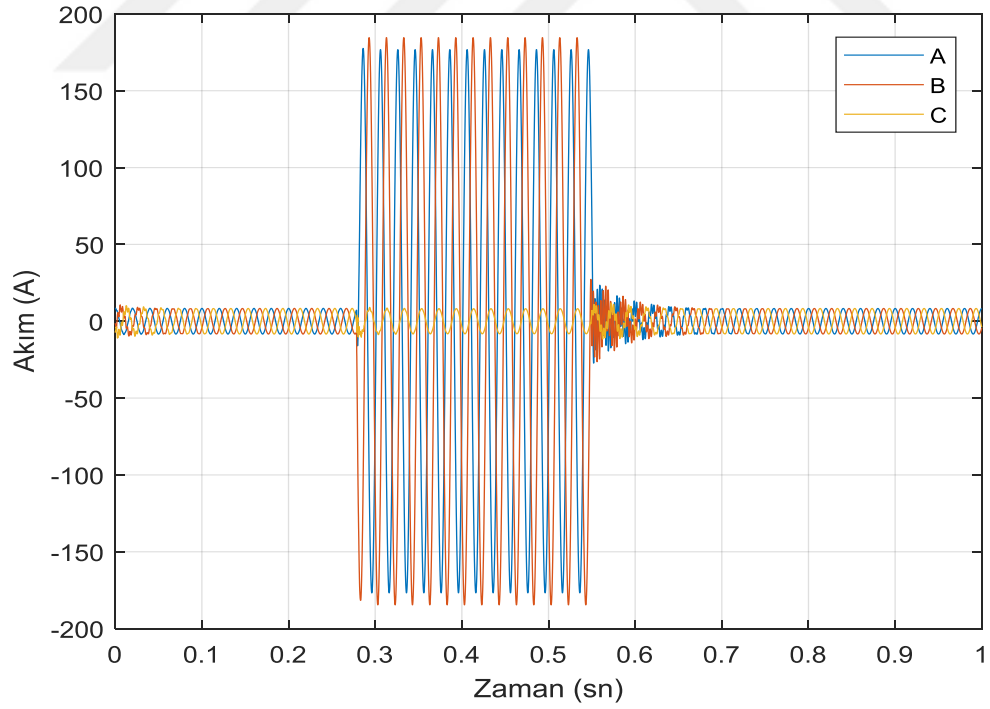


Şekil 3.7. 15. km’de B3 den itibaren ölçülen ABG arızasına ait akım sinyalleri

Yine iletim hattının 15. kilometresinde meydana gelen bir iki faz-toprak (ABG) arızasına ait gerilim ve akım sinyalleri ise senkron generatörün bağlı olduğu B1 barasından yapılan ölçümler Şekil 3.8 ve Şekil 3.9’da gösterilmiştir.

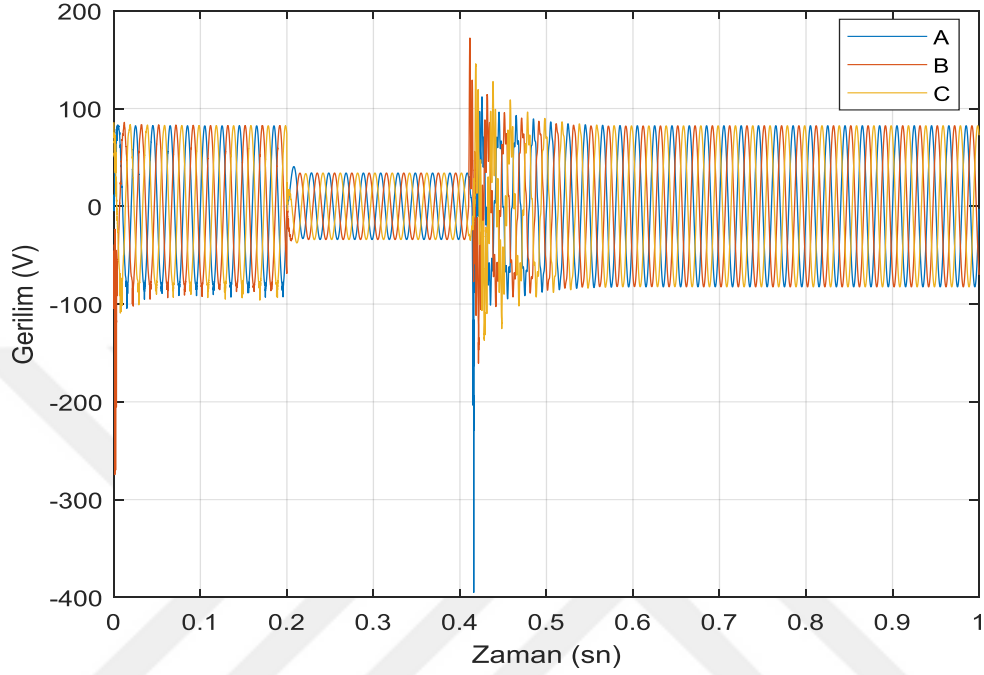


Şekil 3.8. 15. km’de B1 den itibaren ölçülen ABG arızasına ait gerilim sinyalleri

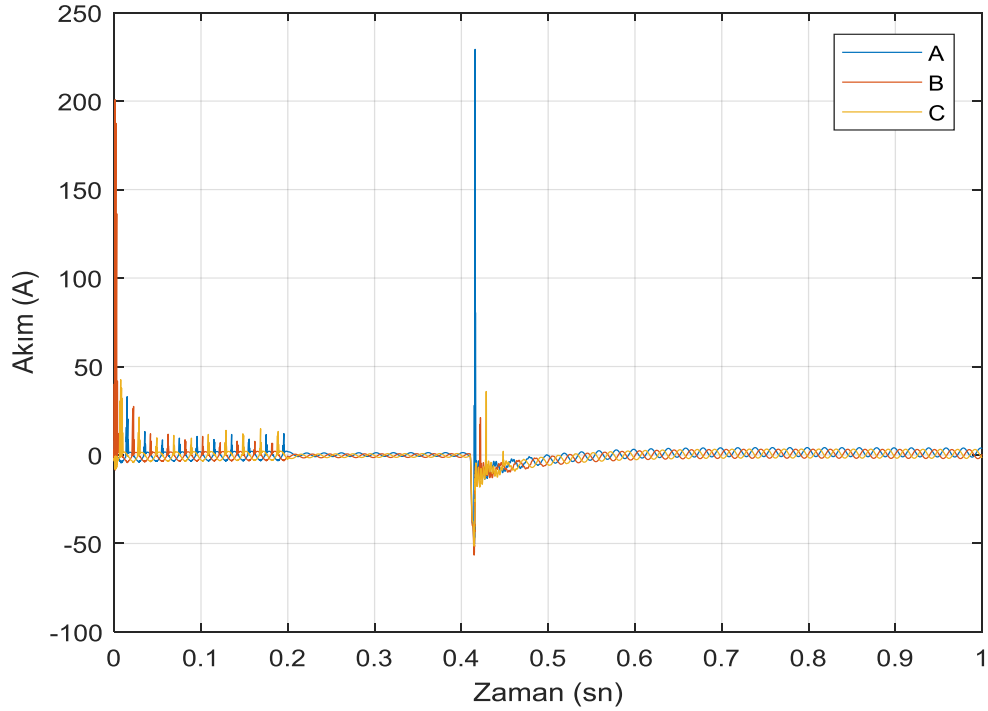


Şekil 3.9. 15. km’de B1 den itibaren ölçülen ABG arızasına ait akım sinyalleri

Şekil 3.10 ve Şekil 3.11’de iletim hattının 85. kilometresinde meydana gelen, güneş ve rüzgâr santrallerinin bağlı olduğu B3 barasından ölçülen bir AB fazı-toprak (G) arızasına ait 3 faz gerilim ve akım sinyalleri gösterilmiştir.

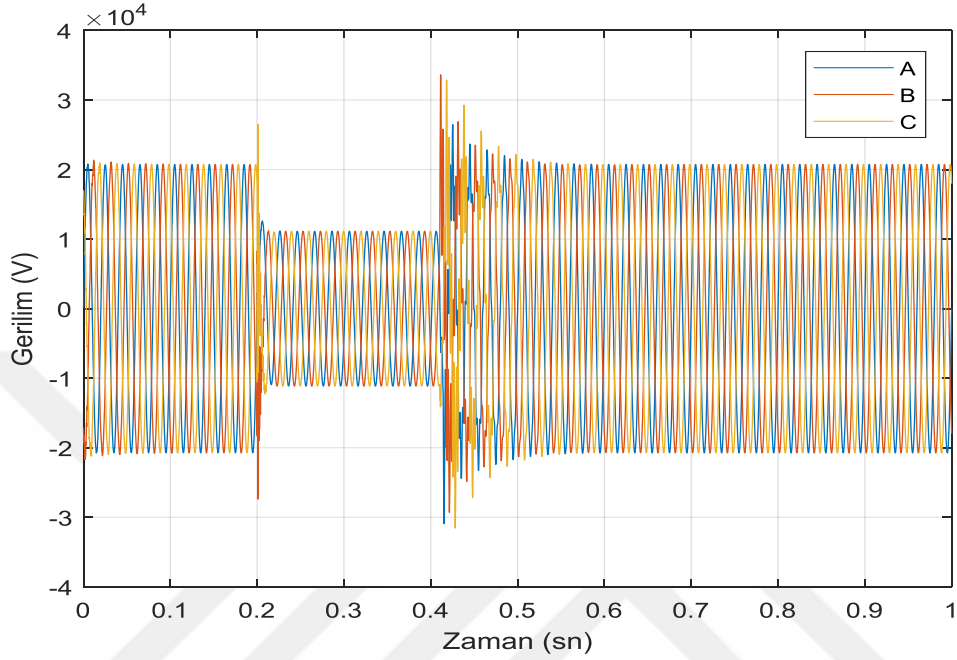


Şekil 3.10. 85. km’de B3 den itibaren ölçülen ABG arızasına ait gerilim sinyalleri

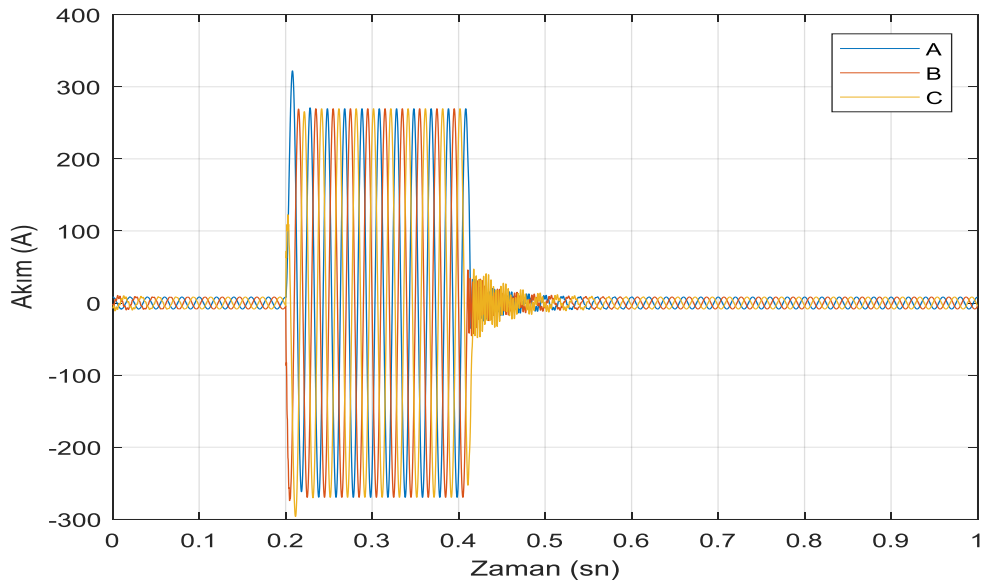


Şekil 3.11. 85. km’de B3 den itibaren ölçülen ABG arızasına ait akım sinyalleri

Yine iletim hattının 85. kilometresinde meydana gelen bir iki faz-toprak (ABG) arızasına ait gerilim ve akım sinyalleri ise senkron generatörün bağlı olduğu B1 barasından yapılan ölçümler Şekil 3.12 ve Şekil 3.13’de gösterilmiştir.



Şekil 3.12. 85. km’de B1 den itibaren ölçülen ABG arızasına ait gerilim sinyalleri



Şekil 3.13. 85. km’de B1 den itibaren ölçülen ABG arızasına ait akım sinyalleri

Simölasyon yuکاریda belirtilen adımlar tekrarlanarak yedi kez çalıştırılmış ve toplamda 497 arıza elde edilmiştir. Özellik matrisinin boyutu [497 x 624] olmuştur. Özellik matrisinde 497 arızayı, 624 ise özelliğı temsil etmektedir.



4. AKIM VE GERİLİM DALGA ŞEKİLLERİNDEN ÖZELLİK ÇIKARIMI

Bu çalışmada sayısal işaret işleme yöntemlerinden en çok tercih edilen dalgacık dönüşümü yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca birbirinden farklı yaklaşımların özellik çıkarımı aşamalarına, matematiksel gösterimlerine, birbirleri arasındaki avantajları ve dezavantajlarına da yer verilmiştir.

4.1. Dalgacık Dönüşümü

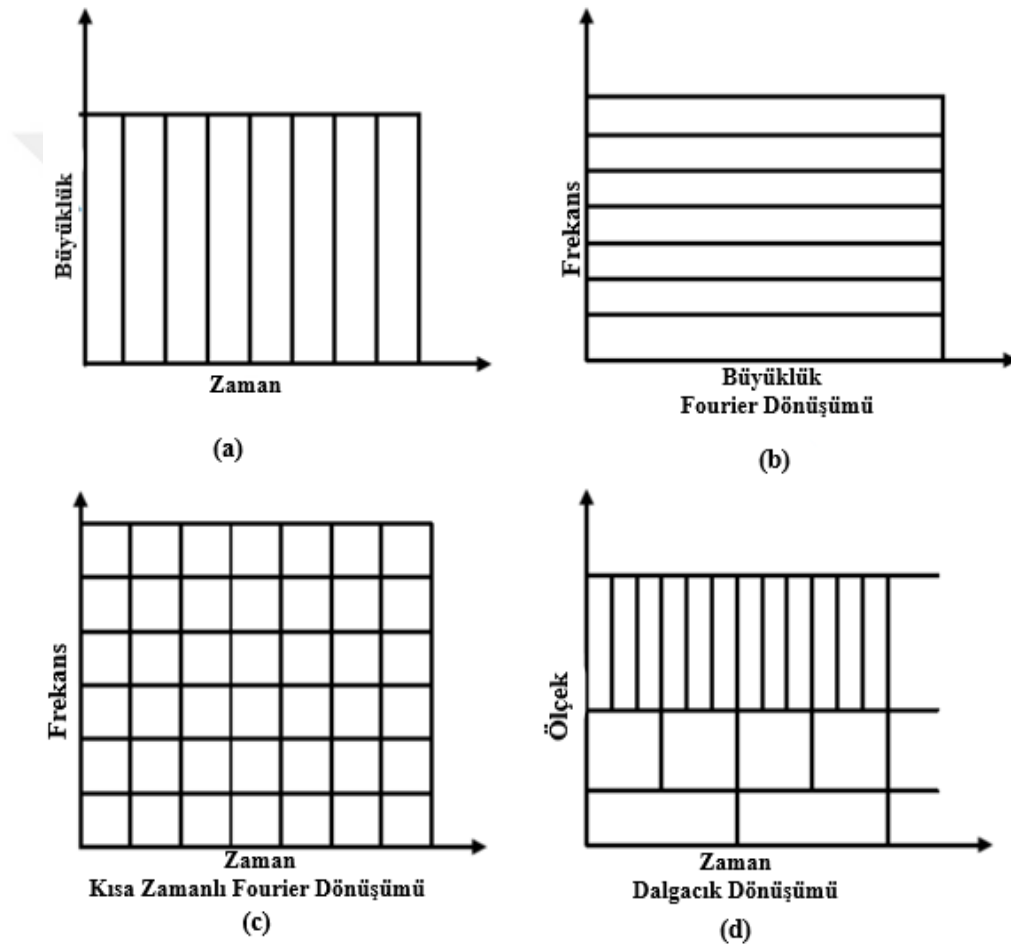
Dalgacık Dönüşümü, 1980'lerin başında tanıtılmış ve o zamandan beri konuşma ve görüntü işleme alanlarında büyük ilgi görmüştür. Son zamanlarda ise daha çok enerji sektörüne yönelik potansiyel uygulamalar ile ilgili konular üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Dalgacık dönüşümü (DD), çok işlevli analizlerde kullanarak sinyalleri farklı frekans bantlarına bölme yeteneğine sahiptir. Frekansları tespit etmek ve iletim hattındaki mesafeyi koruması için gerekli olan gerilimin ve akım sinyallerinin fazlarını tahmin etmek için kullanılabilir [31].

Dalgacık teorisi ve uygulamaları, uygulamalı matematikte ve sinyal analizinde hızla gelişen alanlardandır. Dalgacık dönüşümü, verileri, işlevleri veya kullanılan farklı frekans bileşenlerini ayıran ve ardından her bileşeni kendi ölçeğine uygun bir çözünürlükle değerlendiren bir araçtır [32].

Yapılan çeşitli araştırmalar sonucunda da yararlı olduğu kanıtlanmış olan dalgacık dönüşümünün, klasik Fourier ayrıştırma yöntemine yardımcı olduğu görülmektedir. Bu iki yöntem sinyal işleme için yeni geliştirilen matematiksel araçlardır. Tek bir temel işleve dayanan Fourier analizinin aksine, Dalgacık analizinde oldukça geniş ve sayısız temel fonksiyonları bulunmaktadır. Dalgacık dönüşümü Fourier Dönüşümüne benzer şekilde, sinyali küçük parçalara böler. Bununla birlikte Fourier dönüşümü, frekans sayısının sonsuz uzunluğa sahip olduğu kabul edilen ve değişmeyen sinüs dalgalarını kullanırken, Dalgacık dönüşümünü "ana dalgacık" olarak adlandıran düzensiz ve asimetrik sinyal parçalarının ölçekli ve başlangıç zaman periyodlarını kullanmaktadır. Sonrasında ise bu dalgacıkların kaydırılmış ve genişletilmiş versiyonlarını kullanarak analizleri gerçekleştirmektedir. Sinyallerin kısa süreli ve değişimi düzgün bir dalgacık yerine düzensiz bir dalgacık ile daha iyi analiz edilebilmektedir. Bu nedenle, Dalgacık dönüşümü daha iyi bir zaman-

frekans değerlerini sağlamaktadır. Dalgacık tekniğinde, gereken frekans ve zaman özellikleri seçilebilir haldedir. Bu özelliğiyle de Fourier tekniğinden ayrılır. Temel ilke, tek bir analiz penceresi kullanan kısa süreli Fourier dönüşümüne kıyasla Dalgacık dönüşümünün yüksek frekanslarda kısa pencereler ve düşük frekanslarda uzun pencereler kullanmasıdır [10].

Şekil 4.1’ de Fourier dönüşümü ve dalgacık dönüşümü arasındaki ilişki gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Fourier dönüşümü ve dalgacık dönüşümü arasındaki ilişki (a) zaman-büyüklik (b) Fourier dönüşümü (c) Kısa zamanlı Fourier dönüşümü (d) dalgacık dönüşümü [33].

4.1.1. Sürekli Dalgacık Dönüşümü (SDD)

Sürekli Dalgacık Dönüşümü (SDD), klasik Fourier Dönüşümü (FD)’ne benzer bir yapıya sahiptir. SDD’yi FD’den ayıran fark, FD incelenen sinyalin farklı frekanslardaki

sinüs ve kosinüs bileşenlerini toplarken, SDD sinyalin farklı ölçeklemelere (sıkıştırma ya da uzatma) sahip ötelenmiş dalgacıklardan oluştuğunu kabul eder. SDD' nin matematiksel denklemi 4.1' de gösterilmiştir [8].

$$SDD(s, \tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \psi_{s,\tau}^*(t) dt \quad (4.1)$$

Denklemdaki; $\psi_{s,\tau}^*(t)$ ana dalgacık (AD), τ öteleme faktörü, s ölçeklendirme katsayısı, $f(t)$ ise dalgacık dönüşümü yapılan sinyali temsil etmektedir. SDD, $f(t)$ sinyali ile $\psi_{s,\tau}^*(t)$ 'nin çarpımı olarak tanımlanmaktadır. AD fonksiyonu ise denklem 4.2' de gösterilmiştir [33].

$$\psi_{s,\tau}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \psi \left(\frac{t - \tau}{s} \right) \quad (4.2)$$

Bu denklemdaki $\left(\frac{1}{\sqrt{s}} \right)$ faktörü farklı ölçeklere sahip enerji normalizasyon faktörüdür. SDD' nin en genel denklemi ise denklem 4.3' te verilmiştir [33].

$$SDD(s, \tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \psi^* \left(\frac{t - \tau}{s} \right) dt \quad (4.3)$$

Sürekli dalgacık dönüşümü yönteminde detay ve yaklaşık katsayıların elde edilmesi aşamasında örnekleme sayısı sabit tutulurken, ayrık dalgacık dönüşümü yönteminde her seferinde örnekleme sayısı yarıya düşmektedir. Bu sayede her bir seviyedeki detay ve yaklaşık katsayılar daha az işlem yüküyle halledilmiş olmaktadır. SDD' nin uygulanma aşamasında karşılaşılan bazı zorluklar bulunmaktadır. Bunlardan bazıları, hesaplama işlemlerinin fazla olması ve analitik çözümünün olmamasıdır. SDD yönteminde meydana gelen bu tarz problemlerinin üstesinden gelebilmek için ADD yöntemi kullanılmaktadır [33].

4.1.2. Ayırık Dalgacık Dönüşümü (ADD)

Ayrık Dalgacık Dönüşümü (ADD), zaman ve frekansta bir sinyalin verimli bir şekilde hesaplanabildiği yoğun bir gösterimi sağlayan DD'nün özel bir durumudur [34]. ADD, giriş sinyalinin zaman, ölçek, ölçek katsayıları ve dalgacık katsayılarını bulmada kullanılır [31].

ADD yönteminde öteleme ve ölçeklendirme işlemleri ayırık adımlar uygulanarak yapılmaktadır. Bu işlem ise mesafeye bağlı olarak ayırık nümerik değerler çevresinde ötelenmekte veya ölçeklendirilmektedir. Genlik değişimi matematiksel olarak $\psi(2^k t + l)$ şeklinde gösterilmektedir.

Burada; l öteleme faktörü, k ise ölçeklendirme faktörü olarak düşünülebilir. Ayırık dalgacık dönüşümünde kullanılan ana dalgacık fonksiyonu denklem 4.4'de verilmiştir [8].

$$\psi_{j,k}(t) = \frac{1}{\sqrt{s_0^j}} \psi\left(\frac{t - k\tau_0 s_0^j}{s_0^j}\right) \quad (4.4)$$

Buradaki j ve k ve birer tamsayı, $s_0 > 0$ genişleme katsayısı, τ_0 ise genişleme katsayısına bağlı olan öteleme faktörüdür. Ayırık dalgacık dönüşümünde bahsedilmesi gereken bir diğer parametre ise ölçekleme fonksiyonudur. Bu fonksiyon ise detay ve yaklaşık katsayıların belirlenmesi aşamasında yardımcı olmaktadır. Ölçekleme ne kadar küçük olursa detay katsayıları o kadar fazla olmaktadır. Ölçekleme fonksiyonu denklem 4.5'de verilmiştir [33].

$$\varphi(t) = \sum_{j,k} \gamma(j,k) \psi_{j,k}(t) \quad (4.5)$$

Ölçekleme fonksiyonu ile dalgacık fonksiyonun çarpımı sonucunda bir önceki fonksiyonu da kapsayan yeni bir ölçek fonksiyonu elde edilmektedir. Bu işlem çoklu çözünürlük formülasyonu olarak adlandırılmaktadır. Çoklu çözünürlük formülasyonu herhangi bir seviyedeki ölçekleme fonksiyonunun bir alt kümesinde yer alan ölçekleme fonksiyonuyla ilişkili olduğu anlamına gelmektedir. Çoklu çözünürlük formülasyonu denklem 4.6'da verilmiştir [33].

$$\varphi(2^j t) = \sum_k g_{j+1}(k) \varphi(2^{j+1} t - k) \quad (4.6)$$

Denklem 4.5’de bahsedilen ölçekleme fonksiyonu yerine herhangi bir dalgacık seti yerleştirilirse, ölçeklendirme ve öteleme işlemlerine bağlı olarak denklem 4.7’de gösterildiği şekilde ifade edilebilir [33].

$$\varphi(2^j t) = \sum_k g_{j+1}(k) \varphi(2^{j+1} t - k) \quad (4.7)$$

Analizi yapılan $f(t)$ sinyalinin $j-1$ ölçeğine kadar genişletilen ve ötelenen bir dalgacık ailesine bağlı olarak ifade edilebileceği için, denklem 4.8’de gösterildiği şekilde genelleştirilebilir [33].

$$f(t) = \sum_k \lambda_j(k) \varphi(2^j t - k) \quad (4.8)$$

Bu denklemde yalnızca ölçekleme fonksiyonunun ayrık şekilde ötelenmesinden ve genişlemesinden bahsedilebilir. Bu denkleme bir dalgacık fonksiyonu eklenir ve ölçeği ile ifade edilirse denklem genel olarak 4.9’ da gösterildiği şekilde yazılır [33].

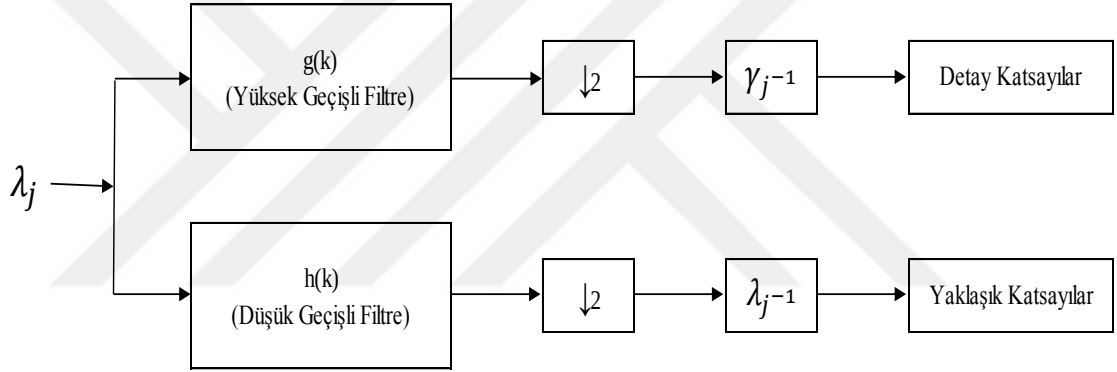
$$f(t) = \sum_k \lambda_{j-1}(k) \varphi(2^{j-1} t - k) + \sum_k \gamma_{j-1} \psi(2^{j-1} t - k) \quad (4.9)$$

Ölçekleme fonksiyonu $\varphi_{j,k}(t)$, dalgacıklar $\psi_{j,k}(t)$ ve ortonormal ise $\lambda_{j-1}(k)$ ve $\gamma_{j-1}(k)$ katsayılarını ifade etmektedir. Herhangi bir ölçekteki ölçekleme fonksiyonu katsayısı (λ) ve dalgacık fonksiyonu katsayıları (γ) bir önceki ölçekteki katsayıların ağırlıklı toplamıdır. Denklem 4.10 ve denklem 4.11’de ortonormal katsayıların matematiksel gösterimi verilmiştir [33].

$$\lambda_{j-1}(k) = \sum_k h(m - 2k) \lambda_j(m) \quad (4.10)$$

$$\gamma_{j-1}(k) = \sum_k g(m - 2k) \gamma_j(m) \quad (4.11)$$

Yukarıdaki denklemde $\lambda_j(k)$ katsayıları ayrıştırılmış sinyal spektrumunun alçak geçiş bandını temsil ettiği için $h(k)$ düşük geçişli filtre görevi görmektedir. Denklemde bahsedilen diğer dalgacık fonksiyonu katsayısı $\gamma_j(k)$ ayrıştırılmış sinyal spektrumunun yüksek geçiş bandını temsil ettiği için $g(k)$ yüksek geçişli filtre görevi görmektedir. Şekil 4.2’de ADD yönteminin işlem basamakları gösterilmiştir [33].



Şekil 4.2. ADD yöntemi işlem basamakları

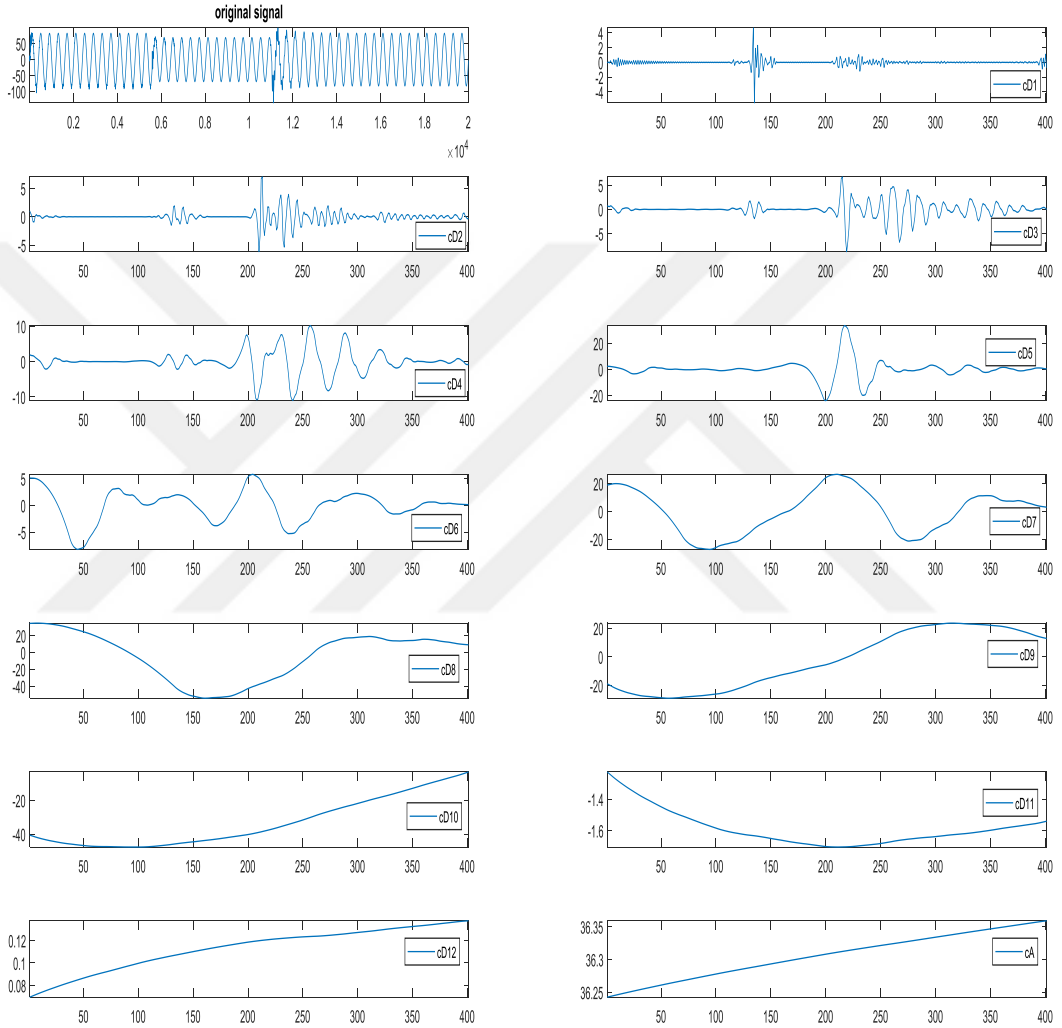
Sonuç olarak ayrık dalgacık dönüşü yapılan sinyallerin analizinde $\lambda_j(k)$ yaklaşık katsayıları, $\gamma_j(k)$ ise detay katsayılarını temsil etmektedir. $h(k)$ ölçekleme fonksiyonunu $g(k)$ dalgacık fonksiyonunu içermektedir [33].

4.2. Ayrık Dalgacık Dönüşümü İle Özellik Çıkarımı

ADD, istatistiksel dijital sinyal işleme ile birlikte özellik çıkarma için kullanılmaktadır [35]. Ayrıca dikkat edilmesi gereken bir başka parametre de, hangi seçimin ana dalgacık için daha uygun olduğudur. Literatürde, Daubechies, Haar, Gabor, Meyer, Morlet vb. gibi farklı ana dalgacıkları kullanılmaktadır. Ancak bu çalışmada yaklaşık ve detay katsayıları elde edebilmek ve ayrıca güç sistemleri sinyallerinde yaygın

olarak tercih edilen arızalar sırasında akım ve gerilim sinyallerinin analizinin olabilmesi için Daubechies 4 (dB 4) ana dalgacığı 12 seviyesinde uygun olan seçilmiştir.

15. km'de ki arızaya ait rüzgâr ve güneş santrallerinin B3 barasının bulunduğu taraftan ölçülen A fazına ait akımın dalgacık dönüşümünden elde edilen yaklaşık ve detay katsayıları Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. 15. km'de B3 den itibaren ölçülen A fazına ait akımın dalgacık dönüşümünden elde edilen yaklaşık ve detay katsayıları

4.3. Veri Sayısı İndirgeme ve Veri Setinin Oluşturulması

Ayırt edici özelliklerin elde edilmesi için 12 seviyeli Ayırık Zamanlı Dalgacık Dönüşümü kullanılmıştır. Elde edilen detay ve yaklaşık katsayıları için entropi, basıklık, çarpıklık ve standart sapma gibi dört ayrı istatistiksel parametreler hesaplanarak eğitim veri

seti oluşturulmuştur. Bu veri setinin eğitim ve geçerlilik testi için Matlab Regression Learner uygulaması kullanılmıştır.

Her faz sinyali için 52 özellik, 3 faz için toplamda 156 özellik bulunmuştur. Ayrıca hattın her iki tarafından ölçülen akım ve gerilim sinyalleri için toplamda 312 özellik elde edilmiştir. Elde edilen detay ve yaklaşık katsayıları için entropi, basıklık, çarpıklık ve standart sapma, gibi dört ayrı istatistiksel parametrelerin gerilim ve akım değer aralıkları tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. Entropi, basıklık, çarpıklık ve standart sapma gerilim ve akım aralığı

İstatistiksel Parametreler	Gerilim		Akım	
	V3	V4	I3	I4
Entropi	1-13	14-26	27-39	40-52
Standart Sapma	53-65	66-78	79-91	92-104
Çarpıklık	105-117	118-130	131-143	144-156
Basıklık	157-169	170-182	183-195	196-208

Model tanımadada özellik çıkarımı, büyük veri kümesinin boyutunu özellik kümesine dönüştürerek boyutunun küçültülmesini sağlayan bir yöntemdir. Aşağıda her alt bantta ayrıştırılmış bir sinyalden elde edilen istatistiksel özellikler verilmektedir [36].

4.3.1. Entropi

Entropi, özellikle sinyal işleme uygulamalarında birçok alanda yaygın olan bir yöntemdir. Entropi, gözlemlenen sinyalde depolanan bilgi miktarını göstermektedir [37]. Geçici sinyaller için entropi çok büyük bir değere sahip iken, değeri bozulmamış bir sinyal için çok küçüktür [36].

4.3.2. Basıklık

Basıklık bir sinyalin düzlüğü veya dorukluğunun bir ölçüsüdür. Bozulmamış bir sinyalin kurtosisi 3 iken, geçici bir sinyal için değeri > 3 ’tür. Basıklık B ile gösterilecek olursa $x(t)$ sinyalinin matematiksel ifadesi denklem 4.12’de olacak şekilde tanımlanabilmektedir [36].

$$B(t_1, t_2) = \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{x(t) - \bar{x}}{\sigma} \right)^4 dt \quad (4.12)$$

Burada $\bar{x}$, ortalamasını ve σ , sinyalin t_1 'den t_2 'ye bir zaman aralığı için standart sapmasını göstermektedir.

4.3.3. Çarpıklık

Çarpıklık, sinyalin ortalamasına göre asimetrisinin bir ölçüsüdür. Bozulmamış bir sinyal için, çarpıklık sıfırdır ve geçici sinyaller için değeri sıfır olmayan bir hale gelmektedir. Çarpıklık ζ ile gösterilecek olursa $x(t)$ sinyalinin matematiksel ifadesi denklem 4.13'de olacak şekilde tanımlanmaktadır [36].

$$\zeta(t_1, t_2) = \frac{\int_{t_1}^{t_2} (x(t) - \bar{x})^3 dt}{\sigma^3} \quad (4.13)$$

Burada $\bar{x}$, ortalamasını ve σ , standart sapmayı ifade etmektedir.

4.3.4. Standart Sapma

Bir sinyalin standart sapması, ortalama değerindeki sapmanın ölçüsüdür [36].

$$\Sigma(t_1, t_2) = \left(\int_{t_1}^{t_2} (x(t) - \bar{x})^2 dt \right)^{1/2} \quad (4.14)$$

Burada,

$$\bar{x} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} x(t) dt \quad (4.15)$$

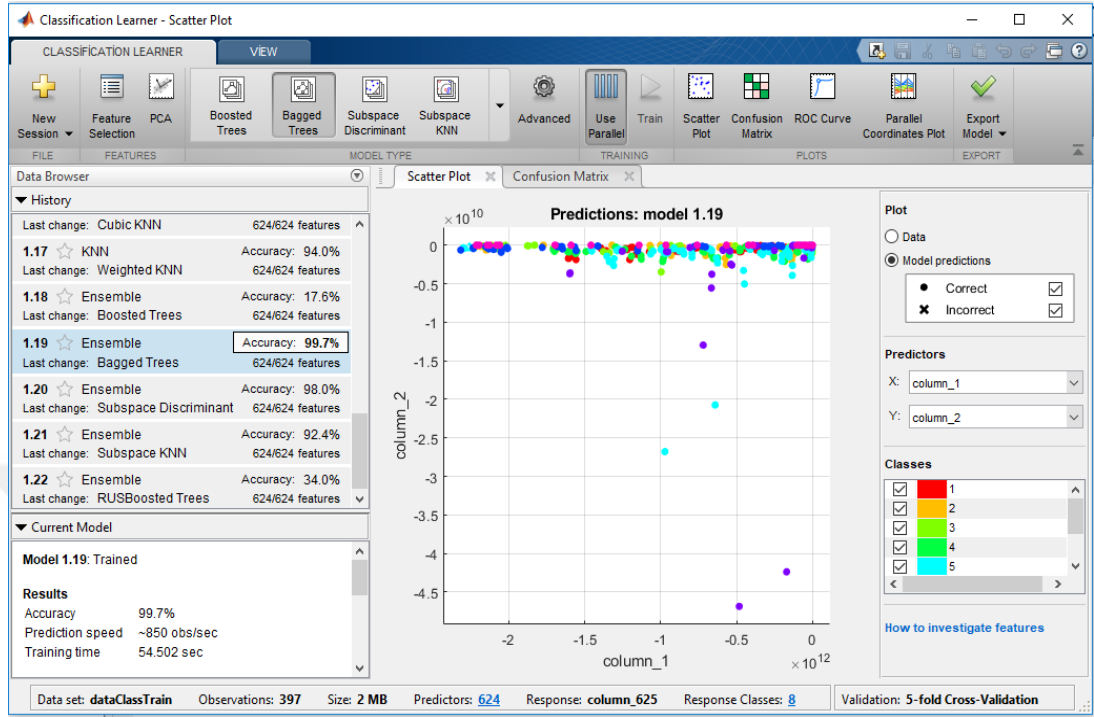
σ , standart sapmayı, $x(t)$, sinyali ve $\bar{x}$, ortalama değerini göstermektedir. Normal çalışma koşulu altında bir sinyalin standart sapması bir (01) 'e eşit iken, geçici sinyalin değeri bir değerinden daha büyüktür (01) [38].

5. ARIZA TİPİ VE YERİNİN BELİRLENMESİ

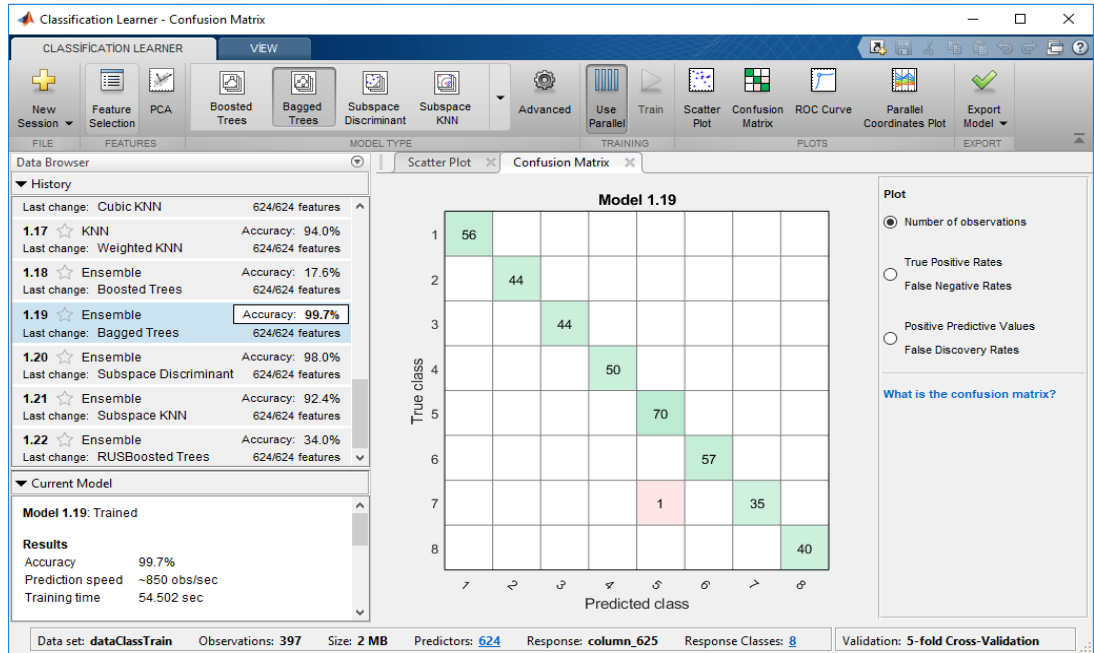
5.1. Arıza Tipinin Belirlenmesi

Bu bölüme kadar hibrit güç sistemi benzetiminde farklı arızaların oluşturulması, bu arızalara ait akım ve gerilim sinyallerinin elde edilmesi, ayırt edici özelliklerinin çıkartılması ve istatistiksel yöntemler ile veri boyutunun indirgenmesi ele alınmıştır. Bu bölümde ise, farklı arızalar için elde edilen nihai veri setinden yararlanarak arıza tipi belirlenecektir. Önceki bölümlerde belirtildiği gibi hibrit güç sistemi benzetiminde tek faz toprak (AG, BG, CG), iki faz toprak (ABG, ACG, BCG), üç faz toprak (ABCG) arızaları ve sağlam durum olmak üzere toplam 8 sınıf bulunmaktadır. Arıza tipi sınıflandırmasında oldukça yeni bir matlab eklentisi olan ve aynı anda birçok makine öğrenmesi modelini eğitme ve test etme imkânı sağlayan Classification Learner uygulaması kullanılmıştır. Classification Learner uygulamasında verileri sınıflandırmak için mevcut veri modelleri eğitilir. Bu uygulama ile çeşitli sınıflandırıcılar kullanarak denetimli makine öğrenimi yardımıyla sınıflandırma veya tahmin yapılabilir. En iyi sınıflandırma modeli türünü aramak için karar ağaçları, diskriminat analizi, destek vektör makinaları, lojistik regresyon, en yakın komşuluk algoritması ve bütünleşik model sınıflandırması gibi birçok hesapsal zekâ yöntemleri kullanılır [39]. Farklı arızalar için elde edilen veri setinin % 80'ni eğitim, % 20'si ise test için seçilmiştir. Sınıflandırma işlemi sonucunda en yüksek başarımlı bütünleşik modellerden biri olan torbalı karar ağaçları (Ensemble Bagged Trees) modeli ile elde edilmiştir. Bu modele ait 5-katlı çapraz doğrulama testi başarımlı %99.7'dir. Şekil 5.1'de Classification Learner arayüzünde gerçekleştirilen sınıflandırma görülmektedir.

Şekil 5.2’de bütünleşik torbalı karar ağaçlarına ait karşıtlık matrisi görülmektedir.



Şekil 5.1. Classification Learner arayüzünde sınıflandırma



Şekil 5.2. Bütünleşik torbalı karar ağaçlarına ait karşıtlık matrisi

Önerilen yöntemin eğitim ve test performansını ölçmek için Matlab Classification Learner uygulaması kullanılmıştır. Sınıflandırma modellerine ait doğruluk, tahmini hızı ve eğitim sürelerinin sonuçları Tablo 5.1’de gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Sınıflandırma modellerine ait doğruluk, tahmini hızı ve eğitim süresi değerleri

Classification Learner Yöntemi	Tipi	Değerler		
		Doğruluk (%)	Tahmini Hızı (obs/sn.)	Eğitim Süresi (sn.)
Karar Ağaçları	İyi	99.0	790	17.181
	Orta	99.0	720	15.508
	Kaba	68.8	1100	16.991
Destek Vektör Makinaları (DVM)	Doğrusal	96.2	650	27.834
	İkinci Dereceden	97.5	420	28.004
	Kübik	95.7	400	34.659
	İyi Gauss	74.3	320	36.106
	Orta Gauss	94.2	360	43.012
	Kaba Gauss	89.2	340	44.422
K-En Yakın Komşuluk Algoritması	İyi	97.2	710	45.921
	Orta	81.4	730	46.491
	Kaba	59.9	850	47.925
	Kosinüs	87.4	740	48.872
	Kübik	75.8	67	67.308
	Ağırlıklı	94.0	970	50.713
Bütünleşik Model	Güçlendirilmiş Ağaç	17.6	1200	55.464
	Torbalı Ağaç	99.7	780	61.489
	Altuzay Ayırım	98.0	150	85.2
	Altuzay K-En Yakın Komşuluk Algoritması	92.4	150	79.498
	RUS Geliştirilmiş Ağaç	34.0	1100	83.702

Karşıtlık matrislerinde satırlar tahmin edilen sınıfa ve sütunlar ise gerçek sınıfa karşılık gelmektedir. Diyagonal (köşegen) hücreler doğru şekilde sınıflandırılmış gözlemleri oluşturmaktadır. Köşegen olmayan hücreler yanlış sınıflandırılmış gözlemleri içermektedir. Her bir hücre içinde hem gözlem sayısı hem de toplam gözlem sayısının yüzdesi gösterilmektedir. Çizelgenin en sağındaki sütun, doğru ve yanlış sınıflandırılmış her bir sınıfa ait olduğu tahmin edilen tüm örneklerin yüzdeleri oluşturmaktadır. Bu metriklere genellikle sırasıyla hassasiyet (veya pozitif öngörü değeri) ve yanlış keşif oranı

denilmektedir. Çizelgenin altındaki satır, doğru ve yanlış sınıflandırılmış her bir sınıfa ait tüm örneklerin yüzdelerini göstermektedir. Bu metriklere genel olarak sırasıyla geri çağırma (veya doğru pozitif oran) ve yanlış negatif oran denilmektedir. Parselin sağ altındaki hücreden, genel doğruluk elde edilmektedir [39]. Eğitim ve test için karşıtlık matrislerinin gösteriminde; köşegenler doğruluk oranı değerlerini, köşegen olmayanlar hata oranı değerlerini göstermektedir. Karşıtlık matrisin de köşegenin en alt kısmı ise tahmin etmede en iyi doğruluk değerini göstermektedir.

Şekil 5.3, Şekil 5.4 ve Şekil 5.5’de Classification Learner yöntemlerinden karar ağaçları ve altındaki modellerin iyi, orta ve kaba karar ağaçları modellerinin gerçek ve tahmini sonuçları karşıtlık matrisinde verilmiştir.

Karşıtlık Matrisi

1	13 13.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
2	0 0.0%	12 12.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
3	0 0.0%	0 0.0%	8 8.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
4	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	17 17.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
5	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	9 9.0%	0 0.0%	1 1.0%	0 0.0%	90.0% 10.0%
6	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	16 16.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
7	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	9 9.0%	0 0.0%	100% 0.0%
8	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	15 15.0%	100% 0.0%
	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	90.0% 10.0%	100% 0.0%	99.0% 1.0%
	1	2	3	4	5	6	7	8	

Gerçek Sınıf

Şekil 5.3. İyi karar ağaç karşıtlık matrisi

		Karşıtlık Matrisi							
Tahmin Sınıfı	1	13 13.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	2	0 0.0%	12 12.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	3	0 0.0%	0 0.0%	8 8.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	4	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	17 17.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	5	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	9 9.0%	0 0.0%	1 1.0%	90.0% 10.0%
	6	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	16 16.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	7	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	9 9.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	8	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	15 15.0%	100% 0.0%
		100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	90.0% 10.0%	100% 0.0%	99.0% 1.0%
		1	2	3	4	5	6	7	8
		Gerçek Sınıf							

Şekil 5.4. Orta karar ağaç karşıtlık matrisi

		Karşıtlık Matrisi							
Tahmin Sınıfı	1	13 13.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	15 15.0%	46.4% 53.6%
	2	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	NaN% NaN%
	3	0 0.0%	0 0.0%	8 8.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	4	0 0.0%	12 12.0%	0 0.0%	17 17.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	58.6% 41.4%
	5	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	9 9.0%	0 0.0%	10 10.0%	47.4% 52.6%
	6	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	16 16.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	7	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	NaN% NaN%
	8	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	NaN% NaN%
		100% 0.0%	0.0% 100%	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	0.0% 100%	0.0% 100%	63.0% 37.0%
		1	2	3	4	5	6	7	8
		Gerçek Sınıf							

Şekil 5.5. Kaba karar ağaç karşıtlık matrisi

Yukarıda verilen karşıtlık matrisleri içerisinde iyi karar ve orta karar ağaçları ile yapılan arıza yeri tahminleri %99'luk doğruluk oranı, kaba karar ağacı ile yapılan arıza yeri tahmini %63'luk doğruluk oranına sahiptir. Bu durum iyi ve orta karar ağaçları

yöntemlerinin kaba karar ağacı yöntemine göre daha başarılı tahmin yaptığını göstermektedir.

Şekil 5.6, Şekil 5.7, Şekil 5.8, Şekil 5.9, Şekil 5.10 ve Şekil 5.11 'de Classification Learner yöntemlerinden destek vektör makinaları ve altındaki modellerin doğrusal, ikinci dereceden, kübik, gauss, orta gauss ve kaba gauss modellerin gerçek ve tahmini sonuçları karşıtlık matrisinde verilmiştir.

Karşıtlık Matrisi

1	13 13.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
2	0 0.0%	12 12.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
3	0 0.0%	0 0.0%	8 8.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
4	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	17 17.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
5	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	9 9.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
6	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	16 16.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
7	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	10 10.0%	0 0.0%	100% 0.0%
8	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	15 15.0%	100% 0.0%
	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%
	1	2	3	4	5	6	7	8	
	Gerçek Sınıf								

Tahmin Sınıfı

Şekil 5.6. Doğrusal DVM karşıtlık matrisi

Karşıtlık Matrisi

1	13 13.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
2	0 0.0%	12 12.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
3	0 0.0%	0 0.0%	8 8.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
4	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	17 17.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
5	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	9 9.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
6	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	16 16.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
7	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	10 10.0%	0 0.0%	100% 0.0%
8	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	15 15.0%	100% 0.0%
	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%
	1	2	3	4	5	6	7	8	
	Gerçek Sınıf								

Tahmin Sınıfı

Şekil 5.7. İkinci dereceden DVM karşıtlık matrisi

Karşıtlık Matrisi									
Tahmin Sınıfı	1	13 13.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	2	0 0.0%	12 12.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	3	0 0.0%	0 0.0%	8 8.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	4	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	17 17.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	5	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	9 9.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	6	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	16 16.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	7	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	10 10.0%	100% 0.0%
	8	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	15 15.0%
		100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%
		1	2	3	4	5	6	7	8
Gerçek Sınıf									

Şekil 5.8. Kübik DVM karşıtlık matrisi

Karşıtlık Matrisi									
Tahmin Sınıfı	1	10 10.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	2	0 0.0%	11 11.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	3	0 0.0%	0 0.0%	4 4.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	4	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	12 12.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	5	3 3.0%	1 1.0%	4 4.0%	5 5.0%	9 9.0%	3 3.0%	3 3.0%	32.1% 67.9%
	6	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	13 13.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	7	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	7 7.0%	100% 0.0%
	8	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	15 15.0%
		76.9% 23.1%	91.7% 8.3%	50.0% 50.0%	70.6% 29.4%	100% 0.0%	81.3% 18.8%	70.0% 30.0%	100% 0.0%
		1	2	3	4	5	6	7	8
Gerçek Sınıf									

Şekil 5.9. Gauss DVM karşıtlık matrisi

Karşıtlık Matrisi									
Tahmin Sınıfı	1	2	3	4	5	6	7	8	
	13 13.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	0 0.0%	11 11.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	0 0.0%	0 0.0%	8 8.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	17 17.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	9 9.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	16 16.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	0 0.0%	1 1.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	10 10.0%	0 0.0%	90.9% 9.1%
	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	15 15.0%	100% 0.0%
Gerçek Sınıf									
	1	2	3	4	5	6	7	8	
	100% 0.0%	91.7% 8.3%	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	99.0% 1.0%

Şekil 5.10. Orta Gauss DVM karşıtlık matrisi

Karşıtlık Matrisi									
Tahmin Sınıfı	1	2	3	4	5	6	7	8	
	13 13.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	0 0.0%	11 11.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	0 0.0%	0 0.0%	3 3.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	17 17.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	9 9.0%	0 0.0%	2 2.0%	0 0.0%	81.8% 18.2%
	0 0.0%	0 0.0%	5 5.0%	0 0.0%	0 0.0%	16 16.0%	0 0.0%	0 0.0%	76.2% 23.8%
	0 0.0%	1 1.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	8 8.0%	0 0.0%	88.9% 11.1%
	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	15 15.0%	100% 0.0%
Gerçek Sınıf									
	1	2	3	4	5	6	7	8	
	100% 0.0%	91.7% 8.3%	37.5% 62.5%	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	80.0% 20.0%	100% 0.0%	92.0% 8.0%

Şekil 5.11. Kaba Gauss DVM karşıtlık matrisi

Yukarıda verilen karşıtlık matrisleri içerisinde doğrusal, ikinci dereceden ve kübik DVM ile yapılan arıza tahminleri %100'lük doğruluk oranı, orta gauss DVM ile yapılan arıza tahmini %99'luk doğruluk oranı ve gauss DVM ile yapılan arıza tahmini %81'lik

doğruluk oranına sahiptir. Bu durum doğrusal, ikinci dereceden, kübik ve orta gauss DVM yöntemlerinin, gauss DVM yöntemine göre daha başarılı tahmin yaptığını göstermektedir.

Şekil 5.12, Şekil 5.13, Şekil 5.14, Şekil 5.15, Şekil 5.16 ve Şekil 5.17’de Classification Learner yöntemlerinden en yakın komşuluk algoritması ve altındaki modellerin iyi tip, orta tip, kaba, kosinüs, kübik ve ağırlıklandırılmış en yakın komşuluk modellerin gerçek ve tahmini sonuçları karşıtlık matrisinde verilmiştir.

Karşıtlık Matrisi

1	13 13.0%	1 1.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	92.9% 7.1%
2	0 0.0%	11 11.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
3	0 0.0%	0 0.0%	8 8.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
4	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	17 17.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
5	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	9 9.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
6	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	16 16.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
7	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	10 10.0%	0 0.0%	100% 0.0%
8	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	15 15.0%	100% 0.0%
	100% 0.0%	91.7% 8.3%	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	99.0% 1.0%
	1	2	3	4	5	6	7	8	

Gerçek Sınıf

Şekil 5.12. İyi tip en yakın komşuluk modeli karşıtlık matrisi

Karşıtlık Matrisi

1	13 13.0%	1 1.0%	0 0.0%	0 0.0%	2 2.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	81.3% 18.8%
2	0 0.0%	10 10.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
3	0 0.0%	0 0.0%	4 4.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
4	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	17 17.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
5	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	7 7.0%	0 0.0%	2 2.0%	0 0.0%	77.8% 22.2%
6	0 0.0%	1 1.0%	4 4.0%	0 0.0%	0 0.0%	16 16.0%	7 7.0%	0 0.0%	57.1% 42.9%
7	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	1 1.0%	0 0.0%	100% 0.0%
8	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	15 15.0%	100% 0.0%
	100% 0.0%	83.3% 16.7%	50.0% 50.0%	100% 0.0%	77.8% 22.2%	100% 0.0%	10.0% 90.0%	100% 0.0%	83.0% 17.0%
	1	2	3	4	5	6	7	8	

Gerçek Sınıf

Şekil 5.13. Orta tip en yakın komşuluk algoritması karşıtlık matrisi

Karşıtlık Matrisi											
Tahmin Sınıfı	1	12 12.0%	2 2.0%	2 2.0%	4 4.0%	3 3.0%	0 0.0%	0 0.0%	1 1.0%	50.0% 50.0%	
	2	0 0.0%	10 10.0%	0 0.0%	3 3.0%	0 0.0%	2 2.0%	0 0.0%	0 0.0%	66.7% 33.3%	
	3	0 0.0%	0 0.0%	2 2.0%	0 0.0%	0 0.0%	1 1.0%	0 0.0%	0 0.0%	66.7% 33.3%	
	4	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	10 10.0%	0 0.0%	0 0.0%	1 1.0%	0 0.0%	90.9% 9.1%	
	5	1 1.0%	0 0.0%	4 4.0%	0 0.0%	6 6.0%	3 3.0%	6 6.0%	0 0.0%	30.0% 70.0%	
	6	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	10 10.0%	3 3.0%	0 0.0%	76.9% 23.1%	
	7	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	NaN% NaN%	
	8	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	14 14.0%	100% 0.0%	
			92.3% 7.7%	83.3% 16.7%	25.0% 75.0%	58.8% 41.2%	66.7% 33.3%	62.5% 37.5%	0.0% 100%	93.3% 6.7%	64.0% 36.0%
			1	2	3	4	5	6	7	8	
Gerçek Sınıf											

Şekil 5.14. Kaba en yakın komşuluk algoritması karşıtlık matrisi

Karşıtlık Matrisi											
Tahmin Sınıfı	1	12 12.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	1 1.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	92.3% 7.7%	
	2	0 0.0%	10 10.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%	
	3	1 1.0%	0 0.0%	4 4.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	80.0% 20.0%	
	4	0 0.0%	1 1.0%	0 0.0%	17 17.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	94.4% 5.6%	
	5	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	8 8.0%	0 0.0%	1 1.0%	0 0.0%	88.9% 11.1%	
	6	0 0.0%	1 1.0%	4 4.0%	0 0.0%	0 0.0%	16 16.0%	3 3.0%	0 0.0%	66.7% 33.3%	
	7	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	6 6.0%	0 0.0%	100% 0.0%	
	8	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	15 15.0%	100% 0.0%	
			92.3% 7.7%	83.3% 16.7%	50.0% 50.0%	100% 0.0%	88.9% 11.1%	100% 0.0%	60.0% 40.0%	100% 0.0%	88.0% 12.0%
			1	2	3	4	5	6	7	8	
Gerçek Sınıf											

Şekil 5.15. Kosinüs en yakın komşuluk algoritması karşıtlık matrisi

Karşıtlık Matrisi									
Tahmin Sınıfı	1	2	3	4	5	6	7	8	
	11 11.0%	1 1.0%	0 0.0%	1 1.0%	1 1.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	78.6% 21.4%
	0 0.0%	9 9.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	2 2.0%	1 1.0%	4 4.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	57.1% 42.9%
	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	16 16.0%	0 0.0%	0 0.0%	2 2.0%	0 0.0%	88.9% 11.1%
	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	8 8.0%	0 0.0%	3 3.0%	0 0.0%	72.7% 27.3%
	0 0.0%	1 1.0%	4 4.0%	0 0.0%	0 0.0%	16 16.0%	4 4.0%	0 0.0%	64.0% 36.0%
	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	1 1.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	15 15.0%	100% 0.0%
	84.6% 15.4%	75.0% 25.0%	50.0% 50.0%	94.1% 5.9%	88.9% 11.1%	100% 0.0%	10.0% 90.0%	100% 0.0%	80.0% 20.0%
Gerçek Sınıf									

Şekil 5.16. Kübik en yakın komşuluk algoritması karşıtlık matrisi

Karşıtlık Matrisi									
Tahmin Sınıfı	1	2	3	4	5	6	7	8	
	13 13.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	0 0.0%	12 12.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	0 0.0%	0 0.0%	6 6.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	17 17.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	9 9.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	0 0.0%	0 0.0%	2 2.0%	0 0.0%	0 0.0%	16 16.0%	1 1.0%	0 0.0%	84.2% 15.8%
	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	9 9.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	15 15.0%	100% 0.0%
	100% 0.0%	100% 0.0%	75.0% 25.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	90.0% 10.0%	100% 0.0%	97.0% 3.0%
Gerçek Sınıf									

Şekil 5.17. Ağırlıklandırılmış en yakın komşuluk algoritması karşıtlık matrisi

Yukarıda verilen karşıtlık matrisleri içerisinde iyi tip en yakın komşuluk ile yapılan arıza tahmini %99'luk doğruluk oranı, ağırlıklandırılmış en yakın komşuluk ile yapılan arıza yeri tahmini %97'lik doğruluk oranı ve kaba en yakın komşuluk ile yapılan arıza yeri

tahmini %64'lük doğruluk oranına sahiptir. Bu durum iyi tip ve ağırlıklandırılmış en yakın komşuluk yöntemlerinin, kaba en yakın komşuluk yöntemine göre daha başarılı tahmin yaptığını göstermektedir.

Şekil 5.18, Şekil 5.19, Şekil 5.20, Şekil 5.21 ve Şekil 5.22'de Classification Learner yöntemlerinden bütünleşik modeller ve altındaki modellerden güçlendirilmiş ağaç, torbalı ağaç, alt uzay ayırımı, alt uzay en yakın komşuluk ve RUS geliştirilmiş ağaç modellerinin gerçek ve tahmini sonuçları karşılıklı matrisinde verilmiştir.

Karşılıklı Matrisi

1	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	NaN% NaN%
2	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	NaN% NaN%
3	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	NaN% NaN%
4	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	NaN% NaN%
5	13 13.0%	12 12.0%	8 8.0%	17 17.0%	9 9.0%	16 16.0%	10 10.0%	15 15.0%	9.0% 91.0%
6	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	NaN% NaN%
7	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	NaN% NaN%
8	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	NaN% NaN%
	0.0% 100%	0.0% 100%	0.0% 100%	0.0% 100%	100% 0.0%	0.0% 100%	0.0% 100%	0.0% 100%	9.0% 91.0%
	1	2	3	4	5	6	7	8	

Gerçek Sınıf

Şekil 5.18. Güçlendirilmiş ağaçlar bütünleşik modeli karşılıklı matrisi

Karşıtlık Matrisi									
Tahmin Sınıfı	1	13 13.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	2	0 0.0%	12 12.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	3	0 0.0%	0 0.0%	8 8.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	4	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	17 17.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	5	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	9 9.0%	0 0.0%	1 1.0%	90.0% 10.0%
	6	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	16 16.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	7	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	9 9.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	8	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	15 15.0%	100% 0.0%
		100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	90.0% 10.0%	100% 0.0%	99.0% 1.0%
		1	2	3	4	5	6	7	8
Gerçek Sınıf									

Şekil 5.19. Torbalı ağaçlar bütünleşik modeli karşıtlık matrisi

Karşıtlık Matrisi									
Tahmin Sınıfı	1	13 13.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	2	0 0.0%	12 12.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	3	0 0.0%	0 0.0%	8 8.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	4	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	17 17.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	5	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	9 9.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	6	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	16 16.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	7	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	10 10.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	8	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	15 15.0%	100% 0.0%
		100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%
		1	2	3	4	5	6	7	8
Gerçek Sınıf									

Şekil 5.20. Alt uzay ayırım bütünleşik modeli karşıtlık matrisi

		Karşıtlık Matrisi							
Tahmin Sınıfı	1	13 13.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	2	0 0.0%	12 12.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	3	0 0.0%	0 0.0%	8 8.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	4	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	17 17.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	5	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	9 9.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	6	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	16 16.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	7	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	10 10.0%	100% 0.0%
	8	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	15 15.0%	100% 0.0%
		100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%
		1	2	3	4	5	6	7	8
		Gerçek Sınıf							

Şekil 5.21. Alt uzay en yakın komşuluk bütünleşik modeli karşıtlık matrisi

		Karşıtlık Matrisi							
Tahmin Sınıfı	1	13 13.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	2	0 0.0%	12 12.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	3	0 0.0%	0 0.0%	8 8.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	4	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	17 17.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	5	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	9 9.0%	0 0.0%	1 1.0%	90.0% 10.0%
	6	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	16 16.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	7	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	9 9.0%	100% 0.0%
	8	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	15 15.0%	100% 0.0%
		100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	90.0% 10.0%	100% 0.0%	99.0% 1.0%
		1	2	3	4	5	6	7	8
		Gerçek Sınıf							

Şekil 5.22. RUS geliştirilmiş ağaçlar bütünleşik modeli karşıtlık matrisi

Yukarıda verilen karşıtlık matrisleri içerisinde bütünleşik modellerden alt uzay ayırım ve alt uzay en yakın komşuluk ile yapılan arıza yeri tahminleri %100'lük doğruluk

oranı, torbalı ağaç ve RUS geliştirilmiş ağaç ile yapılan arıza yeri tahminleri %99'luk doğruluk oranı ve güçlendirilmiş ağaç ile yapılan arıza yeri tahminleri %9'luk doğruluk oranına sahiptir. Bu durum bütünleşik yöntemin alt yöntemleri olan alt uzay ayırım, alt uzay en yakın komşu ve RUS geliştirilmiş ağaç yöntemlerinin, güçlendirilmiş ağaç yöntemine göre daha başarılı tahmin yaptığını göstermektedir.

5.2. Arıza Yerinin Belirlenmesi

Regression Learner eklentisi R2017a sürümüyle gelen ve literatürde yaygın olarak kullanılan makine öğrenmesi yöntemlerini bir defada eğiterek kullanıcıya karşılaştırma yapma ve en uygun modeli belirleme imkânı sunan bir eklentidir [40]. Bu uygulamayı kullanarak veriler kontrol edilir, özellikler seçilir, doğrulama şemaları belirlenir ve modelleri eğiterek sonuçlar değerlendirilmektedir. Matlab Regression Learner eklentisi bünyesinde doğrusal regresyon, karar ağaçları, bütünleşik ağaçlar, Destek Vektör Makinaları (DVM), Gauss süreç regresyon yöntemleri ve bunların alt yöntemleri olmak üzere en iyi regresyon modeli türünü otomatik olarak eğitilerek bulunabilir. Regression Learner uygulamasında aynı anda birden çok modeli otomatik olarak eğiterek başlanılmaktadır. Bu uygulamada bir dizi model hızlı bir şekilde denenebilir ve daha sonra içlerinden en iyisi belirlenebilmektedir. Bu sayede hem bu sınıflandırıcılar için ayrı ayrı kod yazma zorunluluğu ortadan kaldırılmış hem de aynı anda birçok modeli test etme imkânı kazanılmış olmaktadır. Ayrıca istenilen model türü biliniyorsa, bunun yerine bireysel olarak da modeller eğitilebilir [41].

Matlab Regression Learner regresyon algoritmaları kullanılarak eğitilen özellik veri setinin çapraz geçerlilik testi sonuçları Tablo 5.2'de verilmiştir. Matlab Regression Learner eklentisi bünyesinde doğrusal regresyon, karar ağaçları, bütünleşik ağaçlar, Destek Vektör Makinaları (DVM), Gauss süreç regresyon yöntemleri ve bunların alt yöntemleri yer almaktadır.

Tablo 5.2. Matlab Regression Learner regresyon algoritmaları kullanılarak elde edilen ortalama karesel hata değerleri

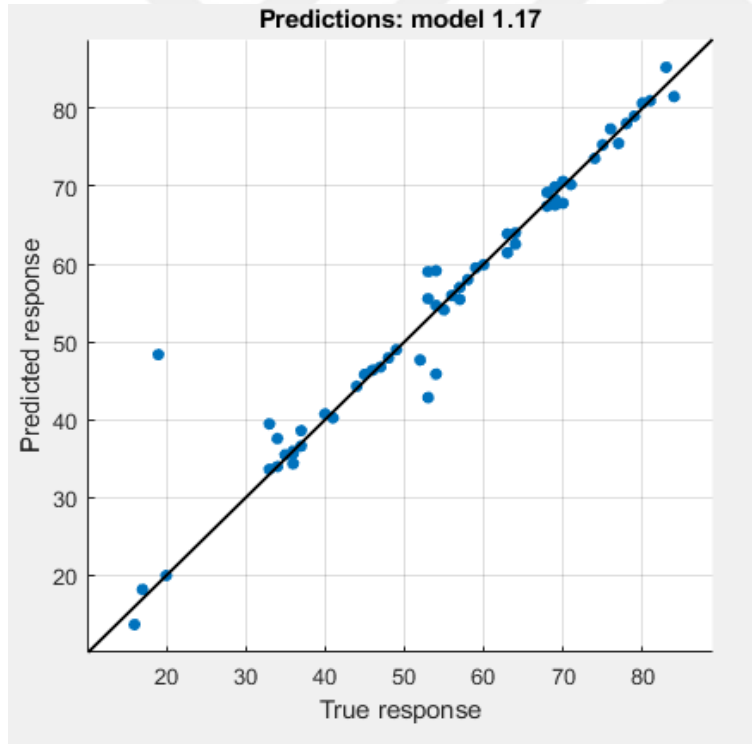
Kullanılan Yöntem		Arıza Türü / Ortalama Karesel Hata Değerleri						
		AG	BG	CG	ABG	BCG	ACG	ABCG
Doğrusal Regresyon	Doğrusal Regresyon	8.46	52.66	30.77	9.01	26.08	32.42	56.79
Karar Ağaçları	Basit	18.02	19.53	19.66	21.14	18.88	20.52	22.41
	Orta	10.46	8.71	9.01	7.55	11.7	9.79	14.45
	Kompleks	7.34	7.13	6.18	4.75	10.6	7.7	7.27
Bütünleşik Ağaçları	Güçlendirilmiş	3.92	3.63	3.59	3.93	7.73	5.66	6.42
	Torbalanmış	6.26	5.5	7.23	6.78	8.6	6.94	10.17
Destek Vektör Makineleri (DVM)	Doğrusal	9.66	2.87	2.79	3.43	6.77	2.93	15.38
	İkinci Derece	14.07	4.98	2.79	3.76	6.78	3.18	18.62
	Kübik	16.28	3.26	2.94	4.28	6.82	3.33	14.0
	İyi Gauss	10.46	5.76	7.73	11.42	11.21	9.25	11.73
	Orta Gauss	7.23	3.95	4.37	5.12	8.49	3.78	10.07
	Kötü Gauss	14.46	14.36	15.17	14.82	14.39	12.93	19.29
Gauss Süreç Regresyon	Karesel Eksponansiyel	3.87	0.6	1.61	1.72	6.25	1.6	4.82
	Matern 5/2	3.83	0.6	1.54	1.72	6.11	1.59	4.83
	Üstel	5.06	1.83	2.77	3.31	6.71	1.81	6.43
	Rasyonel İkinci Dereceden	3.87	0.6	1.61	1.72	6.25	1.6	4.82

Matlab Regression Learner analizinde en başarılı sonuçlar Gauss süreç regresyon yöntemiyle elde edilmiştir. Ortalama karasel kök hata (RMSE), karesel regresyon parametresi (R^2), ortalama mutlak hata (MAE), ortalama karasel hata (MSE), tahmin hızı ve eğitim süresi değerleri Tablo 5.3’de verilmiştir.

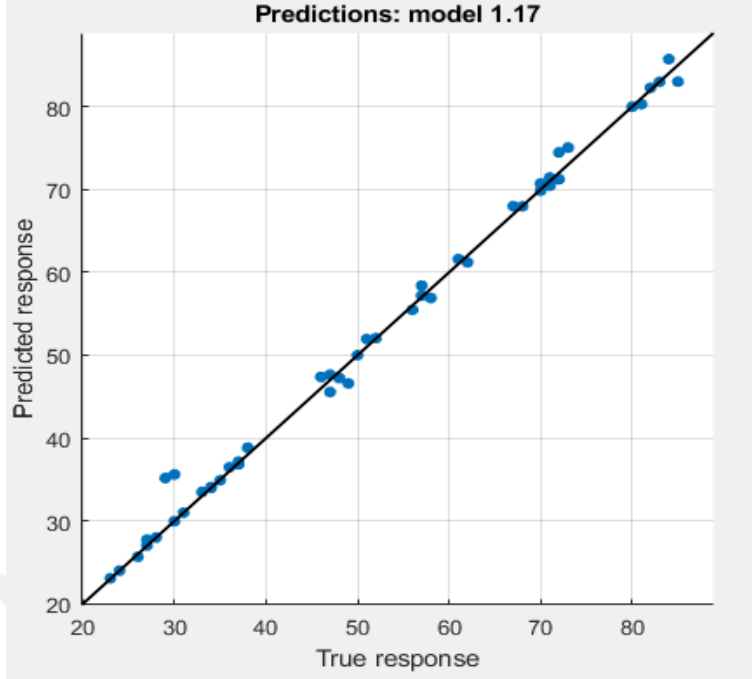
Tablo 5.3. Matlab Regression Learner analizde en iyi sonucu veren gauss süreç regresyon yönteminin performans değerleri

Kullanılan Yöntem		Farklı Arıza Türleri İçin Arıza Yeri Tahmini						
		AG	BG	CG	ABG	BCG	ACG	ABCG
Gauss Süreç Regresyon (Matern 5/2)	RMSE	3.83	0.6	1.54	1.72	6.11	1.59	4.83
	R^2	0.95	1	0.99	0.99	0.90	0.99	0.95
	MSE	14.66	0.36	2.38	2.96	37.29	2.53	23.25
	MAE	1.35	0.39	0.68	0.87	1.91	0.80	2.22
	Tahmin Hızı (obs/sec)	380	320	330	400	380	560	310
	Eğitim Süresi(sn)	3.709	3.75	4.58	3.64	3.78	5.20	3.82

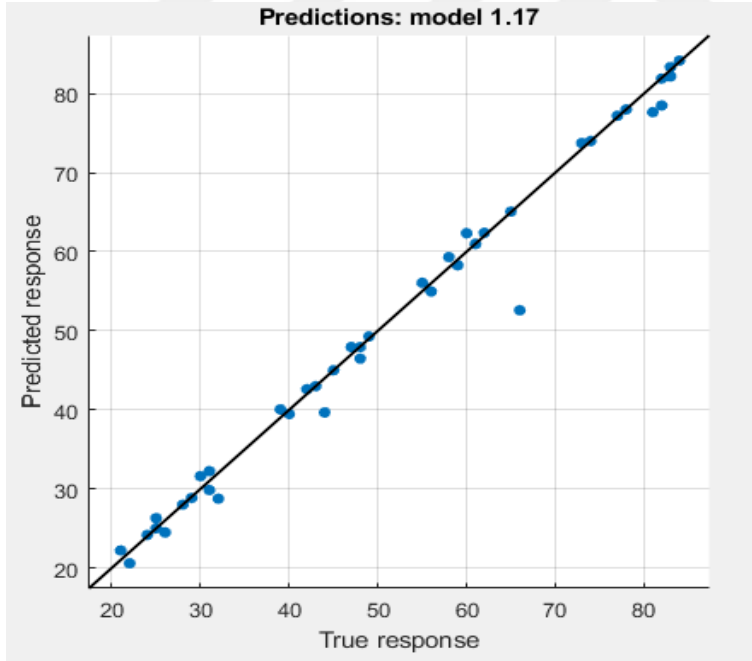
Regression Learner uygulamasında tek faz toprak arızaları için (AG, BG, CG) elde edilen sonuçlar Şekil 5.23, Şekil 5.24 ve Şekil 5.25’de görülmektedir.



Şekil 5.23. AG arıza tipi için gauss süreç regresyon modeli ile tahmin edilen sonuçların gerçek sonuçlar ile karşılaştırılması

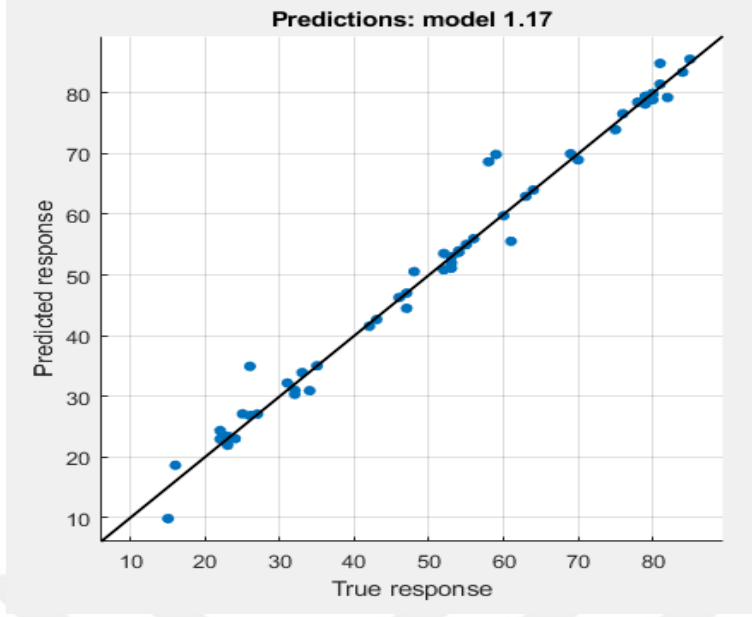


Şekil 5.24. BG arıza tipi için gauss süreç regresyon modeli ile tahmin edilen sonuçların gerçek sonuçlar ile karşılaştırılması

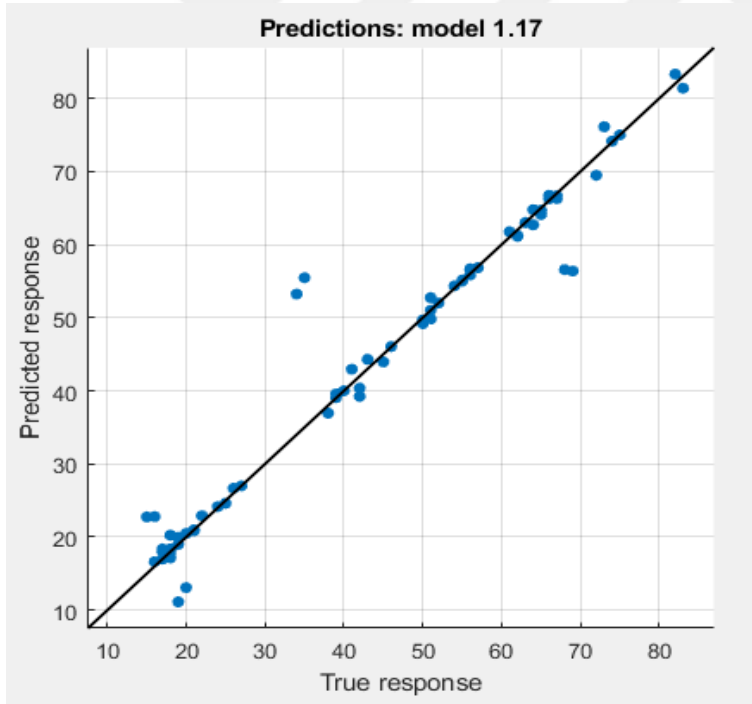


Şekil 5.25. CG arıza tipi için gauss süreç regresyon modeli ile tahmin edilen sonuçların gerçek sonuçlar ile karşılaştırılması

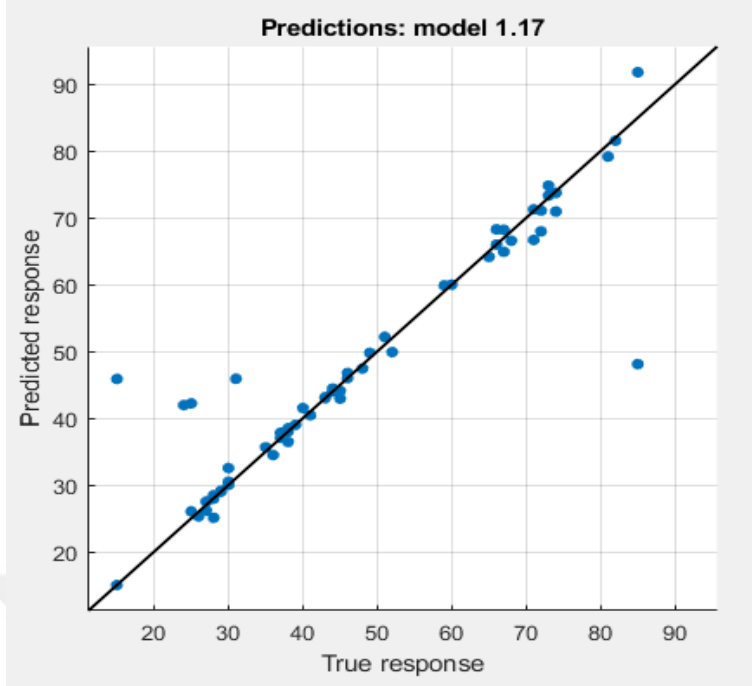
Regression Learner uygulamasında 2 faz toprak arıza yeri (ABG, ACG, BCG) sonuçları Şekil 5.26, Şekil 5.27, Şekil 5.28’de görülmektedir.



Şekil 5.26. ABG arıza tipi için gauss süreç regresyon modeli ile tahmin edilen sonuçların gerçek sonuçlar ile karşılaştırılması

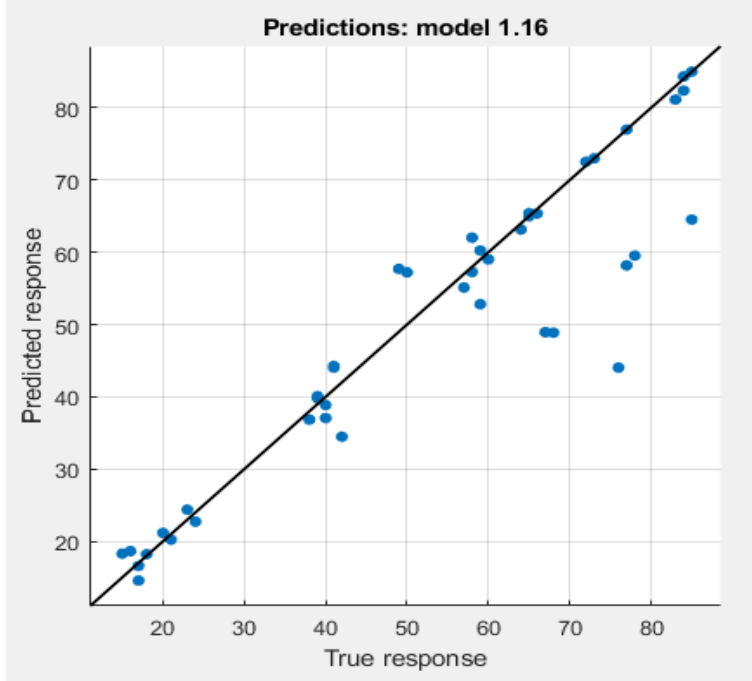


Şekil 5.27. ACG arıza tipi için gauss süreç regresyon modeli ile tahmin edilen sonuçların gerçek sonuçlar ile karşılaştırılması



Şekil 5.28. BCG arıza tipi için gauss süreç regresyon modeli ile tahmin edilen sonuçların gerçek sonuçlar ile karşılaştırılması

Regression Learner uygulamasında 3 faz toprak arıza yeri (ABCG) tahmin sonucu Şekil 5.29’da görülmektedir.



Şekil 5.29. ABCG arıza tipi için gauss süreç regresyon modeli ile tahmin edilen sonuçların gerçek sonuçlar ile karşılaştırılması

6. SONUÇ

Bu çalışmada Matlab / Simulink yazılımı ortamında bir hibrit güç sistemi oluşturulmuştur. Oluşturulan bu sistemde hat boyunca hibrit güç sisteminde oluşabilecek muhtemel arıza durumları incelenmiştir. Enerji iletim hattında belirli mesafelerde sanal arızalar meydana getirilmiştir. Bu arızalara ait akım ve gerilim işaretleri bilgisayar ortamında kaydedilerek bir veri tabanı oluşturulmuştur. Bu veriler ön işleme aşamasında normalize edildikten sonra sayısal işaret işleme aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada amaç, farklı noktalarda meydana gelen arızalar için akım ve gerilim işaretlerinden ayırt edici özellikler çıkartmaktır. Toplam uzunluğu 100 km olan üç fazlı enerji iletim hattının 15. km'den başlatarak 85. km'sine kadar sanal arıza meydana getirilmiştir. Deneyler tekrarlanarak toplam 497 adet farklı arıza meydana getirilmiştir. Ayrıca bu çalışmada, 12 seviyeli (Ayrık Zaman Dalgacık Dönüşümü) ve Matlab Regression Learner eklentisi kullanılarak bir arıza yeri tahmin yöntemi önerilmiş ve önerilen yöntemin performans değerlendirilmesi yapılmıştır. Yapılan tahmin yöntemleri içerisinde en iyi tahmin sonucunu Gauss Süreç Regresyon yöntemi vermiştir. Bu yöntemde en kötü hata analiz sonucu BCG arıza türünde MSE hata analizi tarafından elde edilen 37.29 değeridir. En iyi hata analiz sonucu BG arıza türünde RMSE hata analizi tarafından elde edilen 0.6 değeridir. Kullanılan makine öğrenmesi yöntemlerinin ayarlanabilir parametrelerinin optimize edilmesi de sonuçların daha iyi çıkmasına yardımcı olacağı düşünülmektedir. Arıza tipi sınıflandırmasında bir matlab eklentisi olan ve aynı anda birçok makine öğrenmesi modelini eğitme ve test etme imkânı sağlayan Classification Learner uygulaması kullanılmıştır. Karşıtlık matrisleri arıza tipi tahmin sonuçları için kullanılan karar ağacı yöntemleri içerisinde en iyi %99'luk doğruluk oranı ile tahmin yapan iyi karar ve orta karar ağacı yöntemleridir. Destek vektör makineleri yöntemleri içerisinde en iyi %100'lük doğruluk oranı ile tahmin yapan doğrusal, ikinci dereceden ve kübik yöntemleridir. Bütünleşik modeller içerisinde en iyi % 100'lük doğruluk oranı ile tahmin yapan alt uzay ayırımı ve alt uzay en yakın komşuluk yöntemleridir. Hibrit enerji santrallerine bağlanan iletim hatlarında meydana gelen arıza dirençleri, arıza tipleri ve oluş açıları gerçek hayatta olduğu gibi rastgele belirlenmiştir. Elde edilen detay ve yaklaşık katsayıları için entropi, standart sapma, çarpıklık ve basıklık gibi dört ayrı istatistiksel parametreler hesaplanarak eğitim veri seti oluşturulmuştur. Önerilen yöntem hem hibrit sisteme uygulanması hem de

arıza yerinin tespitine doğrudan etki eden parametrelerin rastlantısal olarak seçilmesi yönüyle literatürde bir ilk olma niteliği taşımaktadır. Hibrit enerji santrallerinin sisteme olan olumsuz etkileri dikkate alındığında, önerilen yöntemin arıza yerlerini yüksek bir doğruluk ile tahmin edebildiği gözlemlenmiştir. Gelecekteki çalışmalarda, önerilen yöntemin daha karmaşık yapıdaki güç sistemlerine uygulanması düşünülmektedir.



KAYNAKÇA

- [1] **Sekuçoğlu, S.A.**, 2012. Fotovoltaik (pv), rüzgâr ve hibrit sistemlerin tasarımı ve ekonomik analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [2] **Akyüz, E., Bayraktar, M. ve Oktay, Z.**, 2009. Hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin endüstriyel tavukçuluk sektörü için ekonomik açıdan değerlendirilmesi, *Bir uygulama, BAÜ FBE Dergisi*, **11**, 44-54.
- [3] **Nandi, R., Panigrahi, B.K.**, 2015. Detection Of Fault In A Hybrid Power System Using Wavelet Transform, *Michael Faraday IET International Summit*, Kolkata, India, September 2015, 203 – 206.
- [4] **Hashim, M.N., Osman, M.K., İbrahim, M.N., and Abidin, A.F.**, 2017. Investigation of features extraction condition for impedance-based fault location in transmission lines, *7th IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering*, Penang, Malaysia, November 2017, 325–330.
- [5] **Rangari, C., and Yadav, A.**, 2017. A hybrid wavelet singular entropy and fuzzy system based fault detection and classification on distribution line with distributed generation, *2nd IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology*, India, May 2017, 1473–1477.
- [6] **Gururaja Rao, H.V., Mala, R.C., Chaitanya K.S., Karanam and Pavan Kumar Thota.**, 2017. Detection, Classification and Location of Overhead Line Faults using Wavelet Transform, *Indian Journal of Science and Technology*, **10**, 1-6.
- [7] **Ekici, S., and Yildirim, S.**, 2006. Fault Location Estimation on Transmission Lines Using Wavelet Transform and Artificial Neural Network, Las Vegas Nevada, USA, June 2006, 181-184.
- [8] **Ekici, S.**, 2007. Elektrik güç sistemlerinde akıllı sistemler yardımıyla arıza tipi ve yerinin belirlenmesi, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2007.
- [9] **Ünal, F., and Ekici, S.**, 2017. A fault location technique for HVDC transmission lines using extreme learning machines. *In Smart Grid and*

Cities Congress and Fair, 5th International IEEE, İstanbul, April 2017, 125-129.

- [10] **Kapildev V. Lout.,** 2015. Development of a fault location method based on fault induced transients in distribution networks with wind farm connections, *A thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy, University of Bath, Department of Electronic and Electrical Engineering, England.*
- [11] **Yılmaz, U. Demirören, A. ve Zeynelgil, H.L.,** 2010. Gökçeada’da Yenilenebilir Enerji Kaynakları ile Elektrik Enerjisi Üretim Potansiyelinin Araştırılması, *Gazi Üniversitesi Politeknik Dergisi*, **13**, 215-223.
- [12] **Türkay, B.E, and Telli, A.Y.,** 2011. Economic analysis of standalone and grid connected hybrid energy systems, *Renewable energy*, **36**, 1931-1943.
- [13] **Dinçsoy, M.E.,** 2010. Orta ölçekli bir otelin elektrik enerjisinin hibrit sistemler ile modellenmesi ve optimizasyonu, *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul.*
- [14] **Kaur, M., Singh, V.,** 2015. Design and Analysis of Hybrid Power System with Fault Detection and Removal Capability in Transmission Line, *International Journal of Current Engineering and Technology*, Pathankot, India, October 2015, 3415-3417.
- [15] **Sharma, P., Saini, D., and Saxena, A.,** 2016. Fault Detection and Classification in Transmission Line Using Wavelet Transform and ANN, *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, **5**, 456 – 465.
- [16] **Rong, H., Zhu, M., Feng, Z., Zhang, G., Huang, K.,** 2017. A Novel Approach to Fault Classification of Power Transmission Lines Using Singular Value Decomposition and Fuzzy Reasoning Spiking Neural P Systems, *Romanian Journal of Information Science and Technology*, **20**, 18–31.
- [17] **Adamu, S.S., Iliya, S.,** 2011. Fault Location and Distance Estimation On Power Transmission Lines Using Discrete Wavelet Transform, *International Journal of Advances in Engineering & Technology*. **1**, 69-76.
- [18] **Salat, R., and Osowski, S.,** 2004. Accurate Fault Location in the Power Transmission Line Using Support Vector Machine Approach, *IEEE Transactions on Power Systems*, **19**, 979-986.

- [19] **Kanase-Patil A.B., Saini R.P., and Sharma M.P.**, 2010. Integrated renewable energy systems for off grid rural electrification of remote area, *Renewable Energy*, **35**, 1342-1349.
- [20] **Çakır Y.S.**, 2013. Hibrit sistemlerin boyutlandırılmasında veri çözünürlüğü etkisinin analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- [21] **Gupta A., Saini R.P., and Sharma M.P.**, 2007. Design of an optimal hybrid energy system model for remote rural area power generation, *IEEE International Conference on Electrical Engineering*, Lahore, Pakistan, April 2007, 1-6.
- [22] **Jin Z.**, 2013. Concentrated Solar Power Generation, *Degree Master of Science Thesis*, Arizona State University, ABD.
- [23] URL – 1, <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>, 21 Haziran 2018.
- [24] **Canale M., Fagiano L., and Milanese M.**, 2010. High Altitude Wind Energy Generation Using Controlled Power Kites, *IEEE Transactions On Control Systems Technology*, **18**, 279-293.
- [25] **Yin S., Wang G., and Karimi H.R.**, 2014. Data-driven design of robust fault detection system for wind turbines, *Mechatronics*, **24**, 298-306.
- [26] URL - 2, http://www.yegm.gov.tr/YEKrepa/REPA-duyuru_01.html, 16 Temmuz 2018.
- [27] **Geyik A.K.**, 2018. Çıkık kutuplu senkron generatörün sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmesi *Yüksek Lisans Tezi*, Munzur Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tunceli.
- [28] **Çelikdemir S.**, 2014. Sürekli mıknatıslı senkron generatörlü rüzgar santrali, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [29] **Kaabeche A., Ibtouen R.**, 2014. Techno-economic optimization of hybrid photovoltaic/wind/diesel/ battery generation in a stand-alone power system, *Solar Energy*, **103**, 171-182.
- [30] **Abafogi M.**, 2016. Modbus endüstriyel protokol tabanlı dizel jeneratör sürücü kartı tasarımı ve insan makine ara yüzü tasarımı, *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [31] **Osman A.H., and Malik O.P.**, 2004. Transmission Line Distance Protection Based on Wavelet Transform, *IEEE Transactions On Power Delivery*, **19**, 515-523.

- [32] **Lai T.M., Snider L.A., Lo E., and Sutanto D.**, 2005. High-Impedance Fault Detection Using Discrete Wavelet Transform and Frequency Range and RMS Conversion, *IEEE Transactions On Power Delivery*, **20**, 397-407.
- [33] **Ünal F.**, 2016. Yüksek Gerilim Doğru Akım Enerji İletiminde Meydana Gelen Arızaların Sayısal Koruma Yöntemleri İle Belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Elazığ.
- [34] **Sedighi A.R., Haghifam M.R., Malik O.P., Ghassemian M.H.**, 2005. High Impedance Fault Detection Based on Wavelet Transform and Statistical Pattern Recognition, *IEEE Transactions On Power Delivery*, **20**, 2414-2421.
- [35] **S.K. Goumas., M.E. Zervakis and G. S. Stavrakakis.**, 2002. Classification of Washing Machines Vibration Signals Using Discrete Wavelet Analysis for Feature Extraction, *IEEE Transactions On Instrumentation And Measurement*, **51**, 497-508.
- [36] **Ray P., Panigrahi B.K., and Senroy N.**, 2013. Hybrid methodology for fault distance estimation in a series compensated transmission line, *IET Gener. Trans. Dist.*, **7**, 431-439.
- [37] **Ekici S., Yıldırım S., and Poyraz M.**, 2008. Energy and entropy-based feature extraction for locating fault on transmission lines by using neural network and wavelet packet decomposition, *Expert Systems with Applications* **34**, 2937–2944.
- [38] **Ray P.**, 2014. Fast and Accurate Fault Location by Extreme Learning Machine in a Series Compensated Transmission Line, *Power and Energy Systems, Towards Sustainable Energy*, 1-6.
- [39] URL-3, <https://www.mathworks.com/help/stats/train-classification-models-in-classification-learner-app.html>, 16 Ağustos 2018.
- [40] URL-4, MathWorks, “Statistics and Machine Learning Toolbox” 2018. [Online]. Available: <https://ch.mathworks.com/solutions/big-data-matlab.html>, [Accessed:15-Apr-2018]
- [41] URL-5, <https://www.mathworks.com/help/stats/regression-learner-app.html>, 16 Ağustos 2018.

ÖZGEÇMİŞ

1982 Diyarbakır Silvan İlçesinde doğdu. 1997-2000 Silvan Meslek Lisesinde orta öğretimini tamamladı. 2004-2008 Elazığ-Fırat Üniversitesi-Teknik Eğitim Fakültesi-Elektrik Öğretmenliği bölümünde lisans eğitimini tamamladı. 2015 Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi-İliç Dursun Yıldırım Meslek Yüksekokulu Elektrik ve Enerji bölümünde Öğretim Görevlisi olarak atandı ve devam etmekte. 2015-2018 Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim dalında ‘Hibrit Güç Sistemlerinde Arıza Tespiti’ konulu yüksek lisans çalışmasını tamamladı.

Ümit ÖZLEYEN

2019