

**T.C.  
FIRAT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MİKRO ŞEBEKELERDE GÜÇ AKIŞ ANALİZİ**

**DOKTORA TEZİ**

**Yük. Müh. Serhat Berat EFE**

**(08113201)**

**Anabilim Dalı: Elektrik Elektronik Mühendisliği**

**Programı: Elektrik Tesisleri**

**Danışman: Prof. Dr. Mehmet CEBECİ**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 25 Haziran 2014**

**TEMMUZ - 2014**

T.C  
FIRAT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİKRO ŞEBEKELERDE GÜÇ AKIŞ ANALİZİ

DOKTORA TEZİ

Yük. Müh. Serhat Berat EFE

(08113201)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25 Haziran 2014

Tezin Savunulduğu Tarih : 18 Temmuz 2014

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mehmet CEBECİ

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Sabir RÜSTEMLİ (B.E.Ü)

Doç. Dr. Muhsin Tunay GENÇOĞLU (F.Ü)

Doç. Dr. Zafer AYDOĞMUŞ (F.Ü)

Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÖZDEMİR (F.U)

Temmuz-2014

## ÖNSÖZ

Bu tez çalışması sırasında, tez konusunun belirlenmesinden başlayarak son aşamaya kadar her konuda benden yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Mehmet CEBECİ' ye şükranlarımı sunarım.

Her türlü desteğinden dolayı değerli hocam Prof. Dr. Sabir RÜSTEMLİ'ye teşekkür ederim.

Tez çalışmamda tüm teknik konularda desteğini aldığım Yrd. Doç. Dr. Mahmut Temel ÖZDEMİR hocama teşekkür ederim.

Yakıt Pili Sisteminin tasarımında yardımlarını esirgemeyen Dr. Zehra URAL BAYRAK'a teşekkür ederim.

Yoğun çalışma temposunda benden maddi ve manevi desteğini esirgemeyen eşim Filiz'e, ayrıca varlıkları ile birer motivasyon kaynağı olan oğlum Ali Kaan ve kızım Melis Gökçen'e ve bu günlere gelmemde büyük emekleri olan annem ve kardeşime teşekkür ederim.

**Serhat Berat EFE**

**ELAZIĞ – 2014**

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>I</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>II</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>IV</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>V</b>
<b>ŞEKİLLER LİSTESİ</b> .....	<b>VI</b>
<b>TABLOLAR LİSTESİ</b> .....	<b>VIII</b>
<b>SEMBOLLER LİSTESİ</b> .....	<b>IX</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Mikro Şebekeler .....	1
1.2. Mikro Şebekeler Konusunda Yapılan Çalışmalar .....	5
1.3. Tezin Amacı .....	11
1.4. Tezin Yapısı .....	12
<b>2. MİKRO ŞEBEKENİN BİLEŞENLERİ</b> .....	<b>14</b>
2.1. Fotovoltaik Sistemler .....	15
2.2. Rüzgâr Enerji Santralleri .....	21
2.3. Yakıt Pili Sistemleri .....	27
2.4. Mikro Hidroelektrik Santraller (Mikro HES).....	31
<b>3. GAUSS – SEIDEL İTERATİF YÖNTEMİ İLE GÜÇ AKIŞ ANALİZİ</b> .....	<b>36</b>
3.1. Güç Akışı.....	37
3.2. Güç Akış Probleminin Tanımlanması .....	37
3.3. Gauss-Seidel Yöntemi .....	40
<b>4. GÜÇ AKIŞ ANALİZİNE AKILLI SİSTEM YAKLAŞIMI</b> .....	<b>41</b>
4.1. Yapay Sinir Ağları (YSA).....	42
4.2. YSA'nın Elemanları .....	44
4.3. YSA'nın Yapısı .....	45
4.4. Yapılarına Göre YSA'nın Sınıflandırılması.....	45
4.4.1. İleri Beslemeli YSA .....	45
4.4.2. Geri Beslemeli YSA.....	46
4.5. Öğrenme Algoritmalarına Göre YSA'nın Sınıflandırılması .....	47
4.5.1. Danışmanlı Öğrenme .....	47
4.5.2. Danışmansız Öğrenme .....	47

4.5.3. Destekleyici Öğrenme .....	47
4.6. YSA ile Güç Akış Analizi .....	47
<b>5. GELİŞTİRİLEN YSA TABANLI GÜÇ AKIŞ ANALİZİ YÖNTEMİNİN MİKRO ŞEBEKEYE UYGULANMASI .....</b>	<b>49</b>
5.1. Tasarlanan Mikro Şebekenin Bileşenleri ve Özellikleri.....	50
5.1.1. Fotovoltaik Sistem .....	50
5.1.2. Rüzgâr Enerjisi Sistemi.....	51
5.1.3. Yakıt Pili Sistemi .....	52
5.1.4. Mikro HES .....	53
5.2. Mikro Şebekenin Güç Akış Analizi .....	53
5.2.1. Adalanmış Durumda Güç Akış analizi .....	53
5.3. Mikro Şebekenin Farklı İşletme Koşulları Altında İncelenmesi .....	61
5.3.1. Tekil Arıza Durumunda Online Güç Akış Analizi .....	77
5.3.2. Şebeke Bağlantılı Durumda Güç Akış Analizi .....	78
<b>6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>81</b>
6.1. Sonuçlar.....	81
6.2. Öneriler.....	83
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>84</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>89</b>
EK 1. Yazılımlar.....	89
Ek 1.1. Hat Parametrelerinin Yazılıma Tanımlanması için Alt Program .....	89
Ek 1.2. Bara Admitans ve Bara Empedans Matrislerinin Oluşturulması için Alt Program .....	89
Ek 1.3. Bara Yüklenme Değerlerinin Yazılıma Tanıtılması için Alt Program.....	90
Ek 1.4. Kutupsal – Kartezyen Dönüşümü için Alt Program .....	90
Ek 1.5. Gauss – Seidel Yöntemi ile Güç Akış Analizi için Kullanılan Program .....	90
Ek 1.6. YSA Eğitim Algoritması.....	91
Ek 1.7. YSA Test Algoritması.....	91
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>92</b>

## ÖZET

Teknolojik gelişmeler, cihazların küçülmesi ve hızlanmasının yanında dezavantaj olarak aşırı hassaslaşmalarına yol açmaktadır. Bir şebekedeki kullanıcıların büyük bölümünün hassas yüklere sahip olması, bireysel önlemlerin, yerini şebeke bazında alınacak önlemlere bırakmasını zorunlu kılmaktadır. Bu zorunluluk sonucunda, kritik yüklerin enterkonnekte şebekede oluşacak kesinti ve arızalardan en az düzeyde etkilenmesi yaklaşımı mikro şebeke kavramını ortaya çıkarmıştır. Mikro şebekeler, yenilenebilir enerji kaynakları ile klasik enerji üretim santrallerinin entegrasyonu sonucunda oluşturulan hibrit yapılardır. Özel bölgelerin enerjilendirilmesi amacıyla kolayca uygulanabildikleri, kaliteli ve kesintisiz enerji sağlayabildikleri için mikro şebekelerin kullanımı hızla yaygınlaşmaktadır. Çeşitli enerji üretim kaynakları ve yükler içermesi nedeniyle mikro şebekelerin, büyük güç sistemlerindeki gibi farklı çalışma ve yük değişimi durumlarına ilişkin analizinin yapılmasına ihtiyaç bulunmaktadır.

Bu tez çalışmasında, bir mikro şebekenin tasarlanan yapay sinir ağı ile güç akışı analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, aynı sistemin klasik Gauss-Seidel yöntemi temelli yazılımsal çözümü ile analizi yapıldığı zaman ortaya çıkan sonuçlar ile karşılaştırılarak yapay sinir ağının başarısı incelenmiştir. Önerilen yöntem kullanılarak enerji şebekelerinin ve dolayısıyla mikro şebekelerin tasarımı için gerekli olan güç akış analizinin iteratif yöntemlere gerek kalmadan yapılabilmesi sağlanacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Güç Akış Analizi, Mikro Şebekeler, Yapay Sinir Ağları,  
Yenilenebilir Enerji Kaynakları

## SUMMARY

### Power Flow Analysis in Micro Grids

Technological developments, causes a disadvantage like daily equipments' getting more sensitive besides the advantages that they are getting smaller and faster. It is necessary to take network based precautions instead of individual ones while most of the loads on a network are sensitive loads. As a result of this necessity, the micro grid concept has emerged to reduce the effects of outages and faults which occur at interconnected network on sensitive loads.

Micro grids are hybrid structures that consist of the integration of usual energy plants and renewable energy sources. The use of micro grids increasing rapidly, in order to they can be easily implemented for supplying qualified and uninterruptable energy to specific regions. Because of their containing various energy sources and loads, they should be analyzed for different operating and loading conditions as large power systems.

In this thesis, power flow analysis of a micro grid is performed by a designed artificial neural network. The obtained results are compared with the results of the same system's conventional Gauss – Seidel based software analysis and the success of neural network is studied. The proposed method can be used for power flow analysis which has vital importance for micro grid design without the necessity of iterative methods.

**Key Words:** Power Flow Analysis, Micro Grids, Artificial Neural Networks, Renewable Energy Sources

## ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Bir mikro şebekenin genel yapısı .....	2
Şekil 1.2. Bir mikro şebekenin tek hat şeması.....	3
Şekil 2.1. Uluslararası Enerji Ajansı'nın öngörüsü .....	14
Şekil 2.2. Güneş pili eşdeğer DA modeli .....	17
Şekil 2.3. PV modülün Matlab/Simulink modeli .....	18
Şekil 2.4. PV bloğu.....	18
Şekil 2.5. Modülün akım-gerilim eğrileri .....	19
Şekil 2.6. Modülün güç-gerilim eğrileri .....	19
Şekil 2.7. DA-AA evirici bağlantılı PV dizinin eşdeğer devresi.....	20
Şekil 2.8. PV dizisi eşdeğer devresi hesabı için akış şeması.....	20
Şekil 2.9. RES blok şeması.....	22
Şekil 2.10. Rüzgâr türbini Matlab/Simulink modeli .....	23
Şekil 2.11. Rüzgâr türbini bloğu.....	24
Şekil 2.12. Farklı $\beta$ değerleri için $c_p - \lambda$ grafiği .....	25
Şekil 2.13. Türbin güç karakteristikleri ( $\beta=0^\circ$ için).....	26
Şekil 2.14. PEM yakıt pili yapısı.....	27
Şekil 2.15. PEM yakıt hücresinin V-I karakteristiği.....	28
Şekil 2.16. Şebekeye bağlı çalışan yakıt pili sistemi.....	29
Şekil 2.17. Benzetimi yapılan yakıt pili sistemi .....	29
Şekil 2.18. 1000 W endüktif yük bağlanması durumunda çıkış gücü eğrisi .....	30
Şekil 2.19. 4500 W endüktif yük bağlanması durumunda çıkış gücü eğrisi .....	30
Şekil 2.20. Bir mikro HES ile bölgesel besleme .....	31
Şekil 2.21. Türbin bloğu.....	34
Şekil 2.22. Türbin bloğu iç yapısı .....	34
Şekil 2.23. Hidrolik türbin iç yapısı .....	35
Şekil 2.24. Servo motor bloğunun iç yapısı .....	35
Şekil 3.1. Üç düğümlü dengeli sistemin tek fazlı gösterimi.....	37
Şekil 4.1. Yapay sinir ağı yapısı .....	42
Şekil 4.2. Yapay sinir ağı çalışma adımları .....	43
Şekil 4.3. İleri beslemeli 3 katmanlı YSA .....	46
Şekil 4.4. Geri beslemeli YSA .....	46
Şekil 4.5. YSA iç yapısı .....	48
Şekil 5.1. Mikro şebekenin blok gösterimi.....	49
Şekil 5.2. Modül özellikleri .....	50
Şekil 5.3. PV üretim bloğu .....	50
Şekil 5.4. RES blok yapısı.....	51
Şekil 5.5. Asenkron generatörün özellikleri .....	51
Şekil 5.6. PEM yakıt pilinin iç yapısı.....	52



Şekil 5.7. PEM yakıt pilinin blok yapısı.....	52
Şekil 5.8. Mikro HES blok parametreleri .....	53
Şekil 5.9. Tasarlanan mikro şebekenin Matlab/Simulink yapısı .....	54
Şekil 5.10. Eğitim için giriş parametreleri.....	58
Şekil 5.11. Eğitim için çıkış parametreleri .....	58
Şekil 5.12. YSA eğitim süreci .....	59
Şekil 5.13. Regresyon eğrisi .....	59
Şekil 5.14. Adalanmış durum için arıza noktaları ile yeniden düzenlenmiş mikro şebeke.	61
Şekil 5.15. Hat akımının (a) normal işletme, (b) arıza durumu grafikleri.....	63
Şekil 5.16. Hat geriliminin (a) normal işletme, (b) arıza durumu grafikleri .....	64
Şekil 5.17. Mikro HES bara akımının (a) normal işletme, (b) arıza durumu grafikleri .....	65
Şekil 5.18. Mikro HES bara geriliminin (a) normal işletme, (b) arıza durumu grafikleri...	66
Şekil 5.19. PEM YPS bara akımının (a) normal işletme, (b) arıza durumu grafikleri .....	67
Şekil 5.20. PEM YPS bara geriliminin (a) normal işletme, (b) arıza durumu grafikleri.....	68
Şekil 5.21. PV sistem bara akımının (a) normal işletme, (b) arıza durumu grafikleri .....	69
Şekil 5.22. PV sistem bara geriliminin (a) normal işletme, (b) arıza durumu grafikleri.....	70
Şekil 5.23. RES bara akımının (a) normal işletme, (b) arıza durumu grafikleri .....	71
Şekil 5.24. RES bara geriliminin (a) normal işletme, (b) arıza durumu grafikleri.....	72
Şekil 5.25. Yük barası akımının (a) normal işletme, (b) arıza durumu grafikleri .....	73
Şekil 5.26. Yük barası geriliminin (a) normal işletme, (b) arıza durumu grafikleri.....	74
Şekil 5.27. Hat faz açısının (a) normal işletme, (b) arıza durumu grafikleri.....	75
Şekil 5.28. Hat gerilimi genliğinin (a) normal işletme, (b) arıza durumu grafikleri .....	76
Şekil 5.29. Online çalışma için oluşturulan YSA bloğu.....	77
Şekil 5.30. Yük barası arızasında PV barasının akım ve gerilim grafikleri .....	78
Şekil 5.31. HES barası arızasında PV barasının akım ve gerilim grafikleri.....	79

## TABLolar LİSTESİ

### Sayfa No

Tablo 2.1. Arz – talep dengesi .....	15
Tablo 2.2. Farklı PV teknolojilerinin verim karşılaştırması .....	16
Tablo 5.1. Adalanmış durum için kaynaklar ve yüklerin özellikleri .....	53
Tablo 5.2 Bara yüklenme değerleri .....	55
Tablo 5.3 Hat parametreleri .....	56
Tablo 5.4. Yazılım ile elde edilen bara gerilim genlik ve açı değerleri .....	57
Tablo 5.5. YSA ile elde edilen bara gerilim genlik ve açı değerleri .....	60
Tablo 5.6. Sonuçların karşılaştırılması .....	60
Tablo 5.7. Yük barası arızası durumunda YSA ile elde edilen güç akış analizi sonuçları..	78
Tablo 5.8. Şebeke bağlantılı durum için kaynaklar ve yüklerin özellikleri.....	79
Tablo 5.9. HES barası arızası durumunda YSA ile elde edilen güç akış analizi sonuçları .	80

## SEMBOLLER LİSTESİ

<b>k</b>	: Boltzmann sabiti ( $1,38.10^{-23}$ J/K)
<b>q</b>	: Elektron yükü ( $1,6.10^{-19}$ C)
<b>T</b>	: Sıcaklık ( $^{\circ}$ K)
<b>E</b>	: Işınım verisi ( $W/m^2$ )
<b>V<sub>pmak</sub></b>	: PV panelin maksimum güç gerilimi
<b>N<sub>s</sub></b>	: Seri bağlı hücre sayısı
<b>N<sub>p</sub></b>	: Paralel bağlı hücre sayısı
<b>MPPT</b>	: Maksimum güç noktası takibi
<b>PWM</b>	: Darbe genişlik modülasyonu
<b>PEM</b>	: Proton Exchange Membrane (Proton Değişimli Zar)
<b>P<sub>t</sub></b>	: Rüzgâr türbininden elde edilecek güç
<b>A</b>	: Kanat süpürme alanı ( $m^2$ )
<b><math>\rho</math></b>	: Havanın özgül yoğunluğu ( $kg/m^3$ )
<b>C<sub>p</sub></b>	: Güç dönüşüm katsayısı
<b>v</b>	: Rüzgar hızı (m/s)
<b><math>\lambda</math></b>	: Kanat uç – hız oranı
<b><math>\omega_t</math></b>	: Türbin dönüş hızı
<b>R</b>	: Türbin kanadının yarıçapı
<b><math>\delta</math></b>	: Faz açısı
<b>w<sub>ref</sub></b>	: Referans hız
<b>P<sub>ref</sub></b>	: Referans mekanik hız
<b>w<sub>e</sub></b>	: Anlık hız
<b>Pe0</b>	: Anlık elektriksel güç
<b>d<math>\omega</math></b>	: Hızdaki sapma
<b>P<sub>m</sub></b>	: Mekanik güç
<b>gate</b>	: Geçiş açıklığı

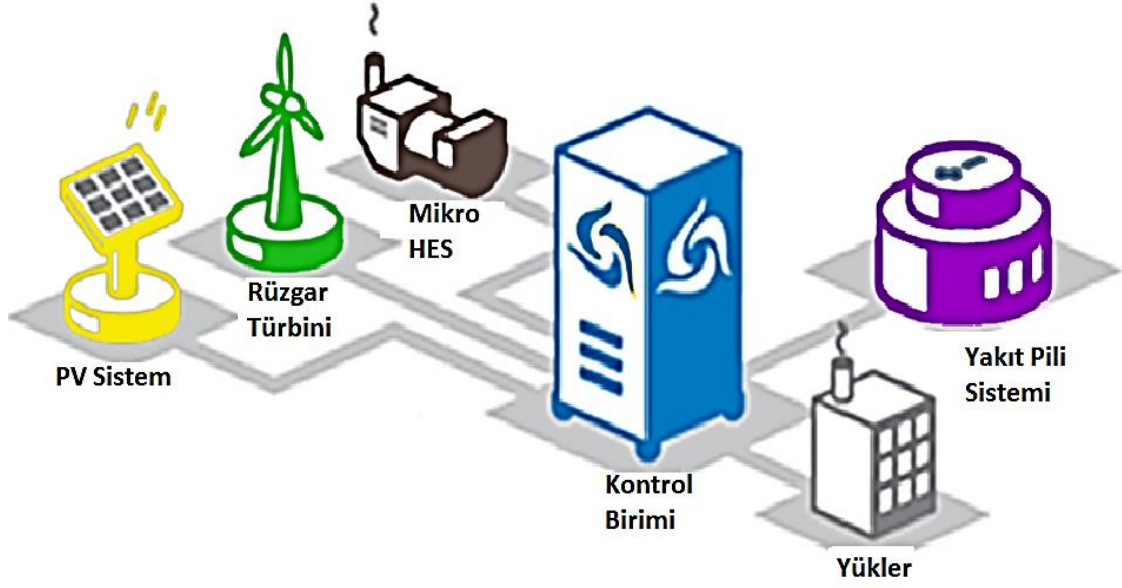
# 1. GİRİŞ

## 1.1. Mikro Şebekeler

Elektrik enerjisinin üretim, iletim ve dağıtım aşamalarında belirli koşullar sağlanmak zorundadır. Kalite ve süreklilik, sağlanması gereken bu koşullardan en temel ve vazgeçilmez olanlarıdır. Özellikle hassas yükler için gerilim ve akım dalga şekillerinin sinüs biçimine en yakın halde olması ve beslemede sürekliliğin sağlanması hayati öneme sahiptir. Mevcut şebeke yapısı nedeniyle, kritik yüklere sahip son kullanıcılar, kalite ve sürekliliği sağlamak için bireysel önlemler alma zorunluluğu duymaktadır. Ancak, modern dünyanın vazgeçilmezi olan elektrik ve elektronik teknolojisinin çok hızlı ilerlemesi, günlük hayatın içine giren cihazların küçülmesi ve hızlanmasının yanında dezavantaj olarak aşırı hassaslaşmalarına yol açmaktadır. Bir şebekedeki tüm kullanıcıların hassas yüklere sahip olması, bireysel önlemlerin, yerini şebeke bazında alınacak önlemlere bırakmasını zorunlu kılmaktadır. Bu zorunluluk sonucu tasarlanan mikro şebekeler, kritik yüklerin enterkonnekte şebekede oluşacak kesinti ve arızalardan en az düzeyde etkilenmesi amacıyla kurulmaya ve kullanılmaya başlanan; güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, hidrojen enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları ile klasik enerji üretim santrallerinin entegrasyonu sonucu oluşturulan hibrit yapılarıdır.

Özel bölgelerin enerjilendirilmesi amacıyla kolayca uygulanabildikleri, kaliteli ve kesintisiz enerji sağlayabildikleri için mikro şebekelerin kullanımı hızla artmaktadır. Çeşitli enerji üretim kaynakları ve yükler içermesi nedeniyle bu tip sistemlerin, büyük güç sistemlerindeki gibi farklı çalışma ve yük değişimi durumlarına ilişkin analizinin yapılması zorunlu bir hal almıştır. Mikro şebekeler çok büyük güçlerde üretim kaynakları içermedikleri ve yapıları gereği sonsuz bara kavramının kullanılmasına olanak bulunmadığından, bu tip sistemlerde baraların güvenli çalışma aralığında tutulabilmesi açısından en önemli analiz güç akışı analizidir.

Üretim kaynaklarının ve yüklerin gösterildiği bir mikro şebeke yapısı en genel hatlarıyla Şekil 1.1' de verilmiştir.



Şekil 1.1. Bir mikro şebekenin genel yapısı

Mikro şebekeler, belli yapıları ile klasik güç sistemleri ile farklılıklar gösterirler. Bu farklar şu şekilde verilebilir;

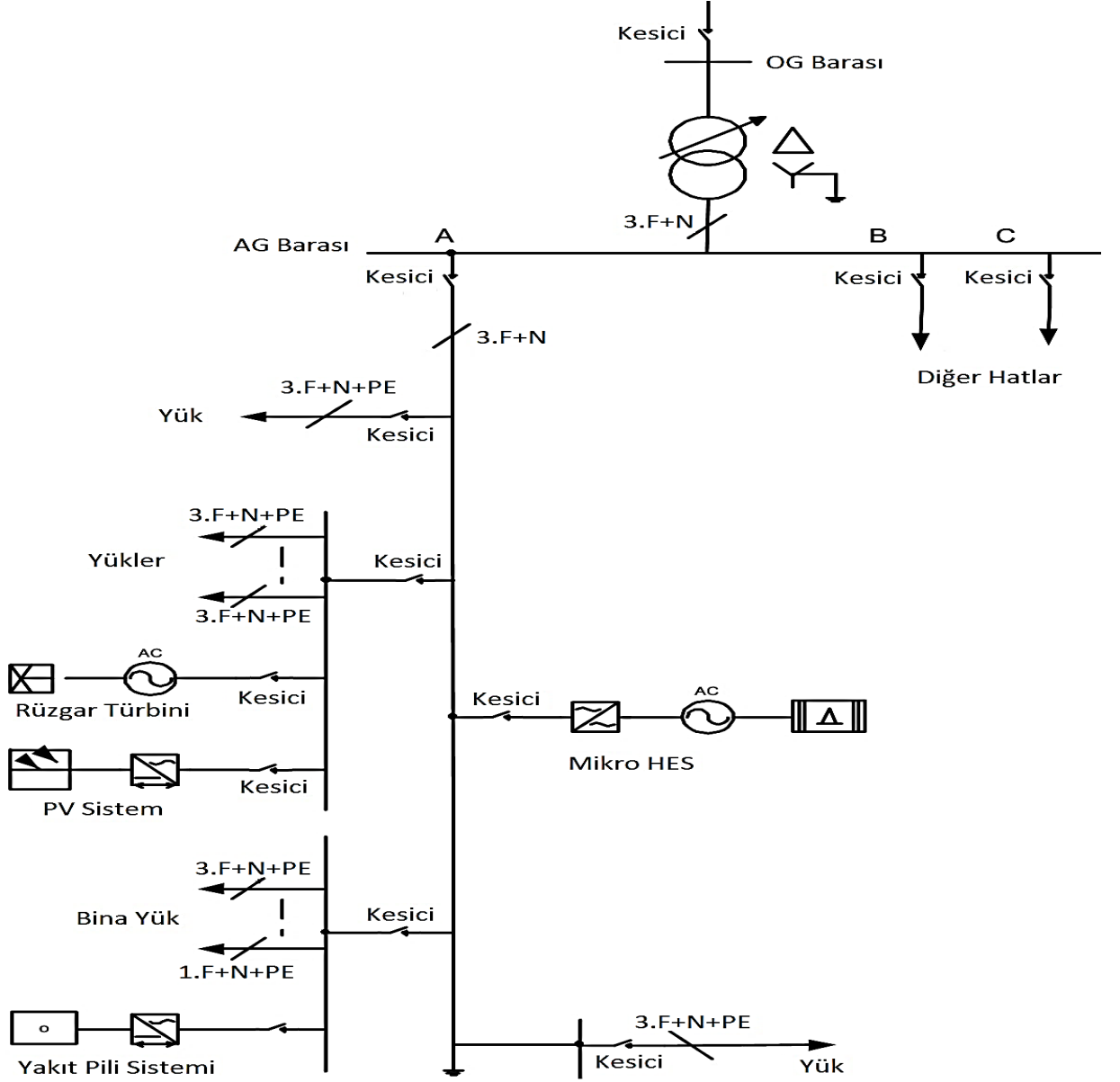
- Mikro şebekelerin üretim bileşenleri olan mikro kaynaklar, klasik güç sistemi kaynaklarına göre çok küçüktür.
- Mikro kaynaklar ile üretilen gücün gerilim değeri dağıtım sistemi gerilimi ile aynıdır. Bu nedenle kaynağın doğrudan dağıtım şebekesine bağlantısı yapılabilmektedir.
- Mikro şebekeler, çoğunlukla kullanıcı taleplerine göre planlanıp kurulur. Bu nedenle yükler optimum değerde gerilim ve frekans ile beslenebilir.

Mikro şebekenin teknik özellikleri ve yapısı, bu sistemleri çeşitli nedenlerle ana şebeke bağlantısının yapılamadığı bölgelerdeki kullanıcıların enerjilendirilmesi için vazgeçilmez kılmaktadır.

Ana şebeke açısından incelendiğinde, mikro şebekenin en önemli avantajı, ana şebeke içinde kontrol edilebilir bir yapıda ve gerekli durumda ayrık bir enerji kaynağı olarak çalışabilme yeteneğine sahip olmasıdır.

Kullanıcı açısından bakıldığında ise, bireysel enerji ihtiyaçlarını kaliteli ve kesintisiz enerji sunarak karşılayabilmesi ve bu durumun olası zararları engellemesi yeteneği, mikro şebekenin en büyük avantajı olarak öne çıkmaktadır.

Literatür taraması, çalışmalarda kullanılmak üzere tasarlanan mikro şebekelerin çoğunlukla dallı şebeke yapısı kullanılarak modellendiğini göstermiştir. Dallı yapıdaki bir mikro şebekenin tek hat şeması Şekil 1.2'deki gibi gösterilebilir.



Şekil 1.2. Bir mikro şebekenin tek hat şeması

Mikro şebekeler, temel olarak özel bölgelerin enerjilendirilmesi amacıyla kurulan ve kullanılan yapılardır. Bundan amaçlanan, şebeke tasarımında kullanılan kaynakların birbirini yedekleyecek biçimde çalışarak özel yükün enerjisiz kalmasının engellenmesi ihtiyacıdır. Ancak dallı şebeke yapısı bu gerekliliği tam olarak karşılayamamaktadır.

Klasik dağıtım şebekesi yapısında tasarlanan mikro şebekelerde belli noktalarda meydana gelebilecek arızalar yükte kesintilere yol açabilecektir. Halka (göz) şebeke yapısında ise bu durum, ancak yük barasında oluşacak arıza sonrası açığa çıkabilecek, şebekenin herhangi bir noktasında oluşacak arızada yükün şebekeden izole olma durumu söz konusu olmayacaktır. Ayrıca bu tasarım şekli, enterkonnekte şebeke yapısına benzerdir. Bu nedenle bu tarz tasarımda, kaynakların yük olarak davranmaması için senkronize çalıştırılması zorunluluğu oluşmaktadır. Benzetim programlarında bu işlem programlar tarafından otomatik olarak yapılmakla birlikte pratik uygulamalarda senkronizasyon birimleri kullanılmalıdır.

Son zamanlarda dünya genelinde birçok bölgede büyük çaplı elektrik kesintileri yaşanmış ve bu durum nedeniyle büyük problemler ortaya çıkmıştır. Sebebi her ne olursa olsun bu kesintiler bir gerçeği ortaya çıkarmıştır: Modern dünyada, günlük yaşamda elektrik enerjisine kayıtsız şartsız bir bağımlılık mevcuttur ve bu gibi durumlarla karşılaşıldıkça, negatif etkilerin olabildiğince azaltılması için farklı çözüm yolları arayışına gidilmesi zorunluluk halini almıştır.

Standart şebeke yapısına benzer olarak, bir mikro şebeke üretim, dağıtım ve yük bölgelerinden oluşur. Dağıtık üretim kaynakları (fotovoltaik sistemler, rüzgar enerji santralleri, yakıt pili sistemleri, mikro hidroelektrik santraller, vb. ) mikro şebekenin üretim kısmını meydana getirir. Ana şebeke bağlantılı mikro şebekelerde, ana şebeke bağlantı noktasında kullanılacak kontrollü kesici ve ayırıcılar ile gerekli durumlarda mikro şebekenin ana şebeke bağlantısının kesilmesi ve adalanmış bölgenin bağımsız olarak enerjilendirilmesi sağlanabilir. Mikro şebeke kaynaklarının üretiminin fazla olması durumunda da ana şebekenin beslenebilmesi, mikro şebekenin başka bir önemli özelliği olarak belirtilebilir.

Yaygın olarak kullanılmaya başlanmaları nedeniyle mikro şebekeler için bir standart ihtiyacı ortaya çıkmıştır. 2008 yılında yayınlanan “IEEE Dağıtık Enerji Kaynaklarının Elektrik Güç Sistemlerine Bağlanması İçin Standart” (IEEE Std. 1547.2-2008), bu ihtiyacın tüm yönleriyle karşılanmasını sağlamıştır. Bu standart aynı zamanda içerdiği çeşitli örneklerle planlama mühendislerine, mikro şebeke ve sistem yöneticileri ile donanım üreticilerine önemli bir kaynak teşkil etmektedir [1].

## 1.2. Mikro Şebekeler Konusunda Yapılan Çalışmalar

Literatürde, özellikle son dönemlerde mikro şebekeler ile ilgili çok sayıda çalışmaya rastlanmaktadır. Bu çalışmalarda, hem bir bütün olarak mikro şebeke yapısına değinilmiş, hem de mikro şebekeyi oluşturan bileşenler (dağıtık üretim sistemleri) ayrı ayrı incelenmiştir. Bu çalışmalardan birinde [2], dünya üzerinde mikro şebeke ile ilgili yapılan çalışmalar ve projeler anlatılmaktadır. Mikro şebekenin hızla önemli bir konu olarak araştırmalara konu olduğu vurgulanmaktadır. Ayrıca çalışmada bu tip sistemler ile ilgili test çalışmalarına da yer verilmiştir. Çalışma, mikro şebekelerin bugünkü durumu ve gelecekteki konumu hakkında yol gösteren bir çalışmadır. Bir diğer çalışmada [1] mikro şebekelerin bugünkü durumu ve yapısı anlatılmış, şebekeye bağlantılarında ve entegrasyonlarında yaşanan zorluklar ortaya konmuştur. Çalışmada ayrıca mikro şebeke standartları ile ilgili sorunlar ve diğer belirleyici konular üzerinde tartışılmıştır. Dumlupınar Üniversitesi merkez kampüs alanı içerisinde, rüzgâr ve güneş enerjisinden oluşan şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı hibrit enerji sistemlerinden elektrik üretimi teorik olarak incelenmiştir [3]. Bölgede, rüzgâr ve güneş potansiyeline ilişkin daha önce yapılmış ve bunlar yayımlanmış olup elde edilen veriler kullanılmıştır. Çeşitli rüzgâr türbinleri ile güneş panelleri kullanılarak oluşturulan hibrit enerji sisteminde, kurulu gücü 1-10 kW arasında olan on adet şebekeden bağımsız, 15 kW ile 45 kW arasında olan altı adet şebekeye bağlı olmak üzere, toplam on altı adet senaryo oluşturulmuş olup elektrik enerjisi üretimi araştırılmıştır.

Literatürde PV sistemlerin tasarım ve uygulamaları ile ilgili çok sayıda çalışmaya ulaşılabilir. Bu çalışmalardan birinde güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde eden bir evden beslenen yüklerin güç tüketimi ve PV sistemin güç üretimi incelenirken [4], bir diğerinde de ev tipi uygulamalar için bir PV güç kaynağının tasarımı ve kullanımı üzerinde çalışılmıştır. Buna göre, tüm sistemin PV, elektriksel yükler, DA/DA ve DA/AA çeviriciler ve kontrol yapıları ile dinamik çevrim işlemleri gibi bileşenleri, Matlab/Simulink ortamında modellenmiş ve bu model, yük ile güneş radyasyon seviyesi ve sıcaklık değişimleri altında tam olarak doğrulanmıştır. Ayrıca yükler üzerindeki gerilimin dalga şeklini düzeltmek ve harmonikleri azaltmak için filtre tasarımı üzerinde durulmuştur [5].

Güneş enerjisinden aydınlatma için faydalanmanın incelendiği başka bir çalışmada, Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi otopark alanının aydınlatılmasında kullanılan fotovoltaik sistemin performans analizi yapılmıştır. Yapılan çalışmada öngörülen sistem için



güneş enerjisinden elde edilen enerji değerleri, hesaplanan ve ölçülen sonuçlar karşılaştırılarak, sunulmuştur. Sonuçlar yardımıyla Güneydoğu Anadolu Bölgesinde güneş enerjisi ile beslenen aydınlatma sistemlerinde tasarım değerlerine katkı sunulmaktadır [6].

Şebeke bağlantılı çalışma durumlarının incelendiği yayınlarda ise PV sistemlerin benzetimleri yapılarak şebeke bağlantı durumunda gerek şebekenin gerekse yüklerin ve PV sistemlerin durumlarının farklı senaryolar ile analizi yapılmıştır [7-8].

RES uygulamalarının önemi, literatür incelendiğinde daha iyi anlaşılmaktadır. Yapılan çalışmalardan birinde elektrik enerjisi üretimi için düşük güçlü bir enerji sistemi gerçekleştirilmiştir. Sistem; dahili şarj birimine sahip 400W gücünde sürekli mıknatıslı senkron generatörlü rüzgar türbini, akü ve darbe genişlik modülasyonlu eviriciden oluşmaktadır. Sistemin Matlab/Simulink platformunda benzetimi yapılmış, daha sonra benzetim ve deney sonuçları karşılaştırılarak verilmiştir [9]. Başka bir çalışmada ise rüzgâr türbinlerinin avantajları, kullanma gerekçeleri günümüz şartlarına göre yorumlanmış ve rüzgâr türbinleri için kullanılacak generatör çeşitleri incelenmiştir. Bu çalışma ile rüzgâr türbinleri teknolojisinin, aerodinamik, mekanik, meteoroloji, elektrik gibi birçok konuyu barındıran karmaşık bir sistem olduğu gözler önüne serilmektedir [10].

Doğrudan sürülen sürekli mıknatıslı senkron generatörlü rüzgar türbininin incelendiği bir başka çalışmada [11], rüzgar enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülme aşamaları ve üretilen bu enerjinin filtrelenerek PWM evirici ile yüke uygulanma yöntemleri üzerinde durulmuştur. Literatürdeki diğer çalışmalarda da doğrudan sürümlü sürekli mıknatıslı senkron generatörler, sürekli çalışma modelleri, dinamik modelleri, dq0 dönüşümlerini ve rotor akı yönelimleri üzerine benzetim ve uygulamalar yapılmıştır. Bu çalışmaların dışında, karakteristiklerine göre model sonuçlarının verildiği çok sayıda çalışma mevcuttur [12-14].

Literatür araştırması yapıldığında yakıt pili sistemleri üzerinde çalışmalar yapan araştırmacıların daha çok bu sistemlerin modellenmesi ve kullanım alanları ile ilgili konular üzerinde yoğunlaştığı görülmüştür. Bu çalışmalardan birinde tasarlanan mikro şebeke için bir PEM yakıt pili modeli oluşturulmuş, daha sonra diğer dağıtık kaynaklarla çalışması durumunda yakıt pilinin performansı incelenmiştir [15]. Bir başka çalışmada ise PEM yakıt pili ile oluşturulan ve kontrol ünitelerini de içeren bir modelin mikro şebeke olarak kullanılması ve enterkonnekte şebekeye bağlı çalıştırılması incelenmiştir [16]. Bu çalışma, yakıt pili sistemlerinin mikro şebekelerde kullanımı ile ilgili önemli noktaların tespitinde

planlama mühendislerine büyük fayda sağlayabilecektir. Bunların dışında yapılan çalışmalarda da yakıt pili sistemlerinin gerek tek başlarına kullanılmaları ve gerekse mikro şebeke yapısı içinde yer almaları ile ilgili önemli teoriler ortaya atılmış, çalışma şekilleri ve olası sorunlar irdelenmiştir [17-21].

Güç sistem planlaması ve işletilmesi aşamaları için önemli bir analiz olan güç akışı analizi ile ilgili geçmişten bugüne yapılmış çok fazla sayıda çalışmaya rastlanmaktadır. V.M. da Costa ve ekibinin yaptığı çalışmada [22], iletim ve dağıtım şebekelerindeki güç akışı probleminin çözümü üzerinde yapılan çalışmaların yöntemleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Makalede önce kutupsal, kartezyen ve akım girişli güç akışı yöntemlerinin genel formülasyonları ve iterasyon adımları verilmiştir. Daha sonra bu yöntemler düzgün sistemler üzerinde, başlangıç gerilim genlikleri 0.9, 1.0 ve 1.1 pu. değerlerinde, açıları ise  $0^\circ$  olacak şekilde seçilen gerilim değerlerinde test edilerek iterasyon sayıları karşılaştırılmıştır. Sorunlu sistemlerde ise  $\alpha=1.0$ ,  $\alpha=1.05$  ve  $\alpha=1.10$  şeklindeki farklı yüklenme faktörleri ile senaryolar oluşturulmuş, ardından bu değerlere göre gerilim genliklerinin değişimleri irdelenmiştir. Bir başka çalışmada ise rüzgâr santralleri içeren sistemlerde kullanılmak üzere değiştirilen bir Newton-Raphson güç akışı metodu verilmiştir [23].

Benzer bir çalışmada ise [24], olası yük akışı hesabı için şebekeye bağlı rüzgâr güç sistemlerinden oluşan olası rüzgâr çiftliği modeli sunulmuştur. Modelde, rüzgâr türbini tarafından verilen aktif güç ve çekilen reaktif güç, gerilim genliğinin, asenkron generatörün kaymasının ve rüzgâr türbinlerinin devre parametrelerinin fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. Daha sonra, rüzgâr türbini generatörünün kayması PLF (olasılıksal yük akışı) eşitliklerinde yeni düzeltme değeri olarak tanımlanmış ve böylece PLF eşitlikleri, orijinal durum değişkenleri ve kayma için iteratif yöntemle çözülmüştür.

Dou [25], dağıtık üretim kaynakları ile oluşturulan bir mikro şebekenin geçici durum kontrolü üzerine çalışmıştır. Ancak görülmektedir ki çalışma yapılan üretim kaynaklarının parametreleri mikro şebeke tanımına uymamaktadır. Zira yapılan tasarımda kaynakların güçleri MVA'lar mertebesinde tanımlanmıştır. Bu tip bir yapı enterkonnekte şebekeye benzer bir yapıdadır ve bu tarz şebekeler üzerine yapılan çalışmalar oldukça fazla sayıdadır. Ayrıca gerçek sistem üzerinde çalışılmaması, geçici durumlara kaynakların vereceği cevabın tespitinde çok doğru sonuçlara ulaşılabileceği konusunda şüpheyi açmaktadır.

Bu tip çalışmalardan birinde Abdelaziz ve ekibi [26], farklı kaynak ve yükler içeren izole bir mikro şebekenin diferansiyel eşitliklerini oluşturmuş ve Newton yöntemi ile çözmüşlerdir.

Diğer bir çalışmada ise fazla gözlü şebekelerin güç akışı hesaplaması için farklı bir yaklaşım denenmiştir. Buna göre sistem radyal bölümler olarak ayrıştırılmış ve klasik yöntemlerle analizi yapılmıştır [27]. Dengesiz üç fazlı güç sistemleri için döngü analiz metodu temelli güç akışı yönteminin tanımlandığı başka bir çalışmada öncelikle döngü analiz metodu açıklanmış, bu metoda ait formülasyonlar verilmiştir. Daha sonra, kompanzasyonlu geri ileri yayılım metodu tanımlanarak bu yöntemin akış diyagramı ve formülleri verilmiştir. Bundan sonra, döngü temelli güç akış algoritması verilerek bu yöntem 69 noktalı bir dağıtım sistemi üzerinde geri-ileri yayılım yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Buna göre, bu yöntemin radyal ya da az gözlü sistemlerde çok verimli olduğu sonucuna ulaşılmıştır [28]. Rashad Kamel ve arkadaşları, izole durumda çalışan bir mikro şebekenin farklı yük koşulları altında kararlılık analizini yapmıştır [29]. Oluşturulan mikro şebeke bir yakıt pili, bir mikro türbin, bir volan (flywheel), iki fotovoltaik panel ve bir rüzgâr üretici sisteminden oluşmuştur. Rüzgâr üretici hariç diğer tüm mikro üreteçler, mikro şebekeye evirici üzerinden bağlanmıştır. Sistem iki senaryo ile denenmiştir. Birinci senaryoda, sistem kaynaklarının yükleri beslemek için yeterli olmayacağı varsayılmıştır. Bu durumda sisteme ana şebekeden aktif ve reaktif güç girişi olmuş, belirli bir süre sonra sistem ana şebekeden ayrılmış ve bu durumda sistem kararlılığı incelenmiştir. İkinci senaryoda ise sistemin ana şebekeye güç aktardığı varsayılmış ve yine belirli bir süre sonra mikro sistemin şebekeden ayrılması durumunda sistemin kararlılığı incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre sistemde volan olması, frekans kararlılığında iyileşmeye neden olmuştur.

X. Liu ve arkadaşlarının yaptığı çalışma [30], birbirlerine bağlı olarak çalışan bir AA ve bir DA şebekesi içeren mikro şebeke yapısı üzerinedir. AA şebekesi; rüzgâr türbini, dizel üreteçler ve sıradan AA yüklerden, DA şebekesi ise fotovoltaik paneller, yakıt pili ve DA yüklerinden oluşmuştur. Sistemde AA ve DA olmak üzere iki bara mevcuttur ve bu baralar her iki şebeke tarafından da beslenmektedir. Tüm yapıların modellenmesinden sonra çeşitli yük ve üretim senaryoları için benzetim programı çalıştırılmıştır. Şebeke bağlantılı durum ve izole durum için çalıştırılan sistemin sonuçları, hibrit yapıların hem şebeke bağlantılı hem de izole olarak çalıştırılabileceğini göstermiştir.

Y.H.Liu ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada [31], bağımsız mikro şebekeler için Newton – Raphson güç akışı çözümü temelli yeni bir güç akışı hesaplama modeli geliştirilmiştir. Bu model salınım barası olmayan şebekenin uyumlu çalıştırılmasını sağlamak amaçlı tasarlanmıştır. Salınım barasına sahip şebekeler için olan geleneksel güç akışı yöntemleri ile karşılaştırıldığında elde edilen sonuçların uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Fotovoltaik sistem üretimi dağıtık üretimin doğal sebeplere bağlı olması nedeniyle güç çıkışı olasılıksal olmaktadır. Bu nedenle geleneksel güç akışı yöntemleri bu dağıtım sistemlerini analiz etmek için uygun değildir. Shujun Yao ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, fotovoltaik sistemlerin dağıtık üretim üzerindeki etkilerinin azaltılması için geliştirilen olasılıksal güç akışı yöntemi incelenmiştir [32]. Öncelikle fotovoltaik sistemin olasılıksal modeli verilmiştir. Bununla birlikte güç sistemi tarafından çekilen güç ifadelerinin olasılıksal dağılımı için formüller verilmiştir. Daha sonra fotovoltaik sistem içeren olasılıksal güç akışı hesabı yapılmıştır. Olasılıksal güç akışı hesabı adımları tanımlandıktan sonra yöntem IEEE – 34 bara sistemi üzerinde denenmiştir. Elde edilen sonuçlar, önerilen yöntemin uygulanabilir olduğunu göstermiştir. Dünya üzerinde dağıtım şebekesine bağlı çok küçük generatörlerin sayısı giderek artmaktadır. Bunlara örnek olarak elektriksel çıkışları 1 ile 1,2 kW arasında değişen fotovoltaikler ve mikro kombine ısı ve güç ( Micro-CHP) sistemleri verilebilir. Bu generatörler, kullanıcı taleplerine göre kurulur ve yerel elektrik şebekelerine bağlanırlar. Murray Thomson ve David G. Infield tarafından yapılan bir çalışmada [33], mikro üretim bağlantılarının şebekede oluşturduğu etkiler analiz edilmiştir. Buna göre, test sistemi olarak Leicester şehrindeki 11 kV fider ve buna bağlı alçak gerilim hatları seçilmiştir. Seçilen örnek şebeke, 3000 düğüm noktası ve 1262 bağlı kullanıcıdan oluşmaktadır. Daha sonra yük modellemesi, fotovoltaik sistem modellemesi, CHP modellemesi ve şebeke modellemesi yapılmış, bu modellemelerin uygunluğu kontrol edildikten sonra modelleme sınırları tespit edilmiştir ve mikro üretimin şebekeye etkisi tablo halinde verilmiştir.

Güç akışı analizi, klasik yöntemler ile çok fazla iterasyon ve dolayısıyla hesaplama gerektirdiğinden, araştırmacılar gelişen bilgisayar ve akıllı sistem teknolojilerini bu tip analizlerde sıklıkla kullanmaya başlamışlardır. Literatür taramasında YSA kullanılarak yapılan güç akışı analizi çalışmalarına rastlanmış olmakla birlikte bu tez çalışmasına konu olan mikro şebekede YSA temelli güç akışı analizi üzerine yapılmış herhangi bir çalışma

bulunmamaktadır. N.Kumar ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada, yük akışı problemlerinin YSA ile çözümü yapılmıştır [34]. Öncelikle yük akışı ve yük akışının YSA ile analizindeki avantajlar açıklanmış, daha sonra YSA'nın yapısı anlatılarak diğer tekniklerle karşılaştırılması yapılmıştır. Birinci aşamada çok katmanlı perceptron modelinin genel yapısı, giriş ve çıkışları tanımlanarak genel şekli verilmiştir. Daha sonra YSA'nın potansiyelinin tespiti için 3 baralı bir sistem ve IEEE-14 bara sistemi üzerinde uygulama yapılmıştır. Eğitim için kullanılmayan veriler verilerek ağıın çalışması incelenmiş, elde edilen sonuçlar klasik Newton – Raphson çözümüne çok yakın değerlerde bulunmuştur.

Stokastik yük akışı, yük akışı hesaplamaları süresince giriş verilerindeki yanlışlıkların çıkış büyüklükleri üzerindeki etkilerinin hesaplanması için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem ile her çıkış büyüklüğü için bir değer aralığı elde edilir. Amit Jain ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada [35] öncelikle Stokastik yük akış analizi için matematik formülasyonlar verilmiştir. Daha sonra matematik formülasyonları sonucu elde edilen eşitlikler temel alınarak üç katmanlı bir YSA tasarlanmıştır. Elde edilen YSA standart 5 baralı test sistemi için eğitilmiştir. Bu sistemde 4 bara PQ barası, 1 bara ise salınım barası olarak belirlenmiştir. 100 iterasyon sonucunda tatmin edici değerlere ulaşılmıştır. Oluşturulan YSA, daha önceden çalışılmış ve sonuçları belli olan 5 baralı sistem üzerinde test edilmiş ve karşılaştırma yapıldığında sonuçların uygun olduğu tespit edilmiştir.

Bu tez çalışmasında önerilen yöntem benzer bir çalışmada ise [36], YSA kullanılarak güç akışı analizi yapılmıştır. Öncelikle giriş vektörleri net gerçek bara güçleri, net reaktif bara güçleri ve gerilim kontrollü baralardaki gerilim genlikleri, çıkış vektörleri ise salınım barası haricindeki baralardaki gerilim açıları, yük baralarındaki gerilim genlikleri ve gerilim kontrollü baralardaki reaktif güç üretimleri olan bir YSA tasarlanmıştır. Bu YSA 96 elemanlı bir eğitim seti ile eğitilmiş, daha sonra IEEE-24 bara sistemi üzerinde test edilmiştir. Elde edilen sonuçların, hızlı – deküple yöntemi ile karşılaştırıldığında kabul edilebilir seviyede olduğu tespit edilmiştir. Bir başka çalışmada, şebeke bağlantılı dağıtılmış fotovoltaik enerji üretim sistemi modeli üç fazlı bir kaynak olarak belirlenmiş, üç fazlı yük akışı analizi yapılmış ve dağıtım sistemine bağlanmaları durumunda etkileri incelenmiştir [37].

Bu çalışmaların dışında yapılan diğer çalışmalarda ise, özellikle son zamanlarda kullanımı artan dağıtık enerji üretim sistemlerinin gerek şebeke bağlantısı durumunda ve gerekse ayırık çalışması durumları için klasik ve akıllı sistemler tabanlı güç akışı analizi

yöntemleri üzerinde durulmuştur. Y. Kumar ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, karınca algoritması yöntemi kullanılarak yük akışı analizi yapılmıştır [38]. Ağır yüklü sistemlerde, sistem tavan yük noktasına yakın çalıştığı için klasik Newton – Raphson yöntemi bu sorunla baş etmekte yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle geliştirilen karınca kolonisi algoritması ile bu sorunun üstesinden gelinmeye çalışılmıştır. Buna göre, en az iterasyonla yük akışı analizi yapılması için, karınca kolonisinin en kısa yoldan hedefe ulaşması yeteneğinden faydalanılmıştır. Algoritmanın akış şeması tamamlandıktan sonra örnek 10, 13, 33 ve 173 baralı sistemler üzerinde denenmiştir. Aynı sistemler üzerinde GA ve NR ile analizler yapılarak sonuçlar karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Sonuç olarak önerilen yöntemin lineer olmayan sistemlerde özellikle FACTS cihazlarında verimli olacağı tespit edilmiştir.

P.Gajalakshmi ve arkadaşları, güç akışı hesaplamasını bulanık mantık yöntemi ile yapmışlardır [39]. Öncelikle fuzzy kuralları belirlenmiş ve bulanıklaştırma yapılmıştır. Daha sonra elde edilen sistem 3 baralı bir test sistemi üzerinde denenmiştir. Buna göre, güç sisteminin değişik baralarındaki gerilim genlik ve açılarını hesaplayan bulanık mantık denetleyicisinin, klasik yöntemlere göre daha az iterasyonla sonuç verdiği tespit edilmiştir.

S. Obara ve A.G.el,Sayed tarafından [40], sayısal hava verileri kullanılarak yakıt pili ve fotovoltaik panellerden oluşan birleşik bir mikro şebeke için optimal çalışma algoritması geliştirilmiştir. Sistemin yakıt tüketimini azaltmayı amaçlayan algoritma Genetik Algoritma tabanlıdır. Sonuç olarak, oluşturulan algoritma sistemin enerji masrafını azaltmıştır.

Güç akışı analizi, enerji fiyatlandırmasında kilit taşı rolündedir. Doğru analiz yapılmaması, enerji üretiminde büyük zararlarla karşılaşılmasına neden olacaktır. Modern yöntemlerin gelişmesi ile bu analizler optimum düzeylere ulaşmıştır. Roy [41], Genetik algoritma temelli bir güç akışı çözümü geliştirerek enerji fiyatlandırması üzerine çalışmışlardır. Ancak test sistemi olarak bilgisayarda tasarlanan rastgele bir şebeke sonuçların geçerliliği üzerinde şüphe uyandırmıştır.

### **1.3. Tezin Amacı**

Literatür taraması sonucunda mikro şebekelerin dünya üzerinde çok fazla sayıda uygulama alanına sahip olduğu görülmektedir. Bu durum bu tip şebekelerin mutlak şekilde analizinin yapılması gerekliliğini bir kez daha gözler önüne sermiştir. Bir şebekenin planlama aşamasından işletme aşamasına kadar, daha sonra da işletme durumunda yapılması

gereken en önemli analizlerden biri güç akış analizidir. Güç akış analizini zorunlu kılan nedenlerin en önemlisi, bara gerilimlerinin kontrol altında tutularak olası arıza ve kesintiler için önceden önlem alınabilmesinin sağlanmasıdır.

Bu tez çalışmasında, bir mikro şebekenin tasarlanan yapay sinir ağı ile güç akışı analizi yapılacaktır. Bu yeni analiz yöntemiyle, klasik güç akış analizi yöntemlerinde uygulanan iteratif yöntemlerin bertaraf edilerek işlem yoğunluğunun azaltılması ve dolayısıyla daha hızlı analiz yapılması amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlar, aynı sistemin klasik Gauss-Seidel yöntemi temelli yazılımsal çözümü ile analizi yapıldığı zaman ortaya çıkan sonuçlar ile karşılaştırılarak yapay sinir ağının başarısı incelenecek ve irdelenecektir.

Ayrıca, oluşturulan mikro şebekenin çeşitli durumlar için çalışma karakteristikleri incelenerek hangi durumun mikro şebekeyi ne kadar etkileyebileceği konusunda tespitlerde bulunulacaktır. Bu işlemler için öncelikle beş baralı bir mikro şebeke yapısı Matlab/Simulink platformu altında tasarlanacaktır. Bu mikro şebekenin üretim kaynakları rüzgâr enerji santrali, PV sistemi, yakıt pili sistemi ve mikro HES olarak tanımlanacak, beşinci bara ise yük barası olarak belirlenecektir.

Tasarlanan ve benzetimi yapılan bu mikro şebeke üzerinde çeşitli arıza ve devreden çıkma – devreye alma senaryoları uygulanarak elde edilecek grafiklerden durum tahmini yapılması yoluna gidilecektir. Mikro şebekenin halka şebeke yapısında tasarlanması düşünülmektedir. Bunun nedeni, herhangi bir arıza ya da devre dışı kalma olayında tüm kaynakların tepkilerinin gözlenebilmesinin sağlanmasıdır.

#### **1.4. Tezin Yapısı**

Bu tez çalışması 6 ana bölüm ve 1 ek bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölümde, dünya enerji görünümü genel hatlarıyla verilmiş, enerji ihtiyacının günden güne arttığı dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarının ve özellikle hassas yükler için mikro şebekelerin kullanılmasının önemi vurgulanmış, literatür çalışması sonucunda elde edilen sonuçlar derlenmiş, daha sonra da tezin hedefleri açıklanmıştır.

İkinci bölümde, bir mikro şebekeyi oluşturan bileşenler ve bu bileşenler ile ilgili temel kavramlar açıklanarak söz konusu yapıların benzetim modülleri verilmiştir.

Üçüncü bölümde, güç akışı analizinde kullanılan klasik yöntemlerden bahsedilmiş, tezin ana çalışma konusunu içermesi nedeniyle Gauss–Seidel yöntemi detaylıca anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde, bu tez çalışmasında akıllı sistem olarak kullanılan yapay sinir ağlarının özellikleri tanımlanmıştır.

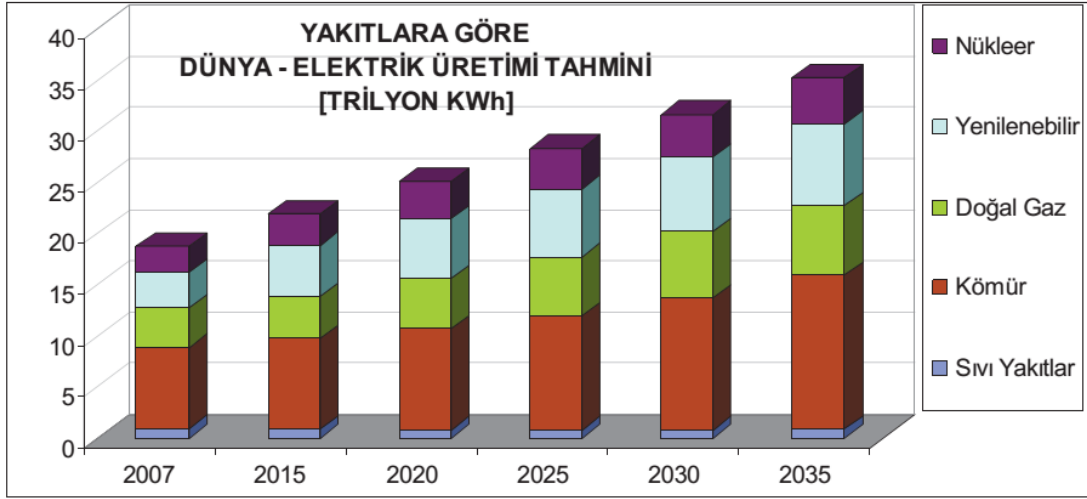
Beşinci bölümde, güç akış analizinde kullanılmak üzere Matlab/Simulink platformunda tasarlanan mikro şebeke modeli anlatılmış, klasik ve modern yöntem analizleri yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Altıncı bölümde ise tezde yapılan çalışmalar ve elde edilen sonuçlar değerlendirilerek ileride yapılacak çalışmalar anlatılmış ve bu konuda çalışmak isteyen araştırmacılara önerilerde bulunulmuştur.



## 2. MİKRO ŞEBEKENİN BİLEŞENLERİ

Yenilenebilir enerji, doğada sürekliliği olan kaynaklardan elde edilen enerji olarak tanımlanabilir. Yenilenebilir kaynaklara bağlı enerji üretimleri enerji alanında dışa bağımlılığı azaltırken, iklim değişimi gibi süreçlerde de olumsuzlukların azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı'nın (UEA), 2010 Yılı Dünya Enerji Görünümü Raporunda; Dünya elektrik tüketiminin 2035 yılına kadar %87 artarak 35.2 trilyon kWh'e ulaşacağı öngörülmektedir. OECD Ülkelerinde yıllık elektrik üretim artışı ortalama %1.1 iken bu değer OECD dışı ülkelerde 3 katı yani %3.3 olması beklenmektedir. Elektrik enerjisi üretiminde öncelikli kaynak kullanımında, en büyük artışın yenilenebilir enerji kaynaklarından olması beklenmektedir. Toplam 4.5 trilyon kWh'lık yenilenebilir enerji kaynakları ile enerji üretimindeki bu artışın %54'ünün hidroelektrik (2.4 trilyon kWh) ve %26'sının rüzgâr (1.2 trilyon kWh) kaynaklı olması beklenmektedir. Şekil 2.1, bu tahminleri özetlemektedir.



Şekil 2.1. Uluslararası Enerji Ajansı'nın öngörüsü

TEİAŞ tarafından hazırlanan “Üretim Projeksiyonu 2011” raporuna göre on yıllık elektrik enerjisi talep tahmini ve Güvenilir Enerjiye göre Arz-talep dengesi Tablo 2.1’de verilmiştir.

**Tablo 2.1.** Arz – talep dengesi

	<b>2011</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>
<b>Üretim (GWh)</b>	253.817	324.866	325.696
<b>Talep (GWh)</b>	227.000	303.140	433.900
<b>Yedek – Açık (%)</b>	11.8	7.2	-24.9

Bu öngörüler, yenilenebilir enerji kaynakları geleceğin en önemli enerji üretim yöntemi olacağı ve dolayısıyla yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarımız potansiyelinin en uygun şekilde değerlendirilmeye başlanması gerektiği sonucunu doğurmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları güneşin enerjisinden elektrik üretimi sağlanabilen fotovoltaik sistemler, rüzgâr gücünden elektrik üretiminin sağlandığı rüzgâr enerji santralleri, hidrojen vasıtasıyla elektrik üretiminin yapıldığı yakıt pili sistemleri ve hala yenilenebilir enerji kaynağı olup olmadığı çeşitli çevrelerce tartışılan mikro hidroelektrik santralleridir. Aynı zamanda bu kaynaklar, mikro şebekelerin üretim kaynakları olarak tanımlanabilir. Sonraki bölümlerde bu sistemler detaylıca tanımlanmıştır.

## **2.1. Fotovoltaik Sistemler**

Fotovoltaik (PV) modüller, güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştürebilen alternatif enerji üretim araçlarıdır. Bir PV sistem ana hatlarıyla PV modül, evirici ve yükten oluşmaktadır. PV sistem bileşenlerinden PV modüller, PV eşdeğer devresini oluşturan diyotların birbirleriyle seri ve paralel olarak bağlanmasıyla gerçekleşir. Doğrudan yüke bağlanan PV modüllerde, yüke uygulanan gerilim ve gücü ayarlayabilmek için ara bağlantı birimleri gerekir. Ara bağlantı birimleri aynı zamanda PV modülünün çıkış gücünü sürekli olarak maksimum değerinde tutabilmek için de gereklidir [42].

Fotovoltaik piller güneş ışığını doğrudan doğru akım elektrik enerjisine dönüştürürler. Enerji dönüşümü çok sessiz ve temizdir. Güneş panellerinin bakımı oldukça az ve masrafları düşüktür. Enerji dönüşümü sırasında başka bir enerjiye gerek duymazlar. Bununla beraber yalnızca yeterli güneş ışığı varken fotovoltaik piller ile doğru akımlı elektrik enerjisi elde edilir [43]. PV modüller, seri ve paralel bağlanarak istenilen çıkış geriliminde ve güçte diziler elde edilebilir [44].

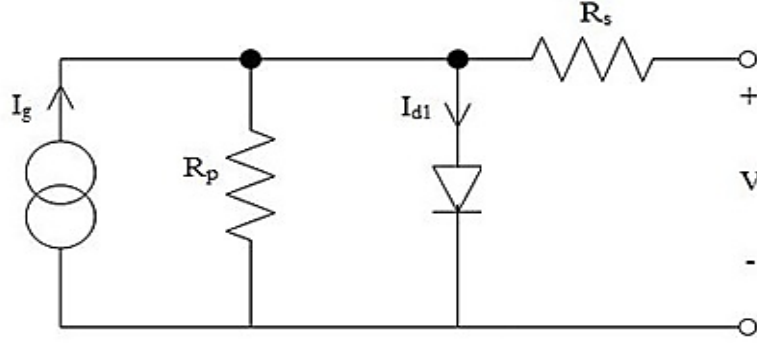
Fotovoltaik modülleri, birçok alternatif teknoloji ile üretilebilmektedir. Bu teknolojiler birbirlerine göre fiyat ve performans açısından avantajlara sahiptir. Kristal tabanlı PV teknolojisi, günümüzde hala pazarda en fazla yer alan teknolojidir. İnce film PV modülleri daha düşük verimli olmalarına karşın, düşük maliyet avantajına sahiptir. Tablo 2.2’de çeşitli panellerin verim karşılaştırmaları verilmiştir [45].

**Tablo 2.2.** Farklı PV teknolojilerinin verim karşılaştırması

<b>Teknoloji</b>	<b>Teorik verim (%)</b>	<b>Panel verimi (%)</b>
Tek Kristalli Silisyum (c-Si)	24-25	13-20
Çoklu Kristal Silisyum (mc-Si)	15-20.3	12-18
Amorf silisyum (a-Si)	12.1	5-7
Kadmiyum Tellürid (CdTe)	13-18	9-11.1

Bir PV hücresinin çalışma prensibi klasik p-n jonksiyonlu diyotun çalışma prensibine çok benzemektedir. Fotonlar jonksiyona ulaştığında, absorbe edilen fotonun enerjisi yarıiletken malzemenin elektron yapısına aktarılır. Oluşan boşluk bölgesinde yük taşıyıcılar oluşur. Jonksiyon bölgesindeki elektrik yükü taşıyıcıları bir potansiyel fark oluşturur ve eğer uçlar dışarı alınarak harici bir devre oluşturulursa bu devre üzerinden bir akım akmaya başlar. Devreden geçen akım  $I$  olmak üzere  $I^2 \cdot R_{devre}$  elektrik enerjisine dönüşen güçtür. Geriye kalan ve elektrik enerjisine dönüşmeyen foton gücü PV hücresinin sıcaklığını artırır.

Literatürde PV hücrelerin modellenmesi ile ilgili çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bununla beraber, yapılan araştırmalar sonucunda elde edilen en yaklaşık model olarak tek diyotlu yapı ön plana çıkmaktadır. Çoklu kristal yapıdaki tipik bir PV hücresinin tek diyotlu modeli Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Güneş pili eşdeğer DA modeli

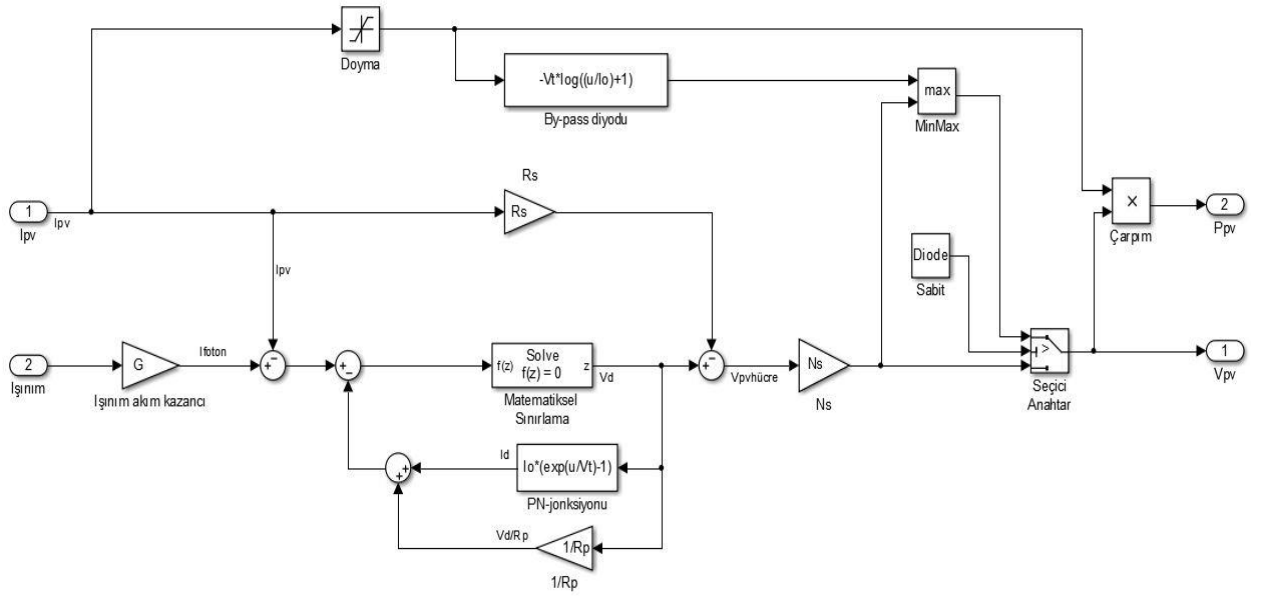
Şekil 2.2’de verilen yapının matematiksel modeli denklem (2.1)’de verilmiştir.

$$I_{FV} = I_g - I_{d1} \left[ e^{\frac{q(V+IR_s)}{kT}} - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_p} \quad (2.1)$$

Burada V; hücrenin uç gerilimi,  $I_{PV}$ ; çıkış akımı, k; Boltzmann sabiti, T; Kelvin cinsinden mutlak ortam sıcaklığı ve q; elektron yüküdür [46].

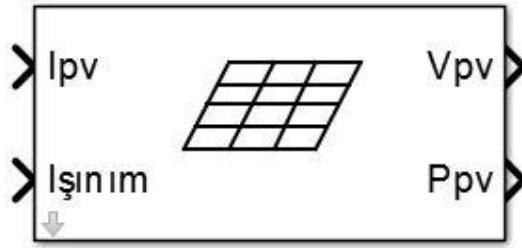
Güneş hücreleri verimlerine bağlı olarak güneş ışınımı altında 1 - 1.5 Watt arasında güç üretebilmektedir. Tek bir diyottan elde edilebilecek akım değeri 2 - 2.5 Amper; gerilim değeri ise 0.5 ile 0.6 Volt arasındadır. Bu nedenle yüksek güce sahip modüller elde edilmesi için bu hücreler arasında seri ve paralel bağlantılar kurulur. Bu yöntemle oluşturulan yapı, literatürde güneş paneli olarak tanımlanmaktadır. Güncel durumda 300 Watt gücünde paneller üretilmekte ve piyasaya sunulmaktadır.

PV sistemler benzetimde kullanılırken çeşitli şekillerde modellenebilirler. Ancak bu yapılar temel olarak belirli değişkenleri içerecek şekilde tasarlanırlar. Literatürde çok fazla sayıda model bulunmakla beraber teorik çalışma için en uygun sonuca ulaşılmasını sağlayan ve Matlab/Simulink platformu altında tasarlanan bir PV panel modelinin iç yapısı Şekil 2.3’de gösterilmiştir.



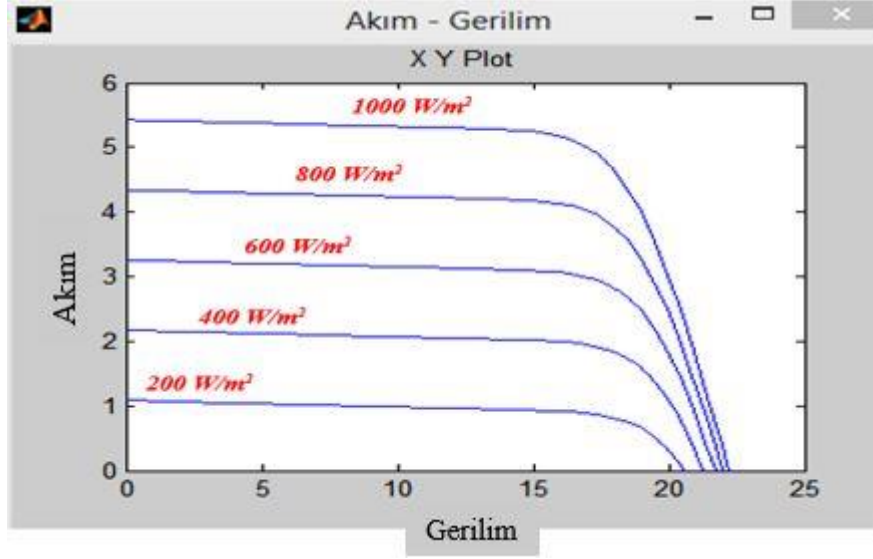
Şekil 2.3. PV modülün Matlab/Simulink modeli

İç yapısı verilen modülün teorik uygulamalar için oluşturulan bloğu Şekil 2.4'te verilmiştir.

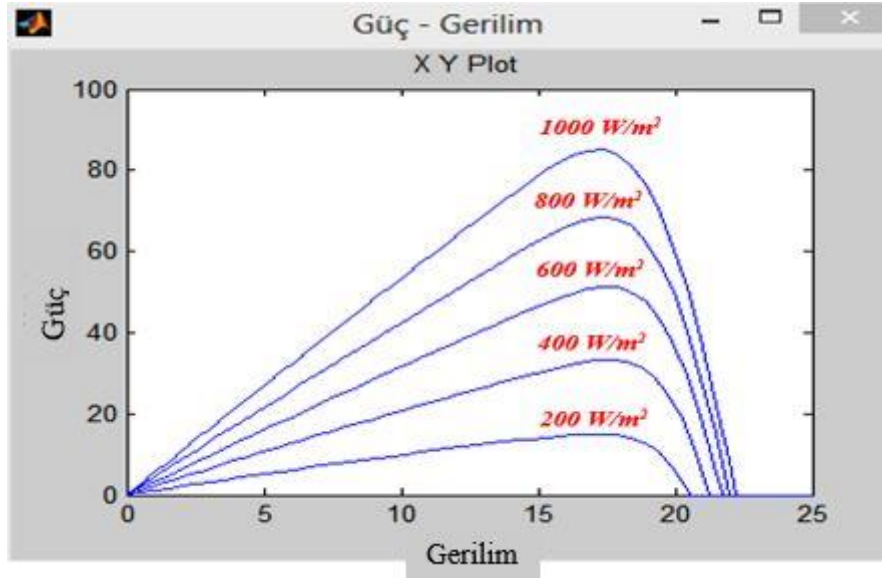


Şekil 2.4. PV bloğu

Model tasarımında PV hücrenin üretilen akımı kullanılmıştır. Hücre akımı ve ışınım değerleri ile modülün gerilim ve güç değerleri elde edilmiştir. PV panellerin ve dolayısıyla sistemlerin maksimum verimle çalıştırılması için bir takım karakteristiklerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu karakteristikler en iyi şekilde karakteristik eğrilerinden okunabilir. Modülün akım (I) ile gerilim (V) ilişkisini gösteren karakteristik eğrileri Şekil 2.5'te; güç (W) ile gerilim (V) arasındaki ilişkileri gösteren karakteristik eğrileri Şekil 2.6'da gösterilmiştir.

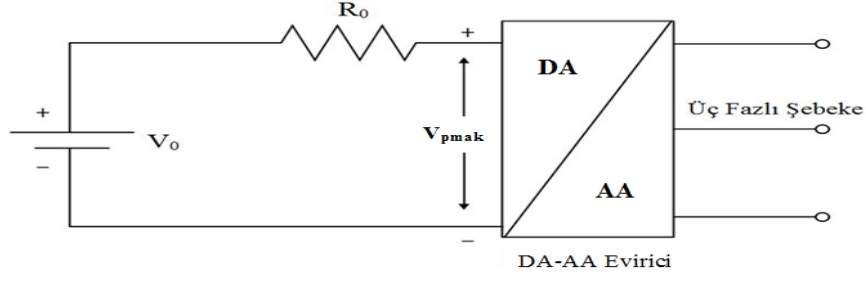


Şekil 2.5. Modülün akım-gerilim eğrileri



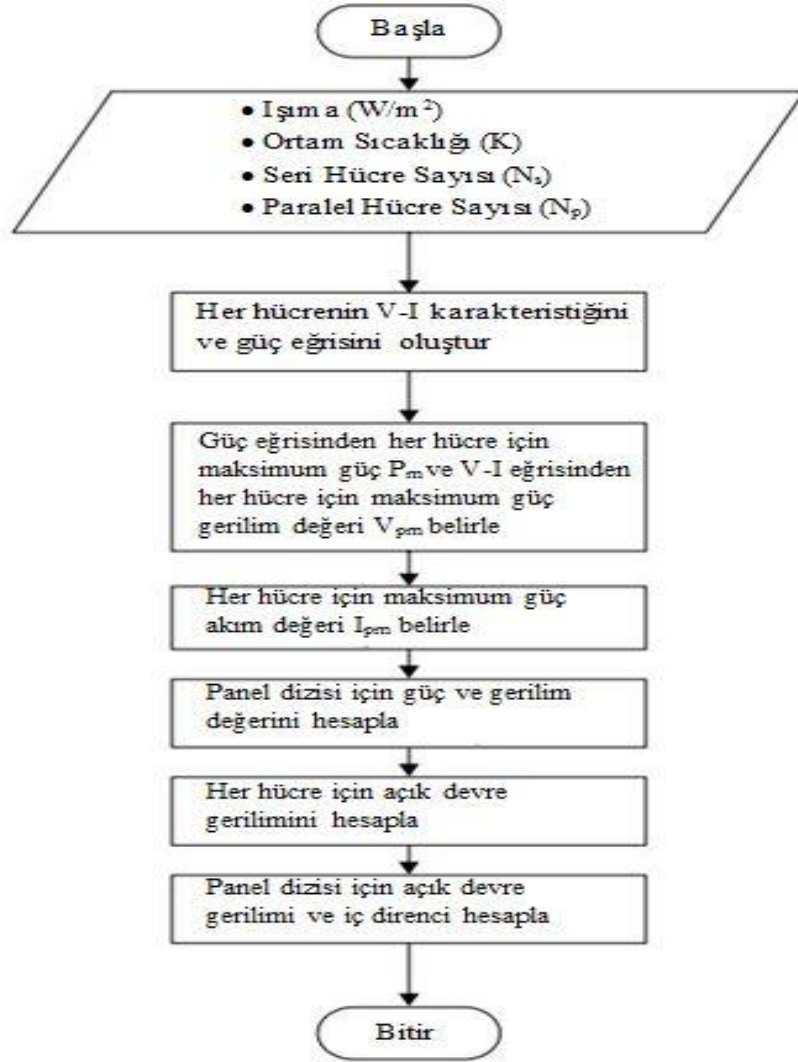
Şekil 2.6. Modülün güç-gerilim eğrileri

Bir PV sistem kurulurken, istenen gerilim ve güç değerine göre yeter sayıda güneş paneli kullanılır. PV sistem, seri bir iç dirence sahip basit bir ideal DA gerilim kaynağı olarak tanımlanabilir. DA gerilim kaynağının ve seri iç direncin değerleri ışınım verisi  $E$  ( $W/m^2$ ) ve ortam sıcaklığı  $T$  ( $^{\circ}K$ ) değerlerine bağlıdır. Bir DA/AA evirici üzerinden şebeke bağlantısı yapılmış PV sistemin eşdeğer devresi Şekil 2.7’de verilmiştir.



Şekil 2.7. DA-AA evirici bağlantılı PV dizinin eşdeğer devresi

Eşdeğer devrede belirtilen parametrelerden  $V_0$  panel dizisinin açık devre gerilimini,  $R_0$  panel dizisinin iç direncini,  $V_{pmak}$  ise maksimum güç gerilimini ifade etmektedir. Benzetimlerde kullanılan PV sistem eşdeğer devrelerinin hesaplanmasında belirli adımlar izlenmektedir. Bu adımlar Şekil 2.8’de verilen akış şemasında özetlenmiştir.



Şekil 2.8. PV dizisi eşdeğer devresi hesabı için akış şeması

Piyasada bulunan standart güneş panellerinin verimlerinin %15 ile %20 arasında olduğu bilinmektedir. Panelleri değişken yükler altında maksimum verimle kullanabilmek için eğride gösterilen maksimum güç noktalarının değişken sıcaklık ve ışınım değerlerinde takip edilmesi gerekmektedir. Böylece güneş panelinin verimi sürekli olarak en yüksek seviyede tutulabilir. Maksimum güç takibi (MPPT) işlemi gücün yüke sürekli olarak en yüksek seviyede verilmesi olarak tanımlanabilir. Bu işlemi gerçekleştirebilmek için yükseltici veya alçaltıcı DA/DA konvertörler kullanılmaktadır. Konvertörün anahtarlama oranında yapılacak değişiklikler yükün empedansına etki edecek ve anahtarlama oranları değiştirilerek yüke maksimum güç transferi sağlanabilecektir.

## **2.2. Rüzgâr Enerji Santralleri**

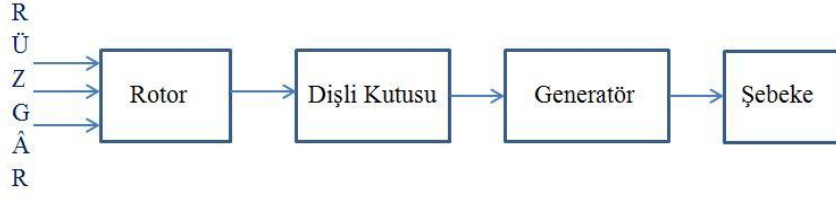
Enerjiye olan büyük gereksinim, yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının sürekli gündemde olmasının nedenidir. Alternatif kaynaklar olarak da adlandırılan bu enerji kaynaklarından birisi de rüzgâr enerjisidir. Türkiye'nin rüzgâr enerjisi potansiyeli 48.000 MW olarak belirlenmiştir. 2014 yılı itibariyle işletmede olan rüzgâr enerji santrallerinin kurulu gücü ise 3.000 MW düzeyindedir.

Rüzgâr enerjisi, fosil yakıtların tükeneceğinin anlaşıldığı son yıllarda, enerji sorununa çözüm olarak görülen kaynaklardan birisidir. İlk kullanım örneklerinin bundan 3000 yıl önce rastlanılmasına rağmen, rüzgâr enerjisi çalışmalarına büyük oranda ancak 1980'li yıllardan itibaren başlanmıştır [44].

Rüzgâr türbinleri, büyük güçlü izole edilmiş alternatif akım şebekelerine bağlanarak belirli bir güç gereksinimi karşılayan enerji dönüşüm sistemidir. Rüzgâr türbinleri havadaki kinetik enerjiyi mekanik enerjiye veya generatörler yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürürler. Bu rüzgâr türbinlerinin güçleri yaygın olarak 5 kW'tan 500 kW'a kadardır. 50 kW'tan daha yukarı güç değerinde olan rüzgâr türbinleri asenkron generatörlerle birlikte kullanılır [43].



Asenkron generatörlü bir rüzgâr enerji sisteminin blok şeması Şekil 2.9’da gösterilmiştir.



Şekil 2.9. RES blok şeması

Rüzgâr türbinlerinin teorik çalışmalarda kullanılması için oluşturulan benzetimler matematiksel yapı temeli üzerine kuruludur. Bu nedendir ki rüzgâr türbini tasarlanırken matematiksel eşitliklerin iyi analiz edilmesi gerekmektedir. Bir rüzgâr türbininden elde edilecek güç eşitlik (2.2) ile ifade edilir:

$$P_m = \frac{1}{2} \rho A V^3 C_p(\lambda, \beta) \quad (2.2)$$

Burada  $\rho$  havanın özgül yoğunluğunu ( $\text{kg/m}^3$ ),  $A$  kanat süpürme alanını ( $\text{m}^2$ ),  $V$  rüzgâr hızını ( $\text{m/s}$ ),  $C_p$  güç dönüşüm katsayısını,  $\lambda$  kanat uç-hız oranını,  $\beta$  ise radyan cinsinden kanatların eğim açısını ifade etmektedir. Bu eşitlik detaylandırılacak olursa;

$$C_p(\lambda, \beta) = c_1 \left( \frac{c_2}{\lambda_i} - c_3 \beta - c_4 \right) e^{\frac{-c_5}{\lambda_i}} + c_6 \lambda \quad (2.3)$$

Eşitlik (2.3)’te tanımlanan  $c$  sabitleri için;  $c_1 = 0.5176$ ,  $c_2 = 116$ ,  $c_3 = 0.4$ ,  $c_4 = 5$ ,  $c_5 = 21$  ve  $c_6 = 0.0068$  değerleri kullanılır. Eşitlikteki diğer parametreler için

$$\frac{1}{\lambda_i} = \frac{1}{\lambda + 0,08\beta} - \frac{0,035}{\beta^3 + 1} \quad (2.4)$$

$$\lambda = \frac{\omega r}{V} \quad (2.5)$$

$$A = \pi r^2 \quad (2.6)$$

ifadeleri elde edilir. Burada  $\omega$  türbinin dönüş hızı ( $\text{rad/s}$ ) ve  $r$  de türbin kanadının yarıçapıdır ( $\text{m}$ ).

Bir türbin için,

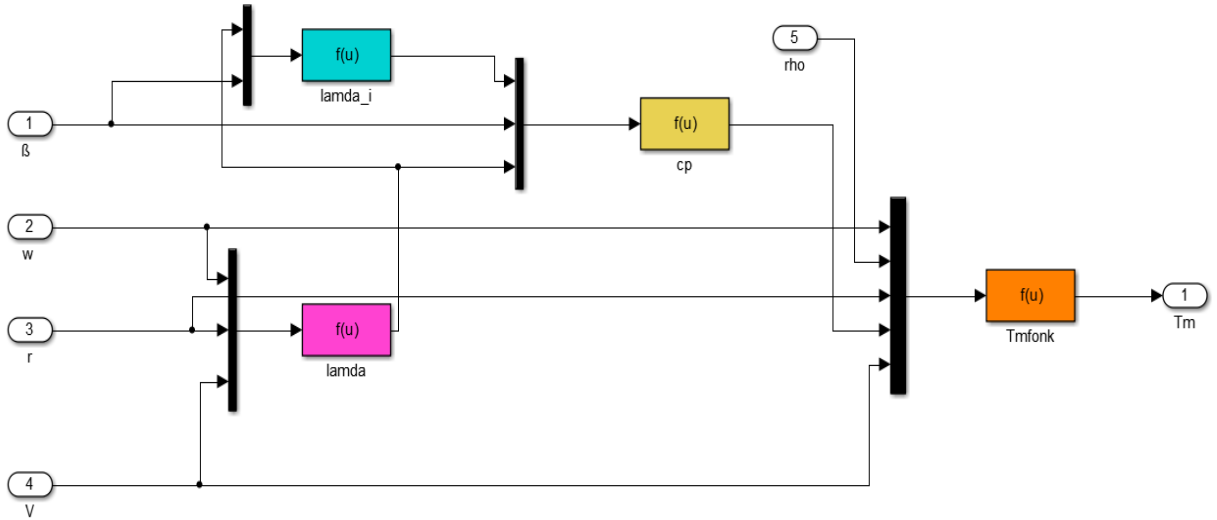
$$T_m = \frac{P_m}{\omega} \quad (2.7)$$

eşitliği bilindiğinden türbin rotorundan elde edilecek mekanik tork ifadesi

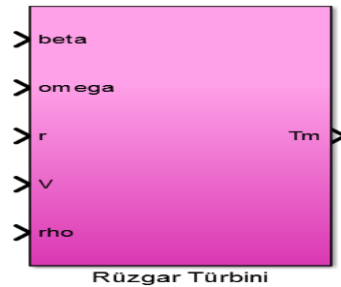
$$T_m = \frac{1}{2\omega} \rho \pi r^5 C_p(\beta, \lambda) V^3 \quad (2.8)$$

eşitliği ile verilmektedir.

Bu eşitliklere göre, bir rüzgâr türbininin Matlab/Simulink tabanlı tasarımı Şekil 2.10'da, iç yapısı verilen modülün teorik uygulamalar için oluşturulan blok yapısı ise Şekil 2.11'de verilmiştir. Verilen model, (2.2)'den (2.8) 'e kadar olan eşitlikler kullanılarak adım adım tasarlanmış olup tamamen özgün bir çalışmadır.



Şekil 2.10. Rüzgâr türbini Matlab/Simulink modeli



### Şekil 2.11. Rüzgâr türbini bloğu

Pratik uygulamaya en yakın modelleme yapılması, oluşturulan modelin güvenilir olması ve geçerliliğini kanıtlayabilmesi için çok önemlidir. Detaylı literatür taraması sonucunda, araştırmacıların, oluşturdukları modellerin en fazla yakınsaklık değerine ulaşması için rüzgarı da modelleme yoluna gittikleri görülmüştür. Haliyle, rüzgâr türbininin temel güç kaynağı olan rüzgâr modellenmeden, en uygun sonuçlara ulaşılması düşünülemez. İşlem karmaşası ve doğruluk açılarından değerlendirildiğinde en uygun rüzgar modeli eşitlik (2.9)'da verildiği şekliyle elde edilmektedir:

$$V_r(t) = V_{ort} + \sum_{i=1}^N A_i \cos(\omega_i t + \psi_i) \quad (2.9)$$

Bu eşitlikte  $V_{ort}$  rüzgâr hızının 10 dakika içerisindeki ortalama değerini;  $A_i$ ,  $\omega_i$  ayrık frekansında rüzgâr dalgacığının genliğini ( $i=[1,N]$ );  $\psi_i$  ise  $[-\pi, \pi]$  aralığındaki düzgün dağılımlı rastgele faz açısını ifade etmektedir.

$A_i$  genlik değerleri,  $S(\omega)$  rüzgâr burgacının spektral yoğunluk fonksiyonundan elde edilir. Bu durumda ifade eşitlik (2.10)'daki şekliyle belirtilebilmektedir:

$$S(\omega_i) = \frac{0,475\tau^2 \frac{L}{V_{ort}}}{\left[1 + \left(\frac{\omega_i L}{V_{ort}}\right)^2\right]^{5/6}} \quad (2.10)$$

Bu eşitlikte,  $\tau$  rüzgar hızının standart sapmasıdır ve genellikle 1.5 - 3 aralığında alınır. Eşitlikteki  $L$  değişkeni, hava burgacı uzunluğunun ifadesidir ve  $h$  metre cinsinden rüzgar hızı ölçümünün ve dolayısıyla rüzgar türbini rotorunun yüksekliği olmak üzere

$$L = \begin{cases} 20h \rightarrow h \leq 30m \\ 600 \rightarrow h > 30m \end{cases} \quad (2.11)$$

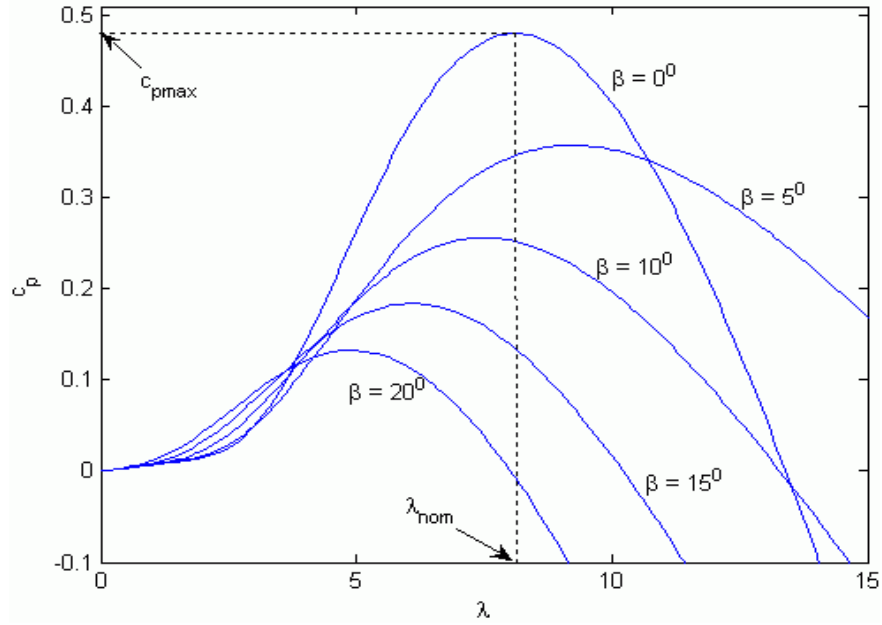
ifadesi ile tanımlanabilir.

En son olarak, eşitlikteki  $i$ . harmonik genliğinin ifadesi olan  $A_i$  ise

$$A_i(\omega_i) = \frac{2}{\pi} \sqrt{\frac{1}{2} [S(\omega_i) + S(\omega_{i+1})]} (\omega_{i+1} - \omega_i) \quad (2.12)$$

eşitliği ile tanımlanmaktadır.

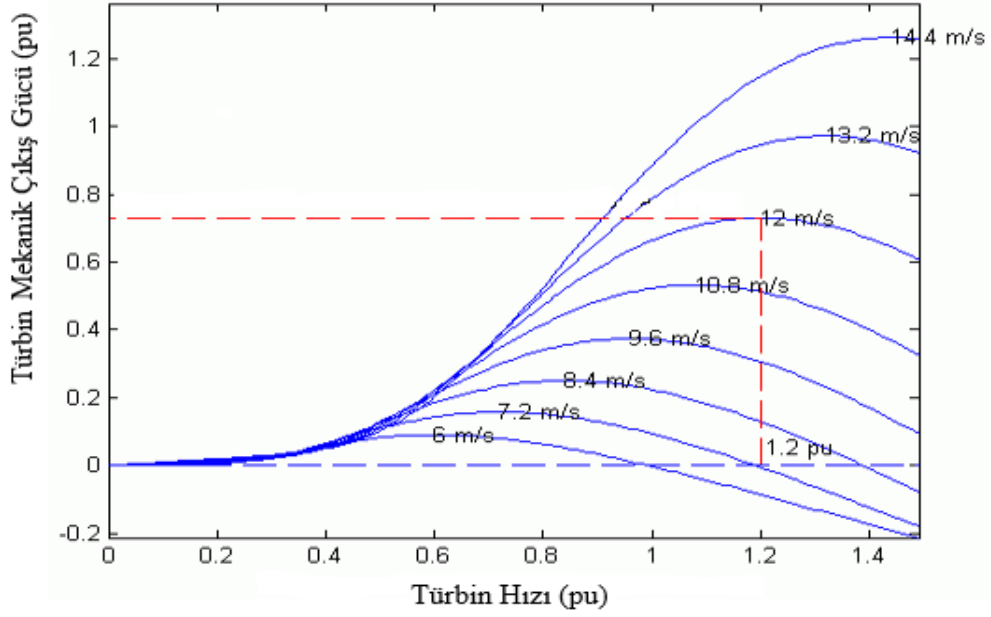
Kanat açısı  $\beta$ 'nın  $C - \lambda$  değerleri üzerindeki etkisi Şekil 2.12'de gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Farklı  $\beta$  değerleri için  $c_p - \lambda$  grafiği

Bu grafiğe göre,  $\beta=0^\circ$  için  $C_p$ 'nin en yüksek değeri  $C_{pmax} = 0.48$  olarak elde edilmiştir.  $\lambda$ 'nın nominal değeri de  $\lambda_{nom} = 8.1$  olarak bulunmuştur.

Örnek bir uygulama şeklinde değerlendirilmek üzere, rüzgâr hızının generatör hızı ve mekanik tork üzerindeki etkisinin izlenebilmesi için Şekil 2.13'te verilen grafik gerek tasarımcılara ve gerek uygulama mühendislerine yol gösterebilecektir.



Şekil 2.13. Türbin güç karakteristikleri ( $\beta=0^\circ$  için)

Rüzgâr türbinlerinde farklı modellerde generatörler kullanılır. Küçük rüzgâr türbinleri birkaç kW kapasiteli DA generatörlerle tasarlanırken modern ve güçlü rüzgâr türbinlerinde üç fazlı AA generatörler kullanılır. Büyük güçlü rüzgâr türbinlerinde kullanılan AA generatör çeşitlerine örnek olarak;

- Sincap Kafesli Asenkron Generatör (SCIG)
- Bilezikli Asenkron Generatör (WRIG)
- Çift Beslemeli Asenkron Generatör (DFIG)
- Alan Uyarımlı Senkron Generatör
- Sabit Miknatıslı Senkron Generatör

verilebilir. RES için generatör seçimi yapılırken çalışma karakteristikleri, maliyet, bakım gereklilikleri gibi kıstaslar dikkate alınır.

Rüzgâr türbini ünitelerinde asenkron generatörler yaygın olarak kullanılırlar. Bunun başlıca nedeni asenkron generatörlerin değişken rüzgâr hızında en iyi performansı sağlamalarıdır.

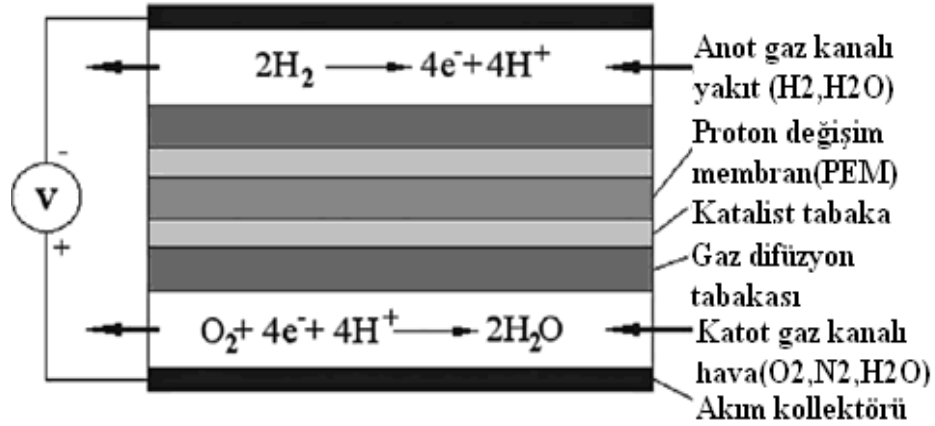
### 2.3. Yakıt Pili Sistemleri

Yakıt pilleri, hidrojeni ya da hidrojen zengin bir gaz karışımını kullanarak, yanma olayı olmadan direkt olarak elektrik enerjisi elde etmede kullanılan elektrokimyasal sistemlerdir. Bundan dolayı, tüm dünyada yakıt pilleri üzerinde yapılan çalışmalar yoğunlaşmıştır. Yakıt pili sistemleri, % 80 oranında toplam verimliliğe ve %40-60'lık elektriksel verimliliğe ulaşabilmeleri sebebiyle diğer enerji sistemlerine göre daha yüksek verimliliğe sahiptir.

Farklı yakıt pili çeşitleri arasında, PEM yakıt pilleri, düşük çalışma sıcaklığı ( $20^{\circ}\text{C}\sim 100^{\circ}\text{C}$ ), yüksek güç yoğunluğu, küçük boyutlu olmaları ve hızlı çalışma gibi avantajlara sahiptir. Ayrıca gürültü probleminin olmaması PEM yakıt pili sistemlerinin popülerliğini artırmaktadır. PEM yakıt pilleri, araç güç sistemleri, sabit elektrik kaynağı ve dağıtık üretim kaynağı olarak kullanılabilir.

Bir PEM yakıt pilinin temel yapısı; bir elektrolit gibi görev yapan katı bir membran (zar) tarafından ayrılmış iki elektrot (anot ve katot) olarak tanımlanabilir.

Hidrojen yakıtı anoda protonlara ayrıştığı yer olan bir kanal içinden geçer. Ayrılan protonlar katoda membran içinden ulaşır. Bir dış devre tarafından elektriksel akım olarak toplanan elektronlar iki elektrotu birbirine bağlar. Şekil 2.14'de PEM tipi yakıt pili sistemi görülmektedir.



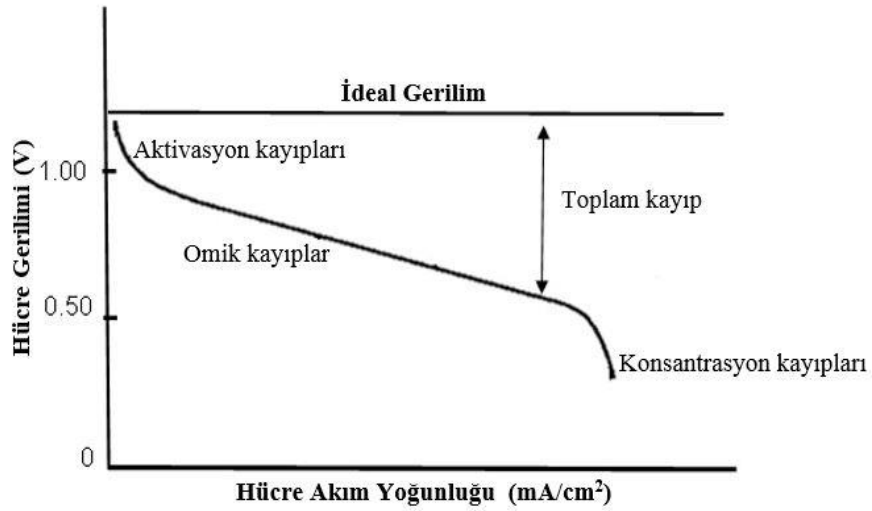
Şekil 2.14. PEM yakıt pili yapısı

PEM yakıt pili, anot, katot, elektrolit tabaka ve gaz kanallı akım kollektörlerinden meydana gelmektedir.  $\text{H}_2$  ve  $\text{O}_2$  yakıtları, gaz kanallarından geçer ve sırasıyla anot ve katoda

ulaşmaktadır. Reaktif gazlar, difüzyon tabakasından geçtikten sonra proton geçirgen membrana ulaşmaktadır.

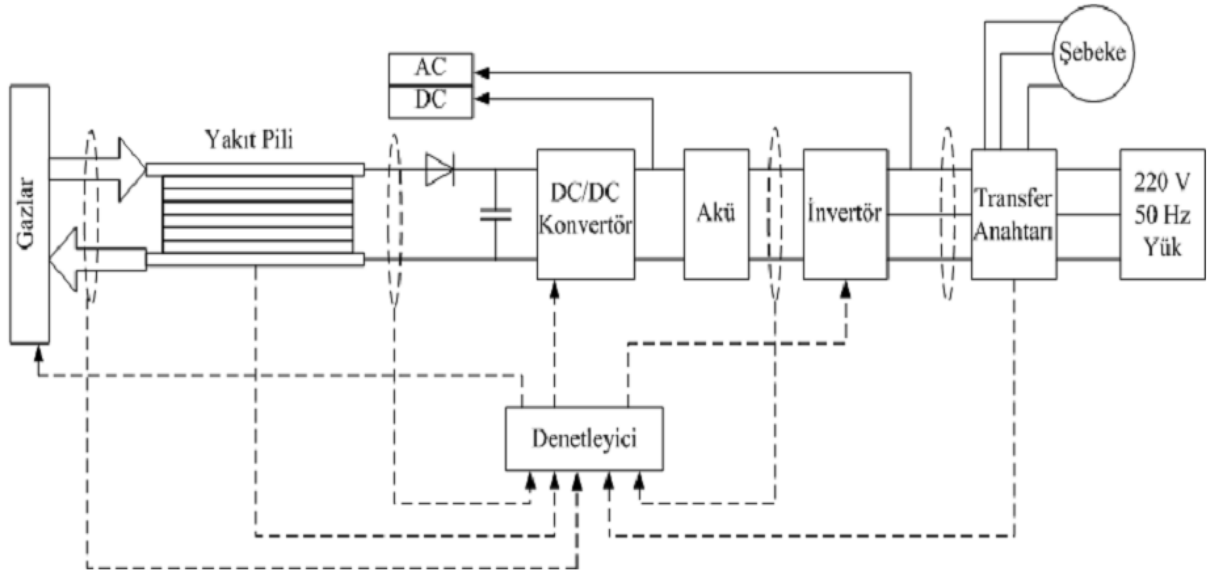
Anot bölümünde, H<sub>2</sub> yakıtı kataliz edilerek proton ve elektronlarına ayrılır. Hidrojen protonları polimer elektrolit membrandan geçer ve katot bölümünde oksijen ile reaksiyona girerek su elde edilir. Anottan katota geçen hidrojen elektronları, elektrik enerjisi üretmektedir.

Bir yakıt pilinin karakteristiğini ifade etmek için akım gerilim (V – I) eğrisi kullanılır. Polarizasyon eğrisi olarak da bilinen bu eğri Şekil 2.15’te verilmiştir.



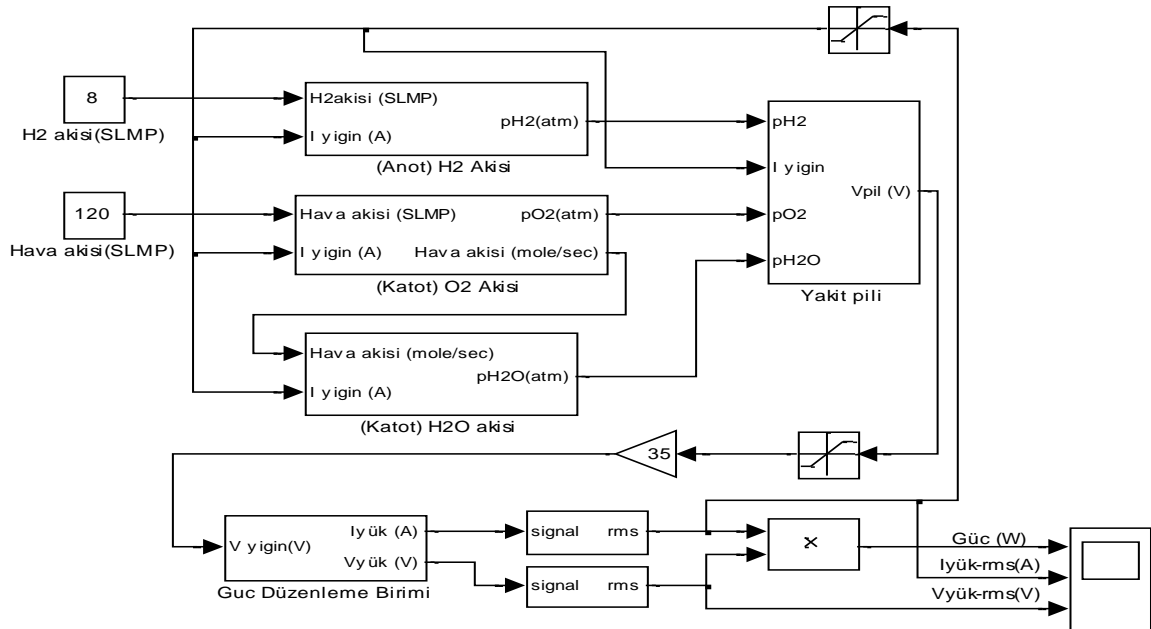
Şekil 2.15. PEM yakıt hücresinin V–I karakteristiği

Şekil 2.16’da şebeke bağlantılı bir yakıt pili sistemi verilmiştir [47]. Yakıt pili sisteminin (YPS) şebekeye bağlanması konusunda senkronizasyon oldukça önemlidir. YPS’nin gerilim ve frekans değerlerinin şebeke ile aynı olması gerekmektedir. Bu da eviriciye bu özellikteki bir denetleyicinin uygulanması ile yapılmaktadır.



Şekil 2.16. Şebekeye bağlı çalışan yakıt pili sistemi

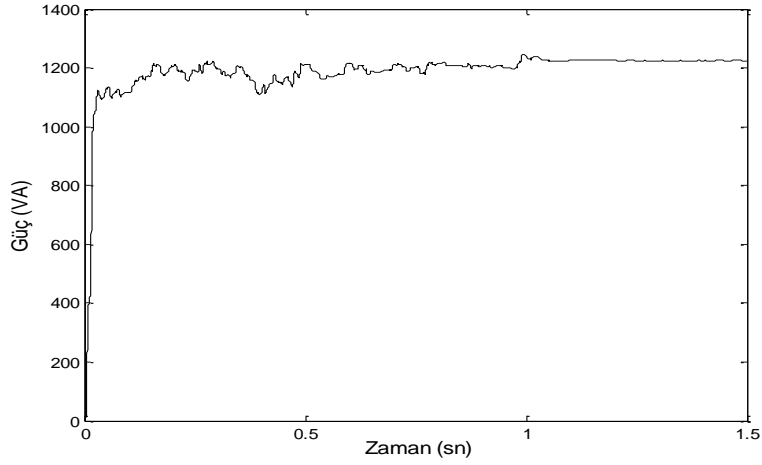
Ural [48] tarafından yapılan çalışma sonucu elde edilen PEM yakıt pili sisteminin blok diyagramı Şekil 2.17’de verilmiştir. Bu benzetim çalışmasında işlem fazlalığından kaynaklı sorunların engellenmesi için çalışmaya çeşitli döngüler eklenerek işlemci üzerindeki yük hafifletilmeye çalışılmıştır.



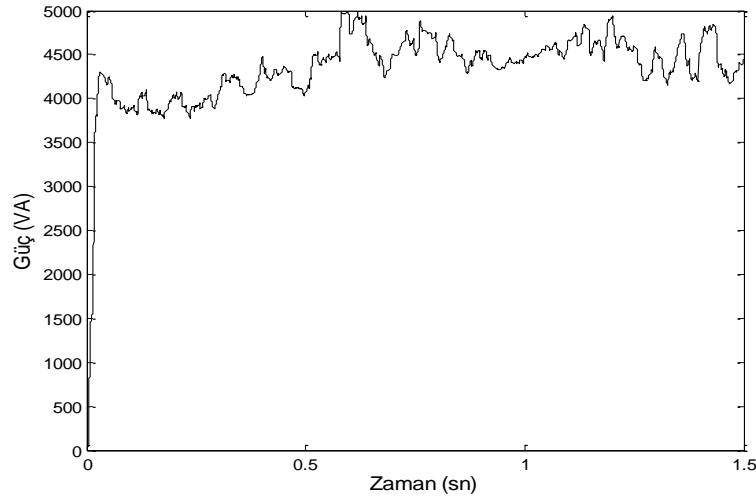
Şekil 2.17. Benzetimi yapılan yakıt pili sistemi [48]



Benzetimi yapılan modelde 5 kVA güce sahip transformatörün çıkışına 1000 W ve 4500 W endüktif yüklerin bağlanması durumunda çıkış gücü eğrileri sırasıyla Şekil 2.18 ve 2.19’da gösterilmiştir.



**Şekil 2.18.** 1000 W endüktif yük bağlanması durumunda çıkış gücü eğrisi [48]

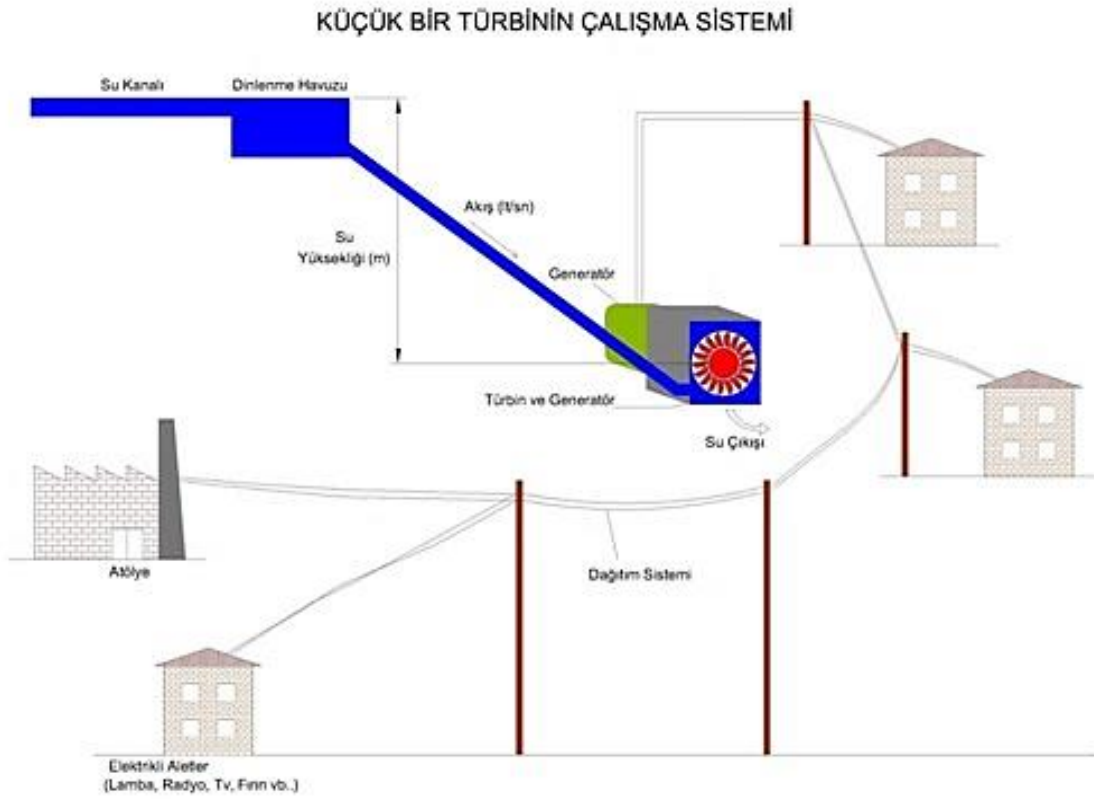


**Şekil 2.19.** 4500 W endüktif yük bağlanması durumunda çıkış gücü eğrisi [48]

Mevcut durumda yakıt pili sistemlerinin verim / maliyet açısından mikro şebekelerde kullanılması yaygın değildir. Ancak ilerleyen zamanlarda bu sistemlerin iyileştirileceği varsayımından yola çıkılarak tasarlanan mikro şebekeye yakıt pili sistemi eklenmiş ve analizde hesaba katılmıştır.

## 2.4. Mikro Hidroelektrik Santraller (Mikro HES)

Hidroelektrik enerji, suyun potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüştürülmesiyle sağlanan bir enerji türüdür. Suyun üst seviyelerden alt seviyelere düşmesi sonucu açığa çıkan enerji, türbinlerin dönmesini sağlamak ve elektrik enerjisi elde edilmektedir. DSİ verilerine göre, ülkemizdeki akarsu ve göletlerdeki doğal akışın % 100 değerlendirilmesi varsayımı ile hesaplanan hidrolik potansiyel, toplam hidrolik potansiyel olarak ifade edilmektedir. Bu ifade ile ülkemizdeki teorik hidrolik potansiyel 433 milyar kWh/yıl olarak belirtilmektedir. Mikro HES sisteminin çalışma prensibi Şekil 2.20’de gösterilmiştir.



Şekil 2.20. Bir mikro HES ile bölgesel besleme

Çeşitli ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de küçük hidroelektrik santrallerin sınıflandırması santralin kurulu gücüne göre yapılmaktadır. Ancak ülkelerin ekonomik ve teknolojik özelliklerine göre küçük hidroelektrik santrallerin tesis gücünün sınırları değişik değerler almaktadır. Ülkemizde, Birleşmiş Milletler Endüstriyi Geliştirme Organizasyonu

(United Nations Industrial Development Organization, UNIDO) tarafından yapılmış olan sınıflandırma sistemi benimsenmiştir.

Buna göre;

- Gücü 100 kW ve altında olanlar mikro,
- Gücü 101-1000 kW arasında olanlar mini,
- Gücü 1001-10000 kW arasında olanlar küçük hidroelektrik santraller olarak kabul edilmiştir.

Yukarıda verilen sınıflandırmadan da anlaşılacağı üzere mikro HES tanımı, kurulu gücü azami 100 kW'a kadar olan kanal tipi hidroelektrik santralleri için kullanılmaktadır.

Son derece çevreci olan Mikro HES tesisleri aynı zamanda daha büyük güçteki HES tesislerine de alternatif olabilecek durumdadır. HES'lerin aksine büyük yapılara ve büyük çaplı borulara ihtiyaç yoktur, otomasyon sistemi HES'lere göre çok daha basittir. Mikro HES kurabilmek için herhangi bir lisans alma işlemine gerek yoktur. Kullanım durumuna göre iki çeşit Mikro HES Sistemi bulunmaktadır.

Şebekeden Bağımsız Sistemlerde Mikro HES elektrik şebekesinden bağımsız ve izole olarak çalışmaktadır. Üretilen elektrik ile tüketilen elektrik arasında bir arz-talep dengesi söz konusuysa şebekeden uzak yerlerde tercih edilmelidir. Şebekeden bağımsız sistemlerde elektrik dağıtım şirketiyle herhangi bir bağlantı olmadığından satış söz konusu olmaz. İlk kurulum maliyetleri şebekeye bağlı sistemlere nispeten daha düşüktür.

Şebekeye Bağlı Sistemlerde ise Mikro HES elektrik dağıtım şebekesine bağlı (senkron) olarak çalışmaktadır. Üretilen elektrik, tüketilen elektrikten fazla ya da az ise tercih edilmelidir. Bu sistemde ihtiyaç fazlası elektrik dağıtım şirketine satılabilir. Ülkemizde yasal mevzuat çerçevesinde özel ve tüzel kişilerin kendi ihtiyaçlarını karşılamak ve fazlasını dağıtım şirketlerine satmak için yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretmesi mümkündür. Bu noktada bir üretim tesisinde kurulu güç azami sınırının 1000 kW olma şartı vardır. 1000 kW kurulu gücün altındaki Mikro HES tesislerinin tüm işlemlerinin "Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmeliği" ne göre yapılması gerekmektedir.

Mikro HES'lerde, kurulacak santralin gücüne bağlı olarak Senkron Generatörler, Asenkron Generatörler ve DA Generatörleri kullanılabilir.

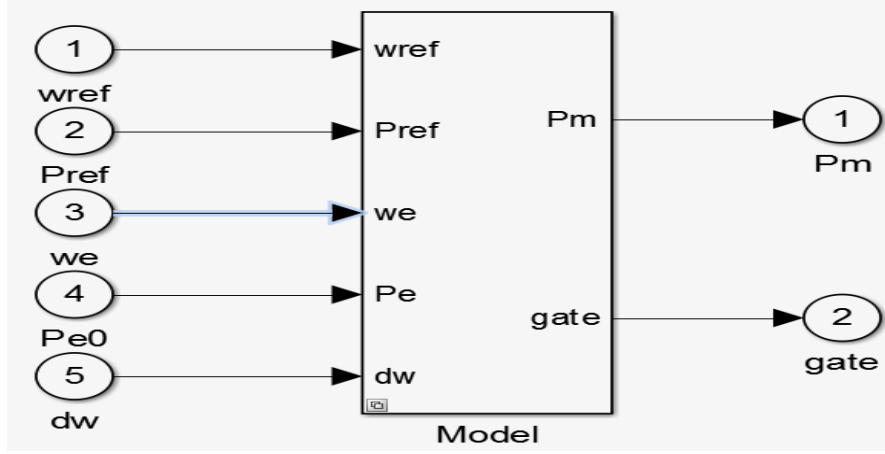
Senkron ve Asenkron Generatör uygulamalarında, yerel besleme veya ulusal şebeke ile bağlantı sağlanabilir. DA Generatörü uygulamaları ise, çok küçük güçlerde ve sadece yerel beslemeler için yapılır.

Kırsal kesimde, yaylalarda  $P < 0,5$  kW üreten DA generatörleri akü ile desteklenerek aydınlatma amaçlı kullanılabilir. Ayrıca bir evirici aracılığı ile AA yükleri de beslenebilir. Elektrik üretiminde en temel beklenti, frekans ve gerilim kalitesini sağlayacak şekilde kumanda ve kontrolü gerçekleştirmektir [49].

Mikro HES sistemi, fotovoltaik piller veya rüzgâr türbinlerinden daha fazla miktarda enerji üretilmesiyle devamlı güç üretimini gerçekleştirebilir. Mikro HES türbinleri generatöre akuple edilmiş bağlantı aracılığı ile bağlanırlar. Generatör kullanarak da elektrik enerjisine dönüşüm gerçekleştirilir [50].

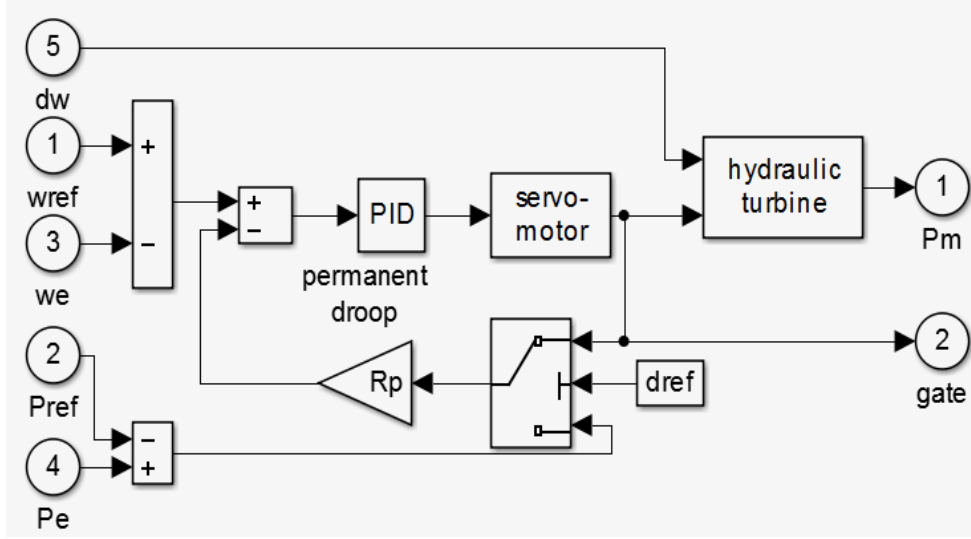
Enerji talebindeki artış ve bu talepler için arzın yetersiz kalması, mühendisleri en küçük akarsu kaynağının bile verimli kullanılması yönünde çalışmalar yapma yoluna itmiştir. Bu nedendir ki enerji talebinin karşılanabilmesi için mikro HES sistemlerinin kurulumu ve kullanımı artmıştır. Hidroelektrik projeleri; Avrupa Birliği'nce desteklenen ve öncelikle tercih edilen yenilenebilir ve yeşil enerji kaynakları arasında bulunmaktadır. Avrupa Komisyonu birlik stratejileri kapsamında Avrupa Birliği içerisinde iç brüt enerji tüketimindeki yenilenebilir enerji payını %20'ye çıkartmak için bir eylem planını yürürlüğe koymuştur. Bu eylem planının ana amacı denetleyici ve mali yapılarda iç pazar tedbirlerinin alınmasını sağlayarak, yenilenebilir enerji alanındaki topluluk politikalarını güçlendirmek, üye ülkeler arasında işbirliğini kuvvetlendirmek ve yenilenebilir enerji alanına gereken önemin verilmesini, bu alandaki yatırımların ve bilgilerin geliştirilmesini sağlamaktır [51].

Teorik çalışmalarda kullanılmak üzere çeşitli benzetim platformları altında tasarlanan mikro hidroelektrik türbin modelleri genel olarak doğrusal modeller ve doğrusal olmayan modeller olarak sınıflandırılırlar. Bu sınıflandırma, temelinde, modelin içerdiği matematiksel denklemlerin karmaşıklığı ile ilişkilidir. Hidroelektrik santralleri oluşturan kısımların modellenmesinde yaşanan zorlukların aşılması için modelleme sırasında bazı parametreler ihmal edilmektedir. Matlab/Simulink platformunda tasarlanmış olan bir hidrolik türbin ve hız regülatörü içeren sistem bloğu Şekil 2.21'de gösterilmiştir [52].



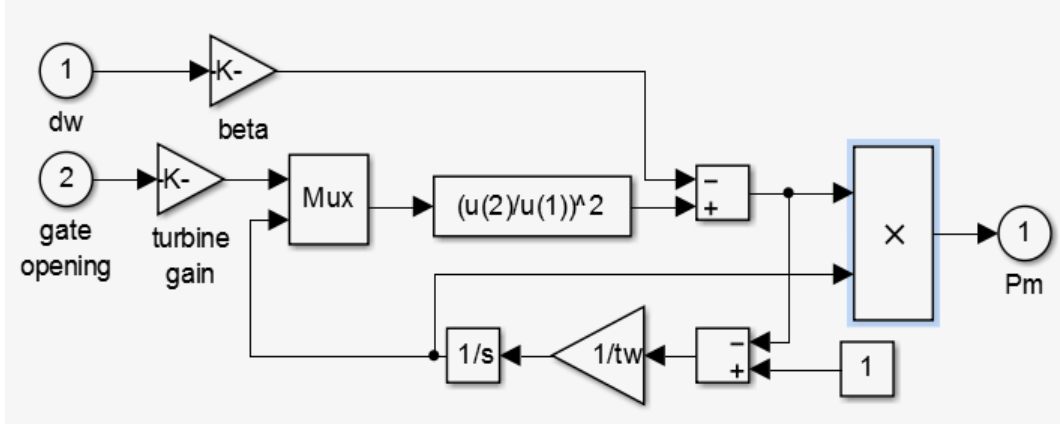
Şekil 2.21. Türbin bloğu [52]

Hidrolik türbin ve regülasyon ünitesi bloğu, doğrusal olmayan hidrolik türbin modeli, PID tabanlı hız kontrol sistemi ve bir servo motor bloğundan oluşmaktadır. Buna göre Şekil 2.21'deki bloğun iç yapısı Şekil 2.22'de verilmiştir.



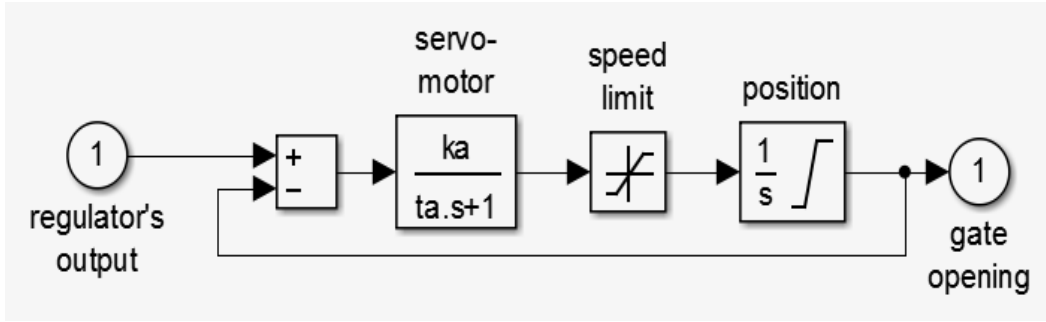
Şekil 2.22. Türbin bloğu iç yapısı [52]

Burada hidrolik türbin yapısı Şekil 2.23'de gösterilen doğrusal olmayan sistem biçiminde modellenir.



Şekil 2.23. Hidrolik türbin iç yapısı [52]

Benzer şekilde, geçiş açıklığını ayarlayan servo motor bloğu da Şekil 2.24'deki gibi ikinci dereceden bir sistem biçiminde verilebilir.



Şekil 2.24. Servo motor bloğunun iç yapısı [52]

### 3. GAUSS – SEIDEL İTERATİF YÖNTEMİ İLE GÜÇ AKIŞ ANALİZİ

Elektrik enerjisine olan ihtiyaç son yıllarda teknolojik gelişmelere paralel olarak artmıştır. Enerji üretim santrallerinin sayısındaki artış bu talebe yeterli cevap veremediğinden farklı çözümler üretme ihtiyacı doğmuştur. Üretilen enerjinin en verimli şekilde kullanılması çözümler arasında şüphesiz en önemli yere sahiptir. Verim kavramı, üretim aşamasında konu edilebileceği gibi aynı zamanda iletim ve dağıtım aşamasında da önemli rol oynamaktadır. Bu durum, farklı güç sistemlerinin aralarında bağlanması sonucu oluşan enterkonnekte sistemde güç akışı kontrolünün önemini açığa çıkarmaktadır.

Güç akışı, güç sistemlerinin analizi için kullanılan ve dağıtım planlama safhasında ihtiyaç duyulan önemli bir araçtır. Şebeke optimizasyonu, durum tahmini, besleme anahtarlama gibi şebeke için hayati önem arz eden birçok durum kararlı ve verimli bir güç akışı metoduna ihtiyaç duyar.

Güç akışı çalışmaları, güç sistem analizinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Planlama ve kontrol açısından ve ileriye dönük genişlemeler için gerek duyulur. Problem her bir barada gerilimin büyüklüğü ile açısının belirlenmesi ve her bir hattan geçecek aktif ve reaktif gücün bulunmasının istenmesidir.

Güç sistemlerinde güç akışı için birden fazla etkili ve güvenilir güç akışı metotları geliştirilmiş olup bunlar güç sistemlerinde planlama, işletim ve kontrolde geniş olarak kullanılmış ve kullanılmaktadır. En yaygın kullanılan yöntemler Newton – Raphson ve Gauss – Seidel yöntemleridir. Newton – Raphson yönteminin Gauss – Seidel yöntemine göre, daha hızlı biçimde yakınsaklık sağlaması bakımından üstünlüğü bulunmasıyla beraber, bu yöntemin başlangıç değer tahmini gerektirmesi dezavantaj olarak araştırmacıların karşısına çıkmaktadır. Bu problemi aşmak amacıyla araştırmacılar güç akış analizi algoritması oluştururken çözümlenmeye Gauss – Seidel yöntemi ile başlamakta, birkaç iterasyon sonra da Newton – Raphson yöntemi ile analize devam etmektedirler. Bu yöntemlerin dışında Newton – Raphson yönteminden türetilen bir yöntem olan hızlı dekuple yönteminin de literatürde güç akış analizi çalışmalarında kullanıldığı görülmüştür.

20 yıl öncesine kadar güç sistemlerinde kısa devre hesaplamaları ve gerilim düşümü hesabı yapılmakta, güç akışına ihtiyaç duyulmamaktaydı. Fakat dağıtım sistemlerinde SCADA benzeri otomasyon sistemlerinin kullanılmaya başlanması, kompanzasyon sistemlerinin kurulması ve FACTS cihazlarındaki gelişmelere paralel olarak bu tip sistemlerin kullanım

alanlarının artması gibi bazı teknolojik gelişmeler ve uygulamalar güç akışı hesabının yapılması ihtiyacını doğurmuştur.

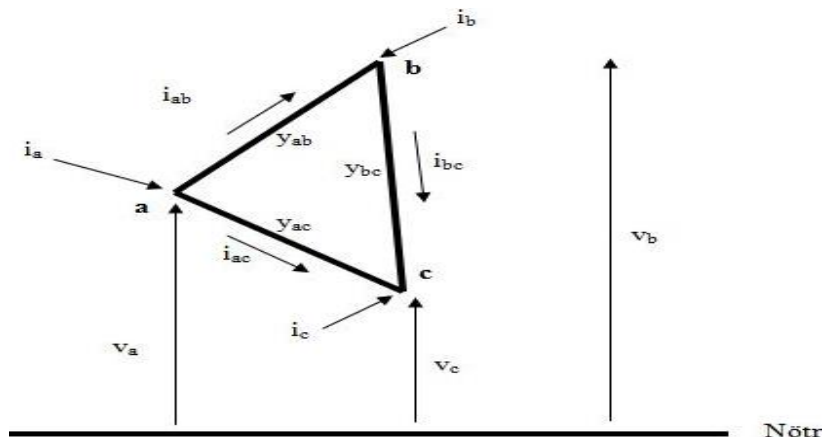
### 3.1. Güç Akışı

Elektrik enerji sistemlerinin büyümesi ve karmaşık bir hal alması, işletme ve planlama safhalarında ayrıntılı çalışmaların yapılması gerekliliğini doğurmuştur. Yapılan çalışmalar enerji sistemlerinde güç akışı adı verilen bir kavramı ortaya çıkarmıştır. Enerji iletim sistemlerinin sürekli hal çalışma durumuna ait karakteristik özelliklerinin belirlenmesi için yapılan hesaplamalar güç akışı olarak tanımlanır. Bir iletim sistemindeki güç akışı analizi, belirli uç ya da bara koşulları için güç akışlarının ve gerilimlerin hesabını içerir. Bu tip hesaplamalar, güç sistemlerinin dinamik davranışı kadar sürekli hal davranışının analizi için de gereklidir. Dengeli ve üç fazlı enerji sistemlerinde kullanılan güç akışı algoritması sürekli hal koşulu altında genellikle aşağıda tanımlanan kabuller üzerine kurulur;

- Generatörler, sisteme bağlı tüm yük talepleri ile iletim hatlarındaki toplam güç kaybını karşılarlar, kendilerine ait aktif ve reaktif güç sınırlarını aşmazlar.
- Sistemdeki tüm baralara ait gerilim genlikleri nominal gerilim sınırları civarındadır.
- İletim hatları ve transformatörler aşırı yüklenmezler.

### 3.2. Güç Akış Probleminin Tanımlanması

Üç düğümlü dengeli bir sistemin tek faz gösterimi Şekil 3.1’de verilmiştir [53].



Şekil 3.1. Üç düğümlü dengeli sistemin tek fazlı gösterimi



Burada, k ve j herhangi iki düğüm noktası olmak üzere; k düğüm noktası ile nötr hattı arasındaki gerilim  $v_k$ , k ve j düğümleri arasındaki admitans  $y_{kj}$ , k düğümünden j düğümüne akan akım  $i_{kj}$  ve k düğümüne gelen akım  $i_k$  şeklinde tanımlanacak olursa

$$i_a = i_{ab} + i_{ac} \quad (3.1)$$

$$i_a = (v_a - v_b)y_{ab} + (v_a - v_c)y_{ac} \quad (3.2)$$

$$i_a = v_a(y_{ab} + y_{ac}) - v_b y_{ab} - v_c y_{ac} \quad (3.3)$$

olarak yazılabilir.

Benzer şekilde

$$i_b = -v_a y_{ba} + v_b(y_{ba} + y_{bc}) - v_c y_{bc} \quad (3.4)$$

$$i_c = -v_a y_{ca} - v_b y_{cb} + v_c(y_{ca} + y_{cb}) \quad (3.5)$$

Bu denklemlerde

$$y_{ab} + y_{ac} = y_{aa}$$

$$y_{ba} + y_{bc} = y_{bb}$$

$$y_{ca} + y_{cb} = y_{cc}$$

olarak yazılırsa

$$i_a = y_{aa}v_a - y_{ab}v_b - y_{ac}v_c$$

$$i_b = -y_{ba}v_a + y_{bb}v_b - y_{bc}v_c \quad (3.7)$$

$$i_c = -y_{ca}v_a - y_{cb}v_b + y_{cc}v_c$$

olur. Bu eşitlikler matris formunda yazılırsa

$$\begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{aa} & -y_{ab} & -y_{ac} \\ -y_{ba} & y_{bb} & -y_{bc} \\ -y_{ca} & -y_{cb} & y_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} \quad \text{ya da} \quad \mathbf{I} = \mathbf{Y} \cdot \mathbf{V} \quad (3.8)$$

elde edilir.

Denklem (3.8)'de verilen eşitlikler n düğümlü bir sistem için

$$\begin{aligned} I_1 &= Y_{11}V_1 + Y_{12}V_2 + Y_{13}V_3 + \dots + Y_{1n}V_n \\ I_2 &= Y_{21}V_1 + Y_{22}V_2 + Y_{23}V_3 + \dots + Y_{2n}V_n \\ I_3 &= Y_{31}V_1 + Y_{32}V_2 + Y_{33}V_3 + \dots + Y_{3n}V_n \\ &\cdot \\ &\cdot \\ &\cdot \\ I_n &= Y_{n1}V_1 + Y_{n2}V_2 + Y_{n3}V_3 + \dots + Y_{nn}V_n \end{aligned} \quad (3.9)$$

şeklinde yazılır.

k. düğüm için

$$I_k = \sum_{j=1}^n Y_{kj}V_j, \quad k = 1, 2, 3, \dots, n \quad (3.10)$$

Güç akışı hesaplamalarında tüm gerilimlerin çözülmesi gerekir. Ancak aynı zamanda I akımları da bilinmediğinden her akım, karmaşık güç ve gerilim cinsinden karşılığı ile ifade edilebilir. Buna göre k düğümü için

$$I_k = \frac{S_k^*}{V_k^*} \quad (3.11)$$

yazılabilir. Burada '\*' sembolü alan terimler karmaşık yapıdadır.

Eğer 1 numaralı bara salınım barası olarak seçilirse, bu baraya ait gerilim önceden tanımlandığı için, hesaba katılmasına gerek yoktur. Dolayısıyla (3.10) denkleminin son hali (3.12)'de verildiği şekliyle olur.

$$I_k = \sum_{j=1}^n Y_{kj}V_j, \quad k = 2, 3, \dots, n \quad (3.12)$$

Güç akışı analizi yapılmak istenen sisteme ait parametreler belirlendikten ve sistem baralarına ait bara admitans matrisi elde edildikten sonra analiz yapılacak yöntem seçilmelidir. Bilgisayarlı güç akışı analizlerinde en çok kullanılan yöntemler Jakoben Yöntemi, Gauss-Seidel Yöntemi ve Newton-Raphson Yöntemidir. Bunların dışında Z-Matris Yöntemi ve Hızlı Dekuple Yöntemi (Fast Decoupled), güç akışı analizinde kullanılan diğer yöntemler olarak verilebilir. Bu tez çalışmasında önerilen yeni yaklaşım, Gauss-Seidel Güç Akışı Analizi Yöntemi temelli olarak geliştirilmiştir.

### 3.3. Gauss-Seidel Yöntemi

Gauss-Seidel Yöntemi, güç akışı analizi yöntemleri arasında en çok bilinen yöntemdir. Gauss-Seidel Yönteminde, her bir bara gerilimi, hesaplandıktan hemen sonra kullanıldığından, diğer güç akışı analizi yöntemlerine göre çok daha yüksek performans gösterir. Bu uygulama denklem (3.13)'de gösterilmiştir:

$$V_k^{(i+1)} = \frac{1}{Y_{kk}} \left\{ \frac{S_k^*}{V_k^{*(i)}} - \sum_{j=1}^{k-1} Y_{kj} V_j^{(i+1)} - \sum_{j=k+1}^n Y_{kj} V_j^{(i)} \right\} \quad (3.13)$$

Gauss-Seidel Yönteminin uygulanma algoritmasında aşağıda belirtilen adımlar izlenir:

- 1- Bara 2 için  $I_2 = \frac{S_2^*}{V_2^*}$  hesaplanır.
- 2-  $I_2 = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq 2}}^n Y_{2j} V_j$  hesaplanır.
- 3-  $V_2$ 'nin yeni değerini bulmak için 2. adımda elde edilen sonuç 1. adımda elde edilen sonuçtan çıkarılır ve bu fark  $Y_{22}$ 'ye bölünür.
- 4- Bu işlem, tüm baralarda  $V$ 'nin elde edilen yeni değerleri için tekrarlanır.
- 5- Son gerilimler ilk gerilimler ile karşılaştırılır. Eğer sonuç toleranslar dâhilinde eşitse işlem sonlandırılır. Ancak eşitlik durumu oluşmamış ise, istenen sonuçlara ulaşana kadar 1. adımdan başlanarak algoritma tekrarlanır.

#### 4. GÜÇ AKIŞ ANALİZİNE AKILLI SİSTEM YAKLAŞIMI

Güç akış analizinde kullanılan matematiksel modellerde pek değişiklik olmasa da, bilgisayar teknolojisinin gelişmesine paralel olarak enerji şebekelerinin çözümünde kullanılan metotlar çok gelişmiştir. Son yıllarda elektrik enerjisine duyulan ihtiyacın gün geçtikçe teknolojik gelişmelere paralel olarak artması, buna karşılık ham enerji kaynaklarının aynı oranda harekete geçirilememesi, devredeki enerji kaynaklarından en iyi biçimde faydalanmayı zorunlu hale getirmiştir. Elektrik santralleriyle tüketicilerin farklı bölgelere dağılmış olmaları ve enerji sistemlerinde en uygun işletme veriminin sağlanması amacıyla, farklı güç sistemlerinin aralarında bağlanması sonucu enterkonnekte şebekeler oluşmuştur. Bu durum, analiz için farklı çözümler aramayı zorunlu kılmaktadır. Böylece elektrik mühendislerinin karşısına çıkan nitelikleri ve boyutları giderek büyüyen şebekelerin planlanması ve işletilmesi sorunu, güç sistem analizinde gerek bilgisayar sistemlerinin gerekse akıllı sistemlerin kullanımını kaçınılmaz hale getirmiştir. Yapay sinir ağları, doğrusal olmayan fonksiyonları çözebilmede gösterdikleri üst düzey başarı nedeniyle güç akışı analizi için kullanılması en uygun olan akıllı sistemlerden biridir.

Güç sistem analizinde karşılaşılabilecek en önemli sorun, geniş çalışma bölgesi nedeniyle çok fazla parametrenin aynı anda işlenmesi gerekliliğidir. Bu gereklilik çeşitli analiz yöntemlerinin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Ancak teknolojik gelişmeler ve yapay zekâ uygulamalarındaki ilerlemeler, analitik çözümlerin yerini daha modern analiz yöntemlerine bırakmasına neden olmuştur. Yapılan çalışmalar sonucunda güç akışı analizinde modern yöntemlerin, en az klasik yöntemler kadar başarı sağlayabildiğini göstermiş, bunun sonucunda çok fazla işlem yapılması gereken tekrarlı iteratif uygulamalar yerini eğitilmiş sistemlere bırakmıştır. Teknolojik gelişmelere paralel olarak büyük ilerleme kaydedilen yapay zekâ uygulamalarının güç akışı analizinde kullanılması büyük şebekelerde en uygun sonucun elde edilmesini sağlamıştır.

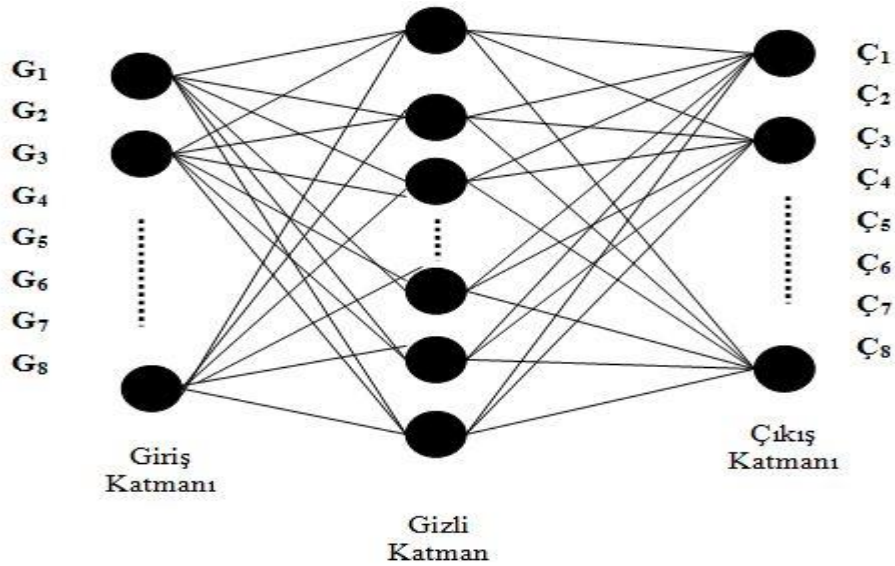
Yapay Sinir Ağları (YSA), doğrusal olmayan denklemleri çözebilme yetenekleri nedeniyle mühendisliğin yanı sıra hemen hemen tüm bilim dallarında kullanılmaktadır. Güç akışı analizinde, güç sistemi optimizasyonu ve güvenliği çalışmaları gibi bazı durumlarda mutlak fonksiyonlarla çözüm sağlanamayabilir. Son zamanlarda yapılan YSA çalışmaları ile bu gibi durumlarda başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Basit elemanlar ile geniş bağlantılı sistemlerin çözümünde gösterdikleri yüksek performans nedeniyle güç sistemi analizlerinde YSA uygulamaları artmıştır.

Geleneksel hesaplama yöntemlerinin aksine, YSA bir eğitim setinden çözümü öğrenerek, alternatif bir hesaplama biçimi sunar. Bu üstün özellikleri ile YSA, karmaşık problemleri çözebilme yeteneği sonucu, günümüzde bir çok alanda uygulama yeri bulmuştur.

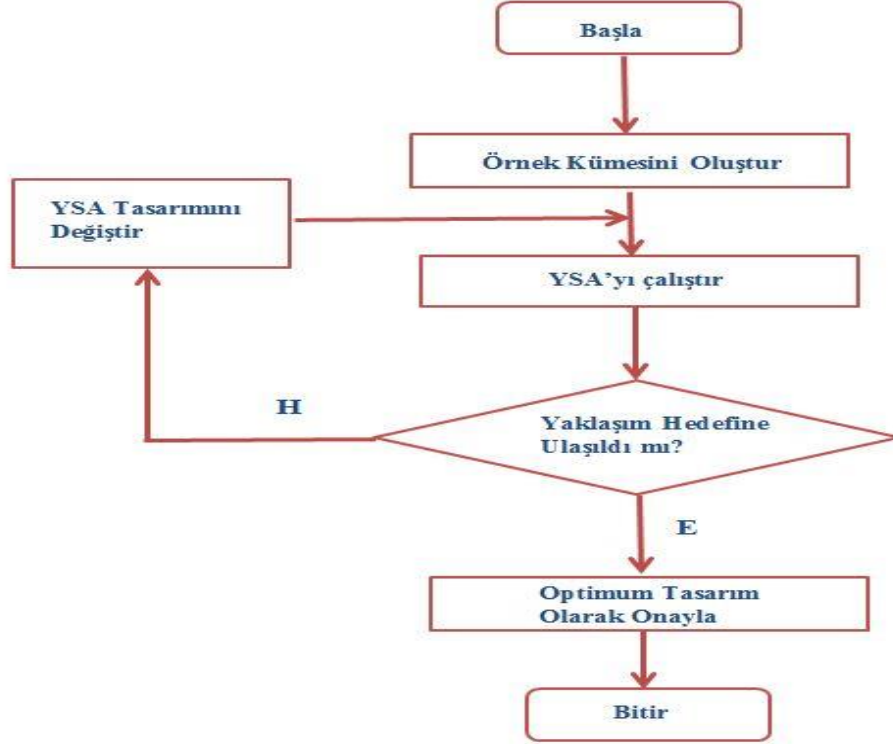
#### 4.1. Yapay Sinir Ağları (YSA)

İnsan beyni; öğrenme, birleştirme, uyarılma ve genelleştirme yeteneği nedeniyle son derece karmaşık, doğrusal olmayan ve paralel dağıtılmış bir bilgi işleme sistemi olarak tanımlanabilir. Beynin bilgi işleme yöntemine uygun olarak YSA, bir öğrenme sürecinden sonra bilgiyi toplama, işlem birimleri arasındaki bağlantı ağırlıkları ile bu bilgiyi saklama ve genelleme yeteneğine sahip paralel yapıda bir işlemcidir. Öğrenme süreci, arzu edilen hedefe ulaşmak için YSA ağırlıklarının yenilenmesini sağlayan öğrenme algoritmalarını içerir. Genelleme, eğitim yada öğrenme sürecinde karşılaşılmayan girişler için YSA'nın uygun tepkileri üretmesi olarak tanımlanır. Bu üstün özellikleri ile YSA, karmaşık problemleri çözebilme yeteneği sonucu, günümüzde bir çok alanda uygulama yeri bulmuştur. Şekil 4.1'de bir YSA'nın yapısı gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Yapay sinir ağı yapısı

YSA'lar işlem yaparken belirli adımları takip ederek sonuç verirler. Bu adımların herhangi birinin atlanması ya da herhangi bir kısmında hatalı işlem yapılması durumunda YSA hatalı sonuç verecektir. En genel haliyle, bir YSA Şekil 4.2'de verilen akış diyagramını izler.



Şekil 4.2. Yapay sinir ağı çalışma adımları

Yapay sinir ağlarının özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Kendi kendini organize etme ve öğrenbilme yetenekleri vardır.
- Eksik bilgi ile çalışabilmektedirler.
- Hata toleransına sahiptirler.
- Belirsiz ve tam olmayan bilgileri işleyebilmektedirler.
- YSA, ani bozulma göstermez.
- Sadece nümerik bilgiler ile çalışabilmektedirler.
- YSA, normal yollarla çözülmesi zor olan problemleri çözmek için tasarlanmışlardır.

Yapay sinir ağlarının avantajları şunlardır:

- Doğrusal olmayan çok boyutlu, gürültülü, eksik bilgili ve özellikle problemin çözümünde kesin bir matematiksel modelin veya algoritmanın bulunmadığı durumlarda başarılıdır.
- İstisnai ve anormal veri sayısı çok olan konularda iyi sonuçlar verir.
- Adaptasyon yeteneği vardır.
- Bilgiler ağın tamamında saklanır.
- Daha önce görülmemiş örnekler hakkında bilgi üretebilir.

Yapay sinir ağlarının kullanımı ile ilgili bazı dezavantajlar ise şu şekilde verilebilir:

- Uygun ağ yapısının belirlenmesinde belli bir kural yoktur.
- Ağın parametre değerlerinin belirlenmesinde belli bir kural yoktur.
- Eğitim örnekleri seçiminde genel bir kural yoktur.
- Öğrenilecek problemin ağa gösterimi önemli bir problemdir.
- Ağın eğitiminin ne zaman bitirilmesi gerektiğine ilişkin belli bir yöntem yoktur.

#### **4.2. YSA'nın Elemanları**

Yapay sinir ağı, sistemi oluşturan elemanların uyumlu bir şekilde çalıştırılması sonucunda problem çözme yeteneği kazanırlar. Yapay sinir ağını oluşturan elemanlardan olan girdiler, yapay sinir ağına dış dünyadan ya da diğer bir hücreden gelen bilgilerdir. Ağırlıklar ise hücreler arasındaki bağlantıların sayısal değerini ifade etmektedir. Bir hücreye gelen bilginin değerini ve hücre üzerindeki etkisini gösterir. Toplama fonksiyonu, hücreye gelen girdileri ağırlıklarla çarpıp toplayarak, o hücrenin net girdisinin hesaplanmasını sağlarken, aktivasyon fonksiyonu hücreye gelen net girdiyi işleyerek hücrenin bu girdiye karşılık üreteceği çıktının belirlenmesini sağlar. Yaygın olarak kullanılan aktivasyon fonksiyonları sigmoid, hiperbolik tanjant, doğrusal ve adım fonksiyonlarıdır. Çıktılar ise aktivasyon fonksiyonları tarafından belirlenen çıktı değerleridir. Üretilen çıktı ya dış dünyaya, başka bir hücreye ya da kendisine girdi olarak gönderilebilir.

### **4.3. YSA'nın Yapısı**

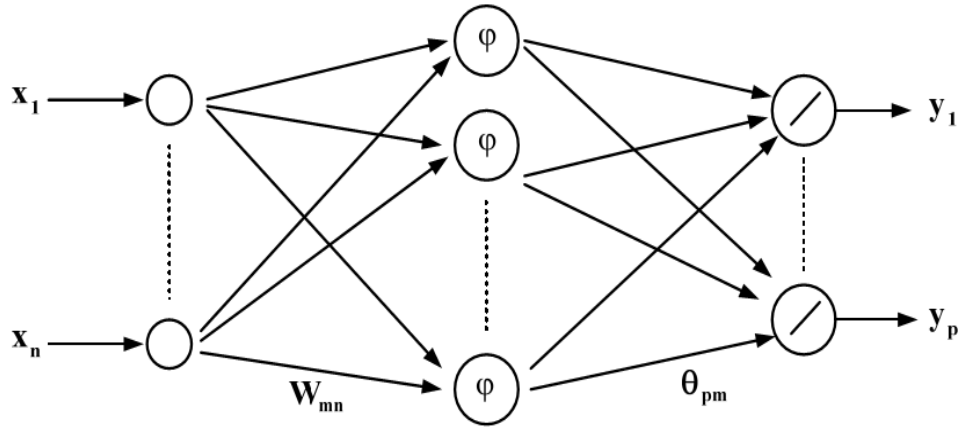
Mühendislik çalışmaları açısından bakıldığında yapay sinir ağı tam anlamıyla bir kara kutu olarak tanımlanabilir. Bu yapı, dışarıdan bilgileri alıp dışarıya ürettiği çıktıları vermektedir. İçeride ne olduğu ise bilinmemektedir. Diğer bir deyişle YSA'nın sonuçları nasıl oluşturduğu açıklanamamaktadır. Bu durum ağa olan güveni sarsmakla birlikte başarılı uygulamalar yapay sinir ağlarına olan ilgiyi sürekli artırmaktadır. YSA, yapay sinir hücrelerinin birbirlerine bağlanması sonucu oluşan yapılardır. Ancak sinir hücrelerinin bir araya gelmesi rastgele olmaz. Yapay sinir ağının her bir katmanı belirli bir görevi yerine getirmektedir. Yapay sinir ağlarının katmanlarından giriş katmanı, yapay sinir ağına dış dünyadan girdilerin geldiği katmandır. Bu katmanda, girdi sayısı kadar hücre bulunmaktadır ve girdiler herhangi bir işleme uğramadan gizli katmana iletilirler. Gizli katman, giriş katmanından aldığı bilgiyi işleyerek bir sonraki katmana iletir. Gizli katman sayısı ve gizli katmandaki hücre sayısı ağdan ağa değişebilir. Gizli katmanlardaki hücre sayıları, girdi ve çıktı sayılarından bağımsızdır. Çıkış katmanı ise gizli katmandan gelen bilgiyi işler ve giriş katmanına gelen girdiye uygun olarak üretilen çıktıyı dış dünyaya gönderir. Çıkış katmanındaki hücre sayısı birden büyük olabilir. Her bir çıkış hücresinin bir adet çıktısı vardır. Her bir hücre bir önceki katmandaki bütün hücrelere bağlıdır.

### **4.4. Yapılarına Göre YSA'nın Sınıflandırılması**

#### **4.4.1. İleri Beslemeli YSA**

İleri beslemeli yapay sinir ağlarında hücreler, girişten çıkışa doğru düzenli katmanlar şeklindedir. Ağa gelen bilgiler giriş katmanına daha sonra sırasıyla gizli katmanlardan ve çıkış katmanından işlenerek geçer ve sonra dış dünyaya çıkar. En çok bilinen geriye yayılım öğrenme algoritması bu tip YSA'nın eğitiminde etkin olarak kullanılmakta ve bazen bu ağlara geriye yayılım ağları da denilmektedir. İleri beslemeli YSA, katman sayısı ve orta katmandaki hücre sayısı gibi kesin belirlenememiş bilgilere rağmen nesne tanıma ve sinyal işleme gibi alanların yanı sıra sistemlerin tanımlanması ve denetiminde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Şekil 4.3'te 3 katmanlı ileri beslemeli YSA yapısı verilmiştir.

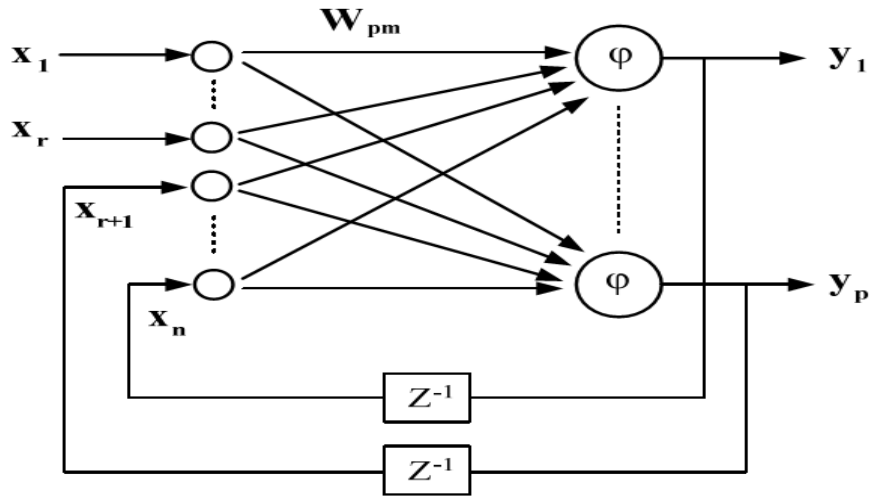




Şekil 4.3. İleri beslemeli 3 katmanlı YSA

#### 4.4.2. Geri Beslemeli YSA

Geri beslemeli YSA' da, en az bir hücrenin çıkışı kendisine ya da diğer hücelere giriş olarak verilir. Genellikle geri besleme bir geciktirme elemanı üzerinden yapılır. Geri besleme, bir katmandaki hücreler arasında olduğu gibi katmanlar arasındaki hücreler arasında da olabilir. Bu yapısı ile geri beslemeli YSA, doğrusal olmayan dinamik bir davranış gösterir. Dolayısıyla, geri beslemenin yapılış şekline göre farklı yapıda ve davranışta geri beslemeli YSA yapıları elde edilebilir. Şekil 4.4' te geri beslemeli bir ağ yapısı görülmektedir.



Şekil 4.4. Geri beslemeli YSA

## 4.5. Öğrenme Algoritmalarına Göre YSA'nın Sınıflandırılması

Yapay sinir ağları öğrenme algoritmalarına göre üç başlık halinde sınıflandırılmaktadır. Bu algoritmalar sırasıyla şu şekilde tanımlanır.

### 4.5.1. Danışmanlı Öğrenme

YSA, kullanılmaya başlanmadan önce eğitilir. Eğitim sırasında, hem girdi değerleri hem de o girdi değerleri için istenen çıktı değerleri sisteme verilir. İstenen çıktı ile ağın ürettiği çıktı karşılaştırılarak hata hesabı yapılır, ağırlıklar güncellenir.

### 4.5.2. Danışmansız Öğrenme

Sistemin öğrenmesine yardımcı olan herhangi bir danışman yoktur. Sisteme sadece girdiler verilir, örneklerdeki parametreler arasındaki ilişkileri sistemin kendi kendine öğrenmesi beklenir.

### 4.5.3. Destekleyici Öğrenme

Destekleyici öğrenme algoritması, istenilen çıkışın bilinmesine gerek duymaz. Bu yöntem danışmanlı öğrenme yöntemine benzemekle birlikte, ağa hedef çıktılar yerine, ağın çıktılarının ne ölçüde doğru olduğunu belirten bir referans bilgisine göre ağırlıklar değiştirilir.

## 4.6. YSA ile Güç Akış Analizi

Bir YSA tasarlanırken belirli algoritmalara ve işlem adımlarına uyulması büyük önem arz etmektedir. Aksi takdirde tasarlanan YSA'nın gerek eğitim ve gerek test aşamalarında, dolayısıyla da gerçek zamanlı kullanımı sırasında elde edilecek sonuçlar hatalı olacaktır.

YSA uygulamalarının başarısı, kullanılacak olan yaklaşımlar ve deneyimlerle yakından ilgilidir. Uygulamanın başarısında uygun yöntemi belirlemek büyük önem taşır.

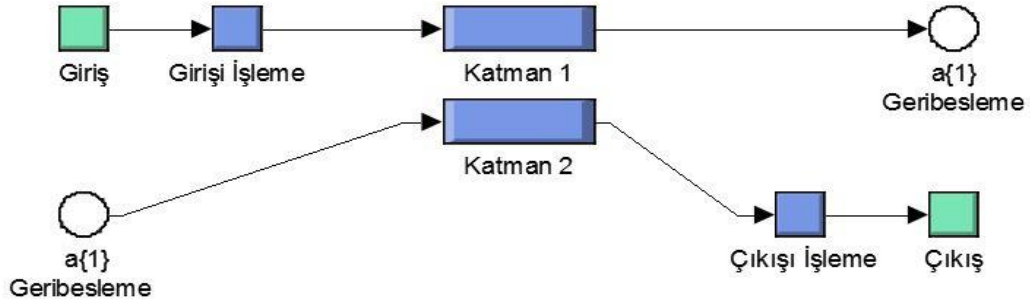
Yapay sinir ağının geliştirilmesi sürecinde ağın yapısına ve işleyişine ilişkin şu kararların verilmesi gerekir:

- Ağ mimarisinin seçilmesi ve yapı özelliklerinin belirlenmesi
- Nörondaki fonksiyonların karakteristik özelliklerinin belirlenmesi,
- Öğrenme algoritmasının seçilmesi ve parametrelerinin belirlenmesi,
- Eğitim ve test verisinin oluşturulması

Bu kararların doğru verilememesi durumunda, YSA'daki sistem karmaşıklığı artacaktır. YSA'nın uygun parametrelerle tasarlanması durumunda, YSA sürekli olarak kararlı ve istikrarlı sonuçlar üretecektir. Ayrıca sistemin tepki süresinin yeterince kısa olabilmesi için ağ büyüklüğünün yeterince küçük olması gerekir [54].

Bu tez çalışmasında, güç akış analizinde tekrarlı iteratif hesaplamaların yerine YSA temelli bir analiz yöntemi geliştirilmesi amaçlanmıştır. Güç akışı analizi için Gauss – Seidel Yöntemi esas alınmış ve bu yöntem uyarınca işlemler yapılmıştır. Gauss – Seidel Yöntemi ile iteratif olarak güç akış analizi, bölüm 3.3'te belirtilen adımlara uygun olarak tasarlanan Matlab yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Yazılımın deneme aşamasında, YSA'nın test edilmesi sürecinde kullanılan verilerden yararlanılmıştır.

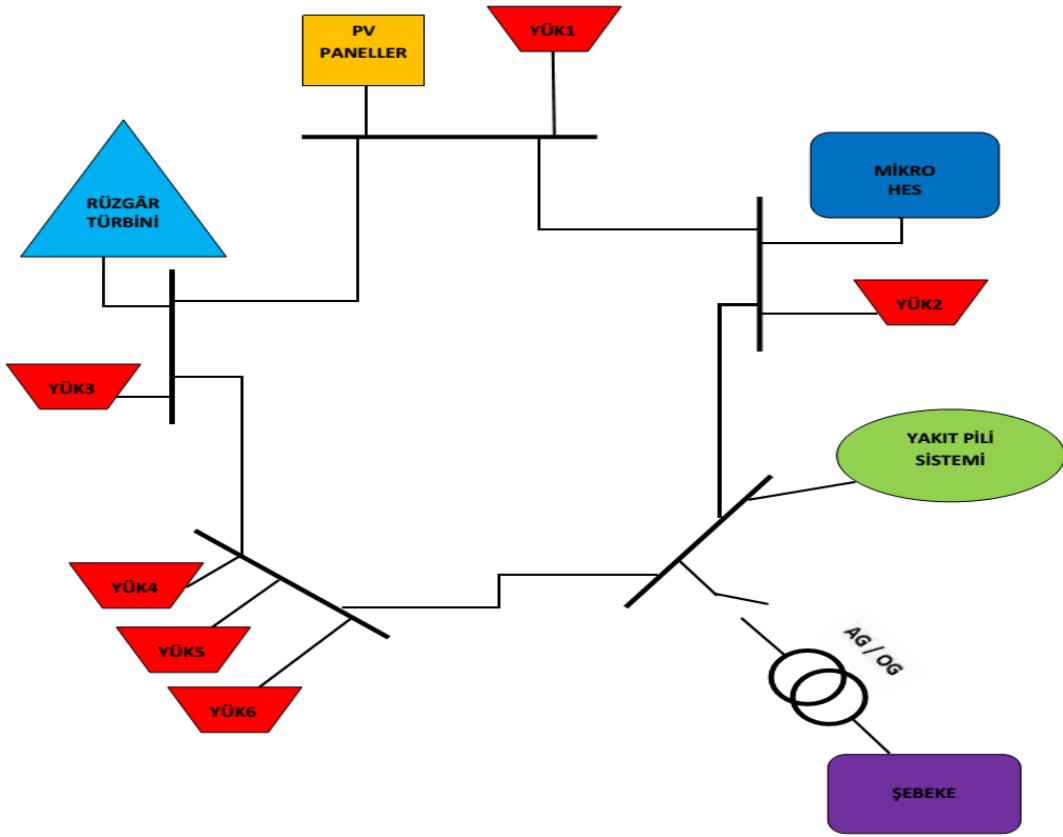
Dördüncü bölümde anlatılan tasarım şartlarına bağlı kalınarak oluşturulan YSA'nın iç yapısı Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



Şekil 4.5. YSA iç yapısı

## 5. GELİŞTİRİLEN YSA TABANLI GÜÇ AKIŞ ANALİZİ YÖNTEMİNİN MİKRO ŞEBEKEYE UYGULANMASI

Güç akış analizi yapılırken, gerek analitik yöntemle analiz yapılması için, gerekse yapay sinir ağının eğitilmesi ve uygunluk teyidi için bir takım verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu verilerin elde edilmesi için Matlab/Simulink platformunda örnek bir mikro şebeke oluşturulmuştur. Oluşturulan mikro şebeke; RES, PV, Mikro HES ve PEM Yakıt Pili üretim sistemlerini içermektedir. Sisteme ayrıca bir yük barası ilave edilmiştir. Tasarlanan mikro şebeke blok şema olarak Şekil 5.1’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Mikro şebekenin blok gösterimi

Bu tez çalışmasında Şekil 5.1’de verilen mikro şebeke üzerinde iki ayrı durum için inceleme yapılacaktır. Birincisi; ana şebekenin herhangi bir nedenden dolayı devre dışı kalması halinde dağıtık kaynakların adalanmış durum davranışları ve ikincisi de sistemin ana şebeke bağlantılı olarak çalışmayı sürdürmesi ile ilgili durum davranışlarıdır.

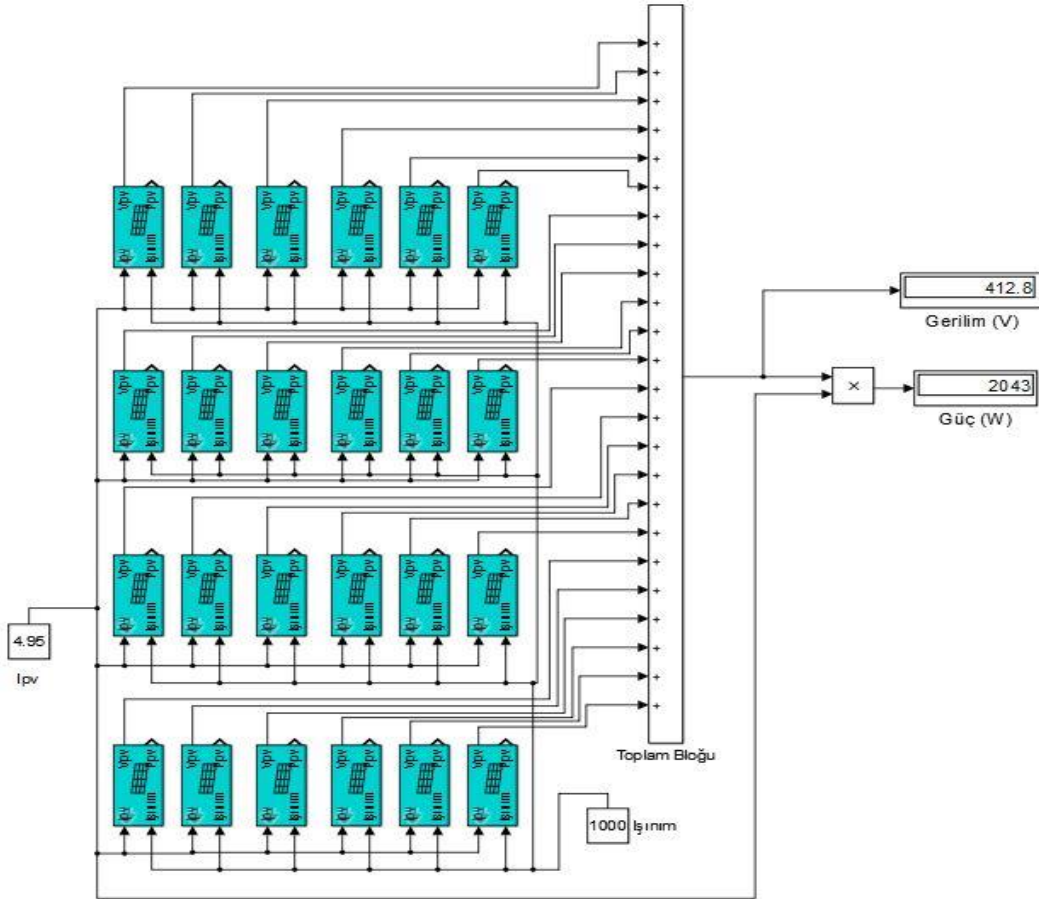
## 5.1. Tasarlanan Mikro Şebekenin Bileşenleri ve Özellikleri

### 5.1.1. Fotovoltaik Sistem

PV üretim sistemini oluşturmak için Şekil 2.4’te tanımlanan modül kullanılmıştır. Bu modülün özellikleri Şekil 5.2’de gösterilmiştir. Bu bloklardan 24 adet kullanılarak 412,8 V değerinde çıkış gerilimi elde edilmiş, çıkış gücü olarak da 2043 W bulunmuştur. Bu yapı Şekil 5.3’te gösterilmiştir.

Parameters
Short-circuit current
5.45
Open-circuit voltage
22.2
Current at Pmax
4.95
Voltage at Pmax
17.2

Şekil 5.2. Modül özellikleri

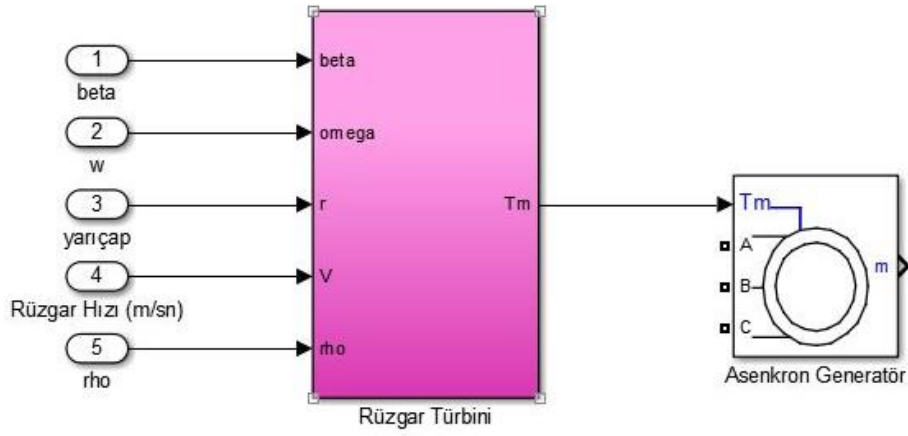


Şekil 5.3. PV üretim bloğu

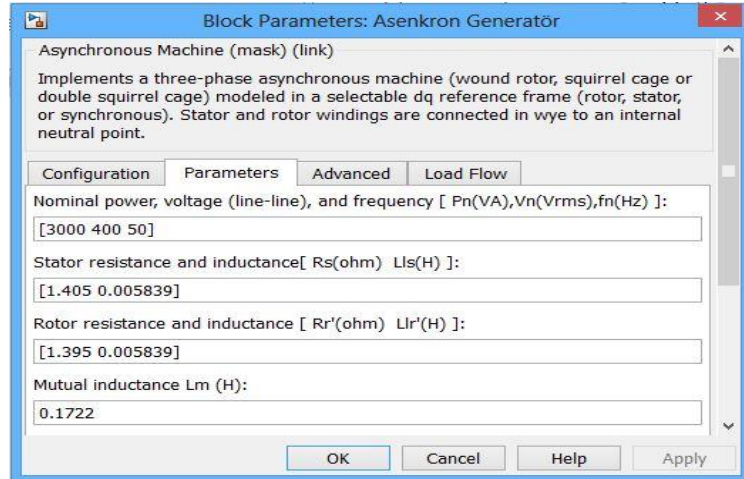
Bu sistemde elde edilen 412,8 V'luk DA gerilim, 6 darbeli evirici ile 3 fazlı AA'ya dönüştürülmüş, darbelerden kaynaklı gerilim bozulmalarının etkilerinin azaltılması için 380/380 V bir transformatör üzerinden baraya aktarılarak sistem bağlantısı yapılmıştır.

### 5.1.2. Rüzgâr Enerjisi Sistemi

Rüzgâr hızının 12 m/s olarak belirlendiği sistemde türbin kanatlarının bağlı bulunduğu asenkron generatörün görünür gücü 3 kVA olarak alınmış, çıkış gerilimi 380 V olarak baraya aktarılmıştır. Rüzgâr enerjisi sisteminin blok yapısı Şekil 5.4'te, sincap kafesli asenkron generatörün özellikleri ise Şekil 5.5'de gösterilmiştir.



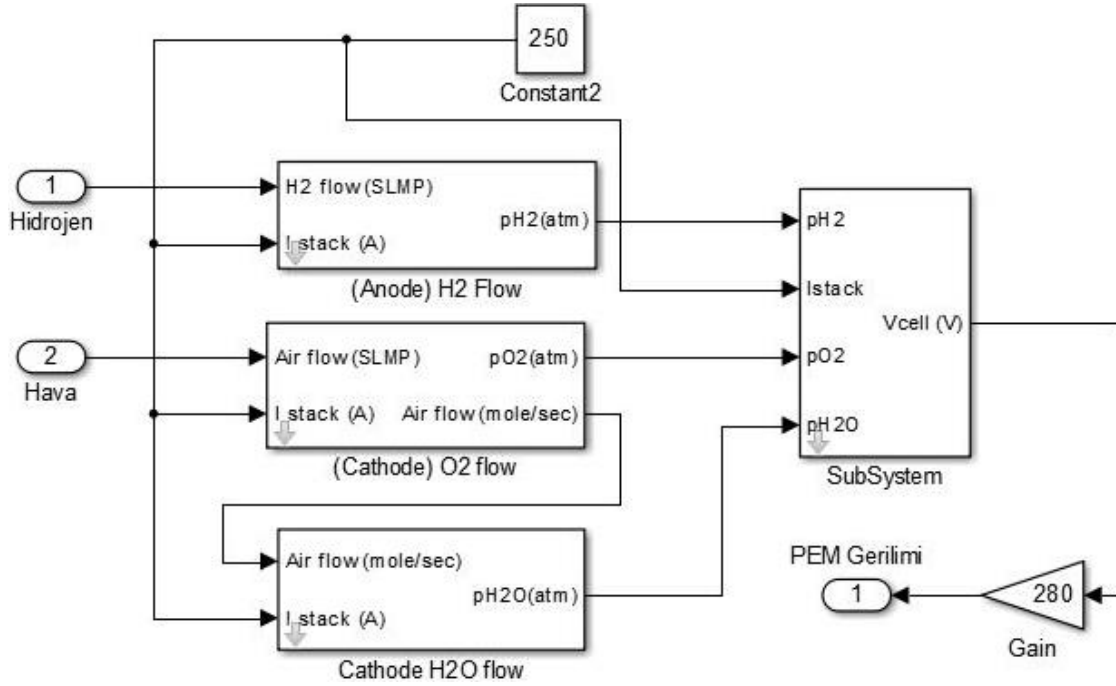
Şekil 5.4. RES blok yapısı



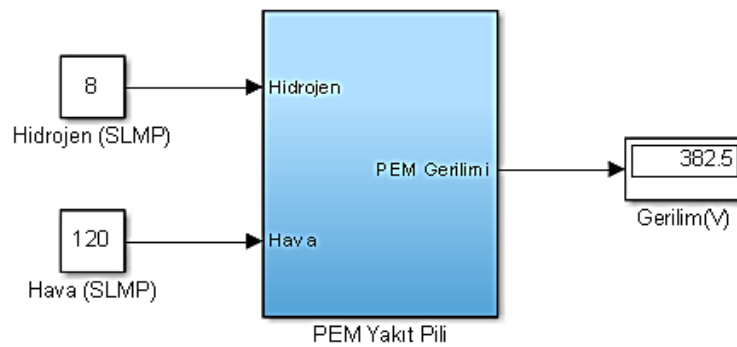
Şekil 5.5. Asenkron generatörün özellikleri

### 5.1.3. Yakıt Pili Sistemi

Sisteme bağlı bulunan yakıt pili 500 W güç üretecek şekilde tasarlanmıştır. Sistem tasarımı gereği bu üretim kaynağından elde edilen 382,5 V DA gerilim PV sistemde olduğu gibi 6 darbeli evirici ile 3 fazlı AA'ya dönüştürülmüş ve 380/380 V bir transformatör üzerinden sisteme bağlanmıştır. Yakıt pilinin iç yapısı Şekil 5.6'da, blok yapısı ise Şekil 5.7'de gösterilmiştir.



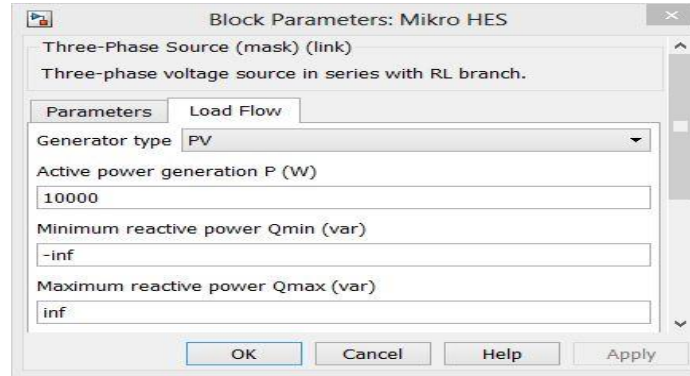
Şekil 5.6. PEM yakıt pilinin iç yapısı [48]



Şekil 5.7. PEM yakıt pilinin blok yapısı

### 5.1.4. Mikro HES

Mikro şebekenin en büyük kaynağı olarak varsayılan mikro hidroelektrik santralin türbin gücü 10 kW olarak belirlenmiştir. Üretim kaynağının çıkışı 380 V olarak mikro şebekeye bağlanmıştır. Tasarlanan mikro şebekede mikro HES yapısı olarak üç fazlı kaynak kullanılmıştır. Mikro HES üretim kaynağı amacıyla sisteme eklenen üç fazlı kaynağın özellikleri Şekil 5.8’de verilmiştir.



Şekil 5.8. Mikro HES blok parametreleri

## 5.2. Mikro Şebekenin Güç Akış Analizi

### 5.2.1. Adalanmış Durumda Güç Akış analizi

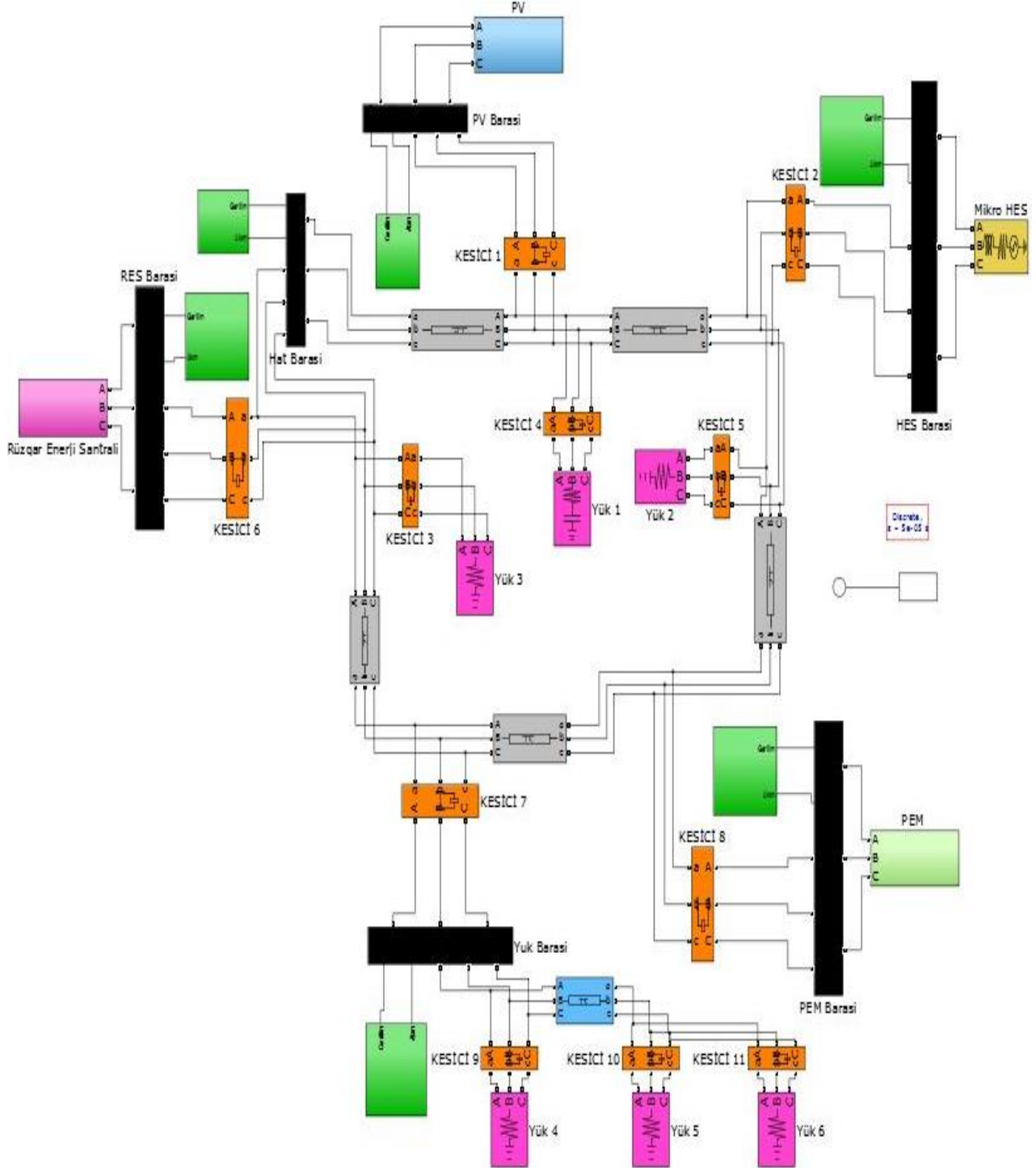
Özellikleri önceki başlıklarda verilen kaynaklar ve bunların yanında bir yük barası kullanılarak halka şebeke yapısındaki bir mikro şebeke tasarlanmıştır. Adalanmış durum için tasarlanan sistemin kaynak ve yük özellikleri Tablo 5.1’de özet olarak verilmiştir.

Tablo 5.1. Adalanmış durum için kaynaklar ve yüklerin özellikleri

Sistem Bileşeni	Bağlı Olduğu Bara	Gücü
PV Sistem	PV Barası	2000 W
Rüzgâr Enerjisi Sistemi	RES Barası	3000 VA
Yakıt Pili Sistemi	PEM Barası	500 W
Mikro HES	HES Barası	10000 W
Yük 1	PV Barası	500 W, 150 VAR
Yük 2	HES Barası	3000 W
Yük 3	RES Barası	1500 W
Yük 4	Yük Barası	3000 W
Yük 5	Yük Barası	2000 W
Yük 6	Yük Barası	2500 W



Bu sistem aynı zamanda standart şebeke yapısı elemanları olan kesicileri ve iletim hatlarını da içermektedir. Yukarıda bileşenlerinin özellikleri verilen mikro şebekenin Matlab/Simulink platformunda tasarlanan yapısı Şekil 5.9’da gösterilmiştir.



Şekil 5.9. Tasarlanan mikro şebekenin Matlab/Simulink yapısı

Mikro şebekelerin tasarımı ve güç akış analizi aşamalarında denklem (5.1)'de verilen temel güç bağıntısı üzerinden modelleme yapılır [55];

$$\Delta p(t) = \sum p_g(t) - \sum p_L(t) \pm \sum p_B(t) - \sum p_k(t) \quad (5.1)$$

Burada;

$P_g(t)$  ; Mikro şebekede bulunan kaynaklardan ( PV, RES, Mikro HES, PEM) üretilen gücü

$P_L(t)$  ; Mikro şebekeye bağlı yüklerin gücünü

$P_B(t)$  ; Mikro şebekeye bağlı depolama ünitesi varsa bu birimin gücünü ( Eğer şarj edilmiş durumdaysa  $P_B(t) > 0$  olarak alınır)

$P_k(t)$  ; Hat kayıplarını

$\Delta P(t)$  ise toplam yük dengesinin toleransını göstermektedir. Hesaplama işlemi, daha önceden belirlenen  $\Delta P(t)$  değerine ulaşılan kadar devam eder. Tasarlanan mikro şebekenin baralarına ait bara yüklenme değerleri Tablo 5.2'de verilmiştir. Bu yüklenme değerleri tasarlanan mikro şebekenin Matlab/Simulink modelinin çalıştırılması sonrası elde edilmiş gerçek değerlerdir.

**Tablo 5.2** Bara yüklenme değerleri

<i>BARA</i>	<i>P (pu)</i>	<i>Q (pu)</i>
PV	0.1597	1.524
Mikro HES	1.347	0.3766
PEM	0.0244	0.4564
RES	1.383	0.1708
Yük	1.721	0.9936

Tasarlanan mikro şebekeye ait hat parametreleri ise Tablo 5.3'te tanımlanmıştır. Bu parametre değerleri tasarlanan mikro şebekenin Matlab/Simulink modelinden elde edilmiştir.

**Tablo 5.3** Hat parametreleri

<i>Kaynak Bara</i>	<i>Hedef Bara</i>	<i>R</i>	<i>X</i>	<i>B</i>
PV	Mikro HES	0.01273	0.0093	0.002
PV	RES	0.01273	0.0093	0.002
Mikro HES	PEM	0.01273	0.0093	0.002
PEM	Yük	0.02546	0.0186	0.004
RES	Yük	0.00636	0.000465	0.001

### 5.2.1.1. Bara Admitans Matrislerinin Oluşturulması

Sisteme ait bara admitans matrisinin oluşturulması için öncelikle hat ve bara parametrelerinin yazılıma tanımlanması gerekmektedir. Hat parametreleri Tablo 5.3'te verilen değerlere göre Ek 1.1'de verilen alt program kullanılarak yazılıma tanımlanır.

Hat parametrelerinin tanımlanmasının ardından Ek 1.2'de belirtilen alt program yardımı ile bara admitans matrisi oluşturulur. Verilen bu alt programın çalıştırılması sonucu mikro şebekenin bara admitans matrisi eşitlik (5.2)'de verildiği şekilde oluşacaktır:

$$Y = \begin{bmatrix} 1.0244 - 0.7483i & -0.5122 + 0.3742i & 0.0000 + 0.0000i & -0.5122 + 0.3742i & 0.0000 + 0.0000i \\ -0.5122 + 0.3742i & 1.0244 - 0.7483i & -0.5122 + 0.3742i & 0.0000 + 0.0000i & 0.0000 + 0.0000i \\ 0.0000 + 0.0000i & -0.5122 + 0.3742i & 0.7683 - 0.5612i & 0.0000 + 0.0000i & -0.2561 + 0.1871i \\ -0.5122 + 0.3742i & 0.0000 + 0.0000i & 0.0000 + 0.0000i & 2.0762 - 0.4885i & -1.5640 + 0.1143i \\ 0.0000 + 0.0000i & 0.0000 + 0.0000i & -0.2561 + 0.1871i & -1.5640 + 0.1143i & 1.8201 - 0.3014i \end{bmatrix} \quad (5.2)$$

### 5.2.1.2. Gauss – Seidel Yöntemi ile Mikro Şebekenin Güç Akışı Analizi

Gauss – Seidel Yöntemi ile mikro şebekenin güç akışı analizi yapılması için öncelikle Tablo 5.2'de verilen bara yüklenme değerleri yazılıma tanıtılacaktır. Bu işlem için kullanılan alt program Ek 1.3'te verilmiştir. Burada pozitif değerler baradan sisteme besleme yapıldığını, negatif değerler ise söz konusu baranın sistemden beslendiğini ifade etmektedir.

Gauss – Seidel Yöntemi ile güç akışı analizi yapılırken kartezyen koordinat değerleri üzerinden işlem yapılmaktadır. Bu nedenle genlik ve açı değerlerinin kutupsal formdan

kartezyen forma dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu işlem için kullanılacak alt program Ek 1.4'te verilmiştir.

Bara admitans matrisi oluşturulduktan ve bara değerleri yazılıma tanıtıldıktan sonra sistemin güç akışı analizi yapılabilecektir. Mikro şebekenin Gauss – Seidel Yöntemi güç akışı analizi için hazırlanan yazılım Ek 1.5'te verildiği şekildedir.

Alt programları ile birlikte çalıştırıldıktan sonra her bir bara için gerilim genlikleri ve açıları elde edilmiştir. Bu değerler Tablo 5.4'te verilmiştir.

**Tablo 5.4.** Yazılım ile elde edilen bara gerilim genlik ve açı değerleri

<b>BARA</b>	<b>GENLİK</b>	<b>AÇI</b>
Mikro HES	0.9500	-0.3317
PEM	0.9498	-1.1934
RES	0.9494	-2.0993
Yük	0.9609	-2.1979

### **5.2.1.3. YSA ile Mikro Şebekenin Güç Akışı Analizi**

Bu bölümde mikro şebekede güç akışı analizi için tasarlanan YSA'nın yapılandırma adımları verilmiştir.

Analizde kullanılacak YSA, değişken bara yüklenme değerlerine göre tasarlanmıştır. Tasarlanan YSA, yapı olarak 1 giriş katmanından, 1 gizli katmandan ve 1 çıkış katmanından oluşmaktadır. Baralara ait aktif ve reaktif güçler tek satırlık matris halinde yazılarak giriş parametreleri oluşturulmuştur. Çıkışta ise bara gerilimleri ve bu gerilimlere ait açılar elde edilmiştir.

YSA tasarlanırken öncelikle giriş için veriler oluşturulmuştur. Tasarlanan mikro şebeke için farklı senaryolar için yüklenme değerleri belirlenmiş ve bu değerler ölçüm bloklarından alınarak YSA'ya giriş olarak verilmiştir.

Çıkış verileri olarak ise her bir baraya ait gerilim genliği ve açıları tanımlanmıştır. 100 farklı senaryo ile YSA eğitilmiştir. Eğitim ve test için Ek 1.6'da verilen algoritmadan faydalanılmıştır.

Ek 1.6'da verilen yazılım bölümü oluşturulurken çeşitli eğitim algoritmaları denenmiş, en sonunda belirtilen algoritma ile en iyi sonuca ulaşılmıştır. Bu algoritma için giriş verileri, ilk dört veri aktif güç değeri (P) ve sonraki dört veri reaktif güç değeri (Q) olmak üzere 8

sütunlu ve toplamda eğitim verileri için 100 senaryo belirlendiği için 100 satırlı bir tablo olarak tanımlanmıştır.

Benzer şekilde, çıkış verisi olarak ilk dört veri gerilim genliğinin değeri (V) ve sonraki dört veri gerilim açısının değeri ( $\delta$ ) olmak üzere 8 sütunlu ve toplamda eğitim verileri için 100 senaryo belirlendiği için 100 satırlı bir tablo olarak tanımlanmıştır. Şekil 5.10 ve Şekil 5.11'de sırasıyla giriş ve çıkış parametrelerinin tablo halindeki gösterimi verilmiştir.

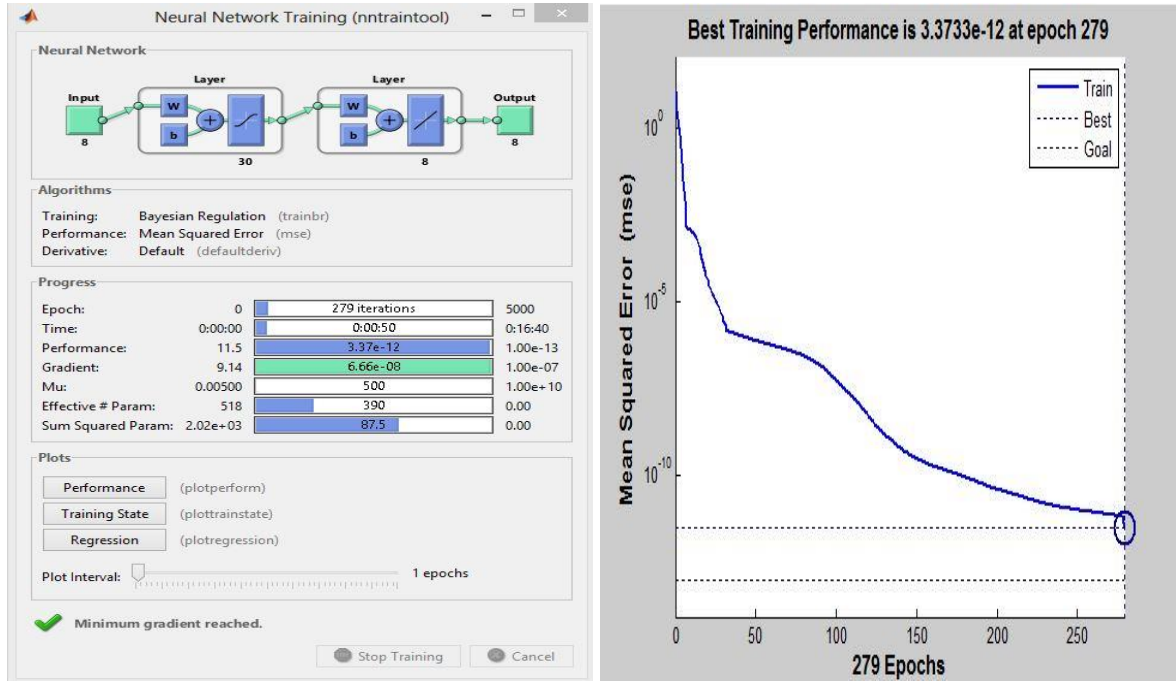
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.5000	0.2500	0.4000	0.5000	0.2000	0.1500	0.2000	0.2000
2	0.2500	0.3000	0.6000	0.3000	0.1500	0.1200	0.2500	0.1500
3	0.3200	0.2700	0.2500	0.1500	0.1000	0.1500	0.1000	0.0500
4	0.2200	0.5500	0.4500	0.6000	0.0400	0.1000	0.1500	0.2500
5	0.2500	0.4500	0.2000	0.3000	0.0200	0.1300	0.0200	0.0200
6	0.5000	0.4000	0.2500	0.6000	0.1200	0.1000	0.0800	0.4000
7	0.2300	0.4500	0.3300	0.2300	0.0200	0.1100	0.1800	0.6000
8	0.1800	0.3300	0.2100	0.4300	0.0800	0.1000	0.1200	0.1800
9	0.1500	0.2800	0.2000	0.4000	0.0700	0.1100	0.1200	0.1800
10	0.4200	0.3500	0.3800	0.2200	0.1900	0.2000	0.1400	0.0900
11	0.3400	0.4400	0.6600	0.3500	0.1300	0.1200	0.0800	0.1900
12	0.1600	0.4500	0.2800	0.5000	0.0300	0.1200	0.0800	0.1900
13	0.2500	0.4000	0.3000	0.5000	0.0300	0.1200	0.0800	0.1900
14	0.2500	0.4000	0.3000	0.5000	0.1300	0.1000	0.2500	0.3500

Şekil 5.10. Eğitim için giriş parametreleri

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.9527	0.9533	0.9319	0.9521	-2.7143	-2.5279	-3.8074	-2.8367
2	0.9612	0.9559	0.9279	0.9576	-2.1212	-2.5321	-4.1807	-2.4356
3	0.9753	0.9717	0.9656	0.9791	-1.7178	-1.7826	-2.3343	-1.5366
4	0.9634	0.9550	0.9351	0.9537	-2.8004	-3.5243	-4.7176	-3.2782
5	0.9810	0.9740	0.9744	0.9828	-2.1083	-2.5014	-2.9180	-2.1159
6	0.9553	0.9565	0.9422	0.9488	-2.9718	-2.9877	-3.7040	-2.9152
7	0.9758	0.9670	0.9542	0.9744	-2.0462	-2.5449	-3.0766	-2.0042
8	0.9738	0.9700	0.9587	0.9690	-1.7126	-2.0182	-2.5516	-1.9989
9	0.9759	0.9719	0.9608	0.9707	-1.4910	-1.7376	-2.2782	-1.7892
10	0.9607	0.9569	0.9460	0.9662	-2.2608	-2.3945	-3.3263	-2.1183
11	0.9600	0.9549	0.9357	0.9578	-2.8909	-3.4850	-5.4282	-3.1220
12	0.9736	0.9663	0.9564	0.9670	-2.1191	-2.6533	-3.4058	-2.5090
13	0.9719	0.9661	0.9553	0.9661	-2.3400	-2.6710	-3.5491	-2.6249
14	0.9582	0.9544	0.9302	0.9487	-2.0491	-2.4404	-3.0185	-2.2729

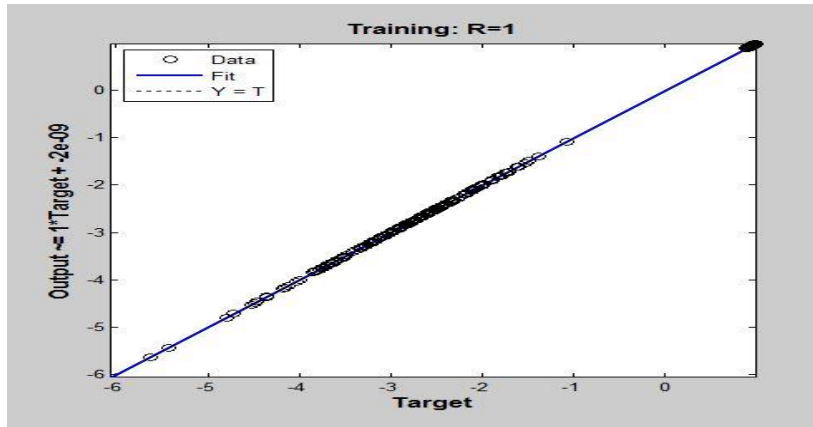
Şekil 5.11. Eğitim için çıkış parametreleri

YSA'nın eğitim süreci için yazılım çalıştırıldığında Şekil 5.12'de gösterildiği gibi, 279 iterasyon sonucunda eğitim tamamlanmıştır.



Şekil 5.12. YSA eğitim süreci

YSA'nın eğitimi sonucunda regresyon eğrisinden eğitimin başarılı olduğu, istenen yaklaşım değerine kusursuzca ulaşıldığı tespit edilebilir. Bu eğri Şekil 5.13'te verilmiştir.



Şekil 5.13. Regresyon eğrisi

Matlab/Simulink platformunda tasarlanan mikro şebeke verileri, daha önce hazırlanan yazılımda kullanılarak güç akışı analizi yapılmış ve baralara ait gerilim genlikleri ile gerilim

açıları tespit edilmiştir. Aynı veriler eğitimi tamamlanan YSA'ya giriş verisi olarak tanımlanmış ve benzer şekilde baralara ait gerilim genlikleri ile gerilim açıları elde edilmiştir.

Söz konusu değerler Tablo 5.5'te sunulmuştur. Klasik yöntemle analiz yapılırken PV barası salınım barası olarak kabul edilmiştir. Bu nedenle sağlıklı karşılaştırma yapılabilmesi açısından YSA ile analizde de PV barası hesaba katılmamıştır.

**Tablo 5.5.** YSA ile elde edilen bara gerilim genlik ve açı değerleri

<b>BARA</b>	<b>GENLİK</b>	<b>AÇI</b>
Mikro HES	0.9503	-0.3313
PEM	0.9500	-1.1934
RES	0.9490	-2.0989
Yük	0.9611	-2.1976

Elde edilen bu değerlerin toplu gösterimi ve karşılaştırılması Tablo 5.6'da verilmiştir.

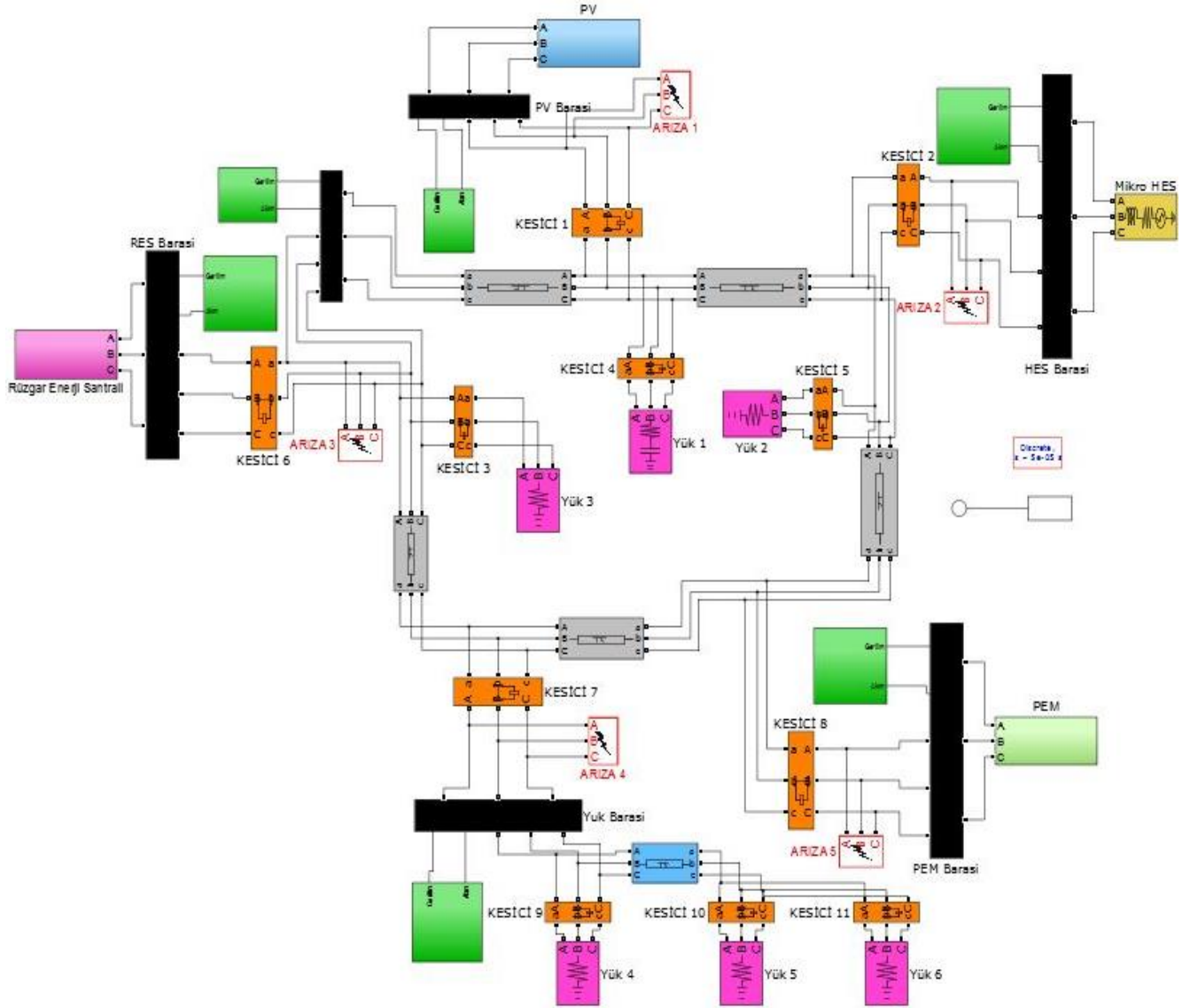
**Tablo 5.6.** Sonuçların karşılaştırılması

	<b>Gauss-Seidel Analizi</b>		<b>YSA Analizi</b>		<b>Yaklaşım</b>	
	<b>Gerilim</b>	<b>Açı</b>	<b>Gerilim</b>	<b>Açı</b>	<b>Gerilim</b>	<b>Açı</b>
<b>Mikro HES</b>	0.9500	-0.3317	0.9503	-0.3313	0.0003	0.0004
<b>PEM</b>	0.9498	-1.1934	0.9500	-1.1934	0.0002	0
<b>RES</b>	0.9494	-2.0993	0.9494	-2.0989	0	0.0004
<b>Yük</b>	0.9609	-2.1979	0.9611	-2.1976	0.0002	0.0003

Tablo incelendiğinde iteratif yöntem ile yapılan analiz ile YSA tabanlı analiz sonuçlarının çok küçük hata payları ile aynı çıktığı görülmektedir. Bu veriler ışığında YSA ile güç akışı analizinin doğru sonuçlar verdiği ve klasik iteratif yöntemler yerine kullanılabileceği sonucuna ulaşılmaktadır.

### 5.3. Mikro Şebekenin Farklı İşletme Koşulları Altında İncelenmesi

Bu bölümde, Şekil 5.1’de ana hatları ile gösterilen mikro şebekenin çeşitli arıza durumlarında, yüklerden ya da kaynaklardan bir veya birkaçının devre dışı kalması halinde nasıl davranacağı incelenecektir. Bunun için mikro şebekenin çeşitli noktalarında arızalar oluşturulmuş ve grafiklerle mikro şebekenin bu arıza durumlarında çalışma karakterinin değişimi gözlenmiştir. Arıza noktalarının gösterildiği, yeniden düzenlenen mikro şebeke yapısı Şekil 5.14’te verilmiştir.



Şekil 5.14. Adalanmış durum için arıza noktaları ile yeniden düzenlenmiş mikro şebeke

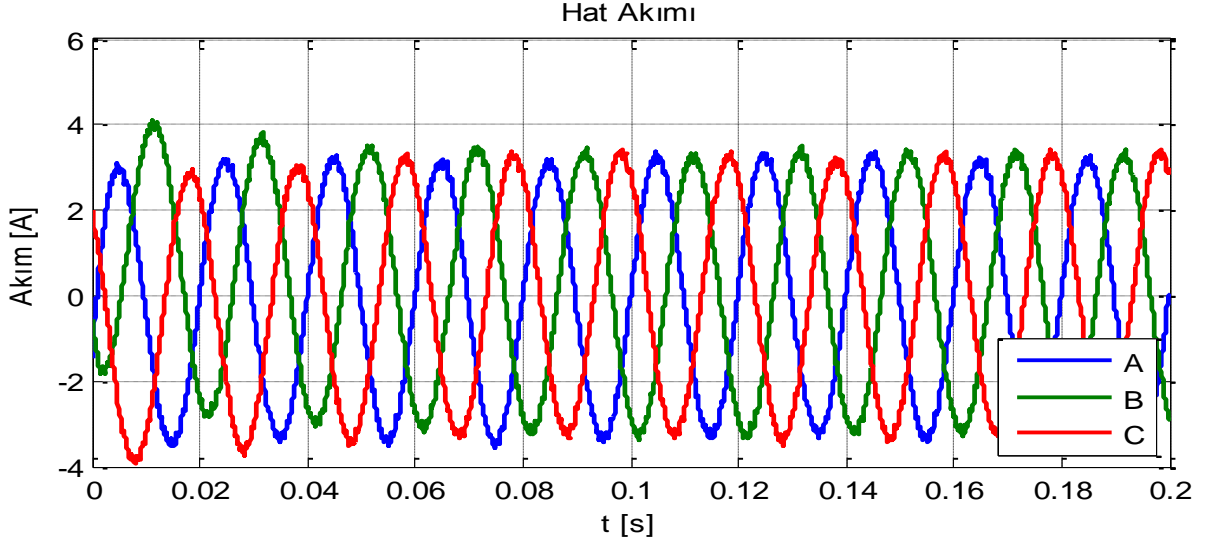


Oluşturulan senaryoya göre;

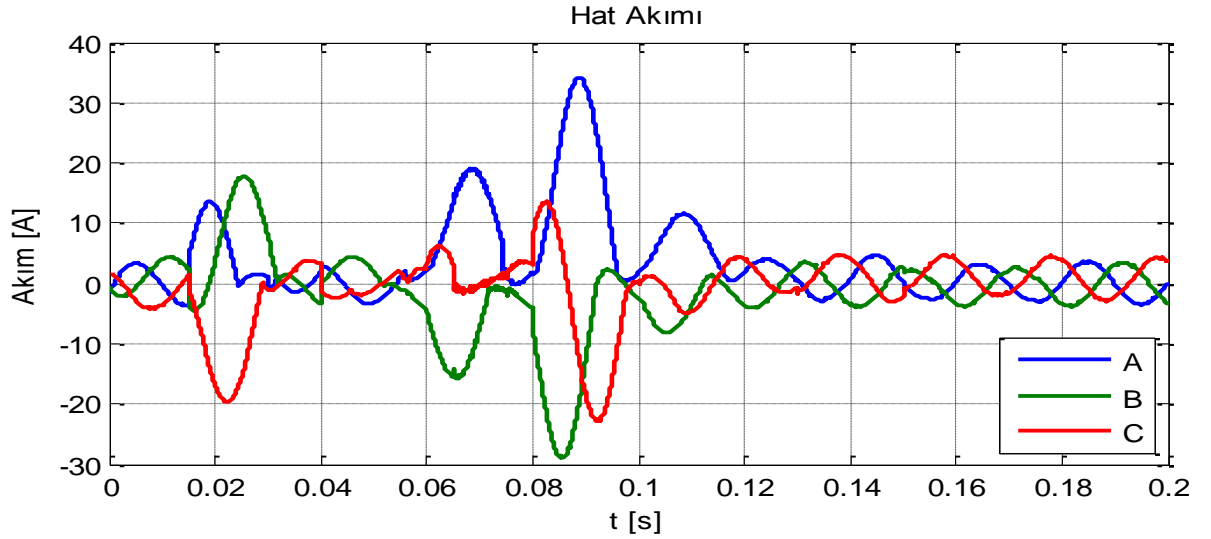
- Benzetim sisteminin çalıştırılmaya başlandığı an 0 (sıfır) olarak kabul edilmiş ve sistem 0.015'inci saniyeye kadar normal işletme koşullarında çalışmıştır.
- PV barasında 0.015'inci saniyede arıza oluşmuştur (ARIZA 1). 0.020'nci saniyede de PV barasına bağlı bulunan kesici, sistemi şebekeden ayırmıştır. 0.025'inci saniyede PV sistemde oluşan arıza sona ermiştir. 0.03'üncü saniyede PV barasına bağlı bulunan kesici kapanarak sistemi tekrar şebekeye dâhil etmiştir.
- 0.04'üncü saniyede Mikro HES sisteminde oluşan arızanın ardından (ARIZA 2) 0.045'inci saniyede Mikro HES sistemine ait baranın kesicisi sistemi şebekeden ayırmıştır. Arızanın 0.05'inci saniyede sona ermesinin ardından 0.055'inci saniyede kesici kapanarak mikro HES sisteminin şebeke bağlantısı tekrar yapılmıştır.
- 0.06'nci saniyede yük barasında arıza oluşmuştur (ARIZA 4). Bu durum üzerine yük barasına ait kesici 0.065'inci saniyede açılarak yüklerin şebeke bağlantısının ayrılmasını sağlamıştır. 0.07'nci saniyede arızanın sona ermesi ile 0.075'inci saniyede yük barasının kesicisi kapanarak yüklere tekrar enerji verilmiştir.
- 0.08'nci saniyede mikro şebekenin iletim hattında bir arıza meydana gelmiştir (ARIZA 3). Bu arıza 0.09'uncu saniyeye kadar devam etmiş ve sonlanmıştır. Bu arıza esnasında 0.085'inci saniyede rüzgâr enerji santrali (RES) barasına bağlı bulunan kesici açılmış, 0.095'inci saniyede kapanarak sistemin tekrar şebekeye bağlanması sağlanmıştır.
- 0.1'inci saniyede yakıt pili sistemi barasında arıza oluşmuştur (ARIZA 5). Bu arıza sonucunda 0.105'inci saniyede baraya bağlı kesici açılmış ve sistem şebekeden ayrılmıştır. 0.11'inci saniyede arızanın sona ermesi ile kesici 0.115'inci saniyede kapanarak sistemin şebeke bağlantısı tekrar sağlanmıştır. Daha sonra;
- Yük 1, 0.12'nci saniyede devreden çıkarılıp 0.13'üncü saniyede tekrar devreye alınmış; Yük 2, 0.125'inci saniyede devreden çıkarılıp 0.135'inci saniyede devreye alınmış;
- Yük 3, 0.14'üncü saniyede devreden çıkarılıp 0.15'inci saniyede devreye alınmış,
- Yük 4, 0.145'inci saniyede devreden çıkarılıp 0.155'inci saniyede devreye alınmış,
- Yük 5, 0.16'nci saniyede devreden çıkarılıp 0.17'nci saniyede devreye alınmış,
- Yük 6, 0.165'inci saniyede devreden çıkarılıp 0.175'inci saniyede devreye alınmıştır.

Bu durumlardan sonra benzetim sistemi 0.2'nci saniyeye kadar normal işletme koşullarında çalıştırılmış, işlem sonlandırılarak sistemin tepkisi gözlenmiştir.

Bu senaryolar sonucunda mikro şebekenin davranışı için çeşitli grafikler incelenmiştir. İncelenen grafikler Şekil 5.15'den Şekil 5.28'e kadar olan şekillerde gösterilmiştir. Karşılaştırmalı analiz yapılabilmesi için normal çalışma durumu ve arıza durumu grafikleri birlikte verilmiştir. Verilen grafiklerde A, B, ve C ifadeleri her bir fazı temsil etmektedir.



(a) Normal işletme



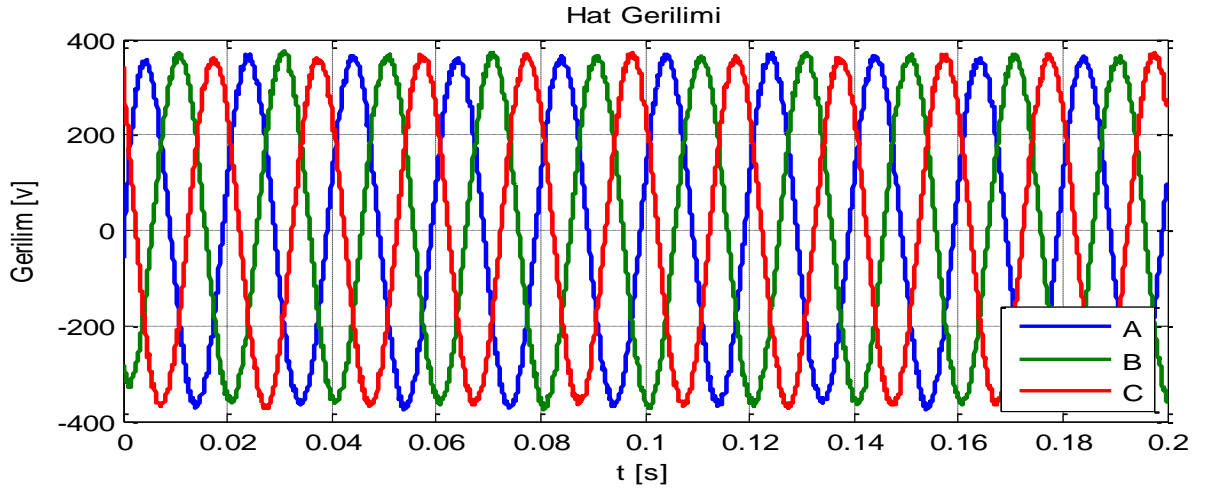
(b) Arıza durumu

Şekil 5.15. Hat akımının (a) normal işletme, (b) arıza durumu grafikleri

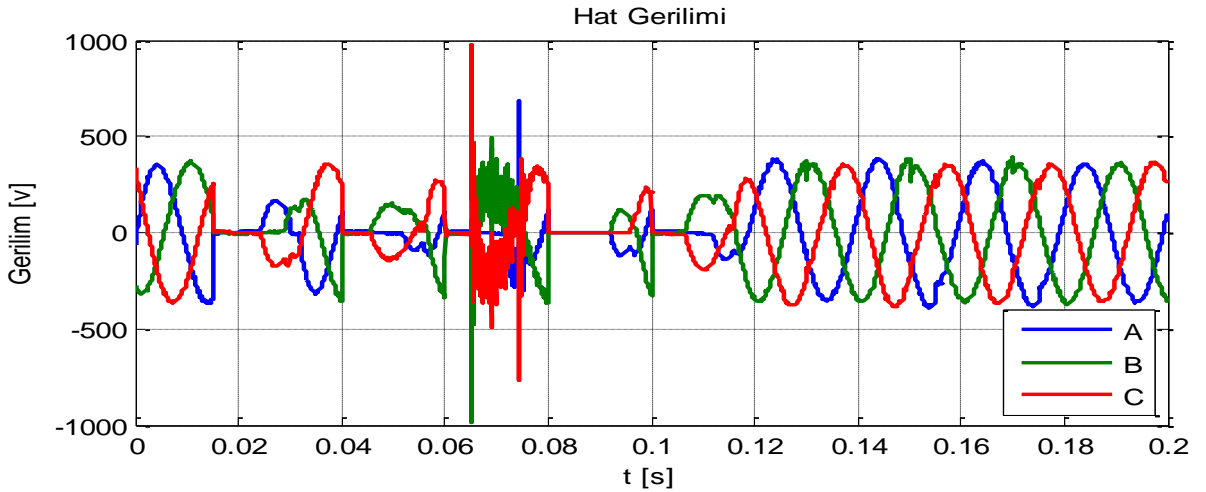
Şekil 5.15 b’de verilen hat akımının arıza durum grafiği incelendiğinde PV sistem arızası, yük barası arızası ve özellikle hat arızası anlarında akımın büyük sıçramalar yaptığı görülmüştür. Diğer üretim kaynaklarına göre gücü daha düşük olan yakıt pili sistemi barasında oluşan arızada ise akım değeri daha az etkilenmiştir.

Şekil 5.16, normal işletme ve arıza şartlarında hat gerilimindeki değişimleri göstermektedir. Hat gerilim grafiğinde en dikkat çeken unsur yük barasında oluşan arıza ve ardından yük barasına ait kesicinin açılıp kapanması esnasında gerilim değerinin nominal gerilimin yaklaşık 2.5 katına ulaşmasıdır.

Bu durum, halka şebeke yapısında tasarlanan mikro şebekenin geriliminin ani yük atımı durumunda tehlikeli sıçramalar yapabileceğini göstermiştir.



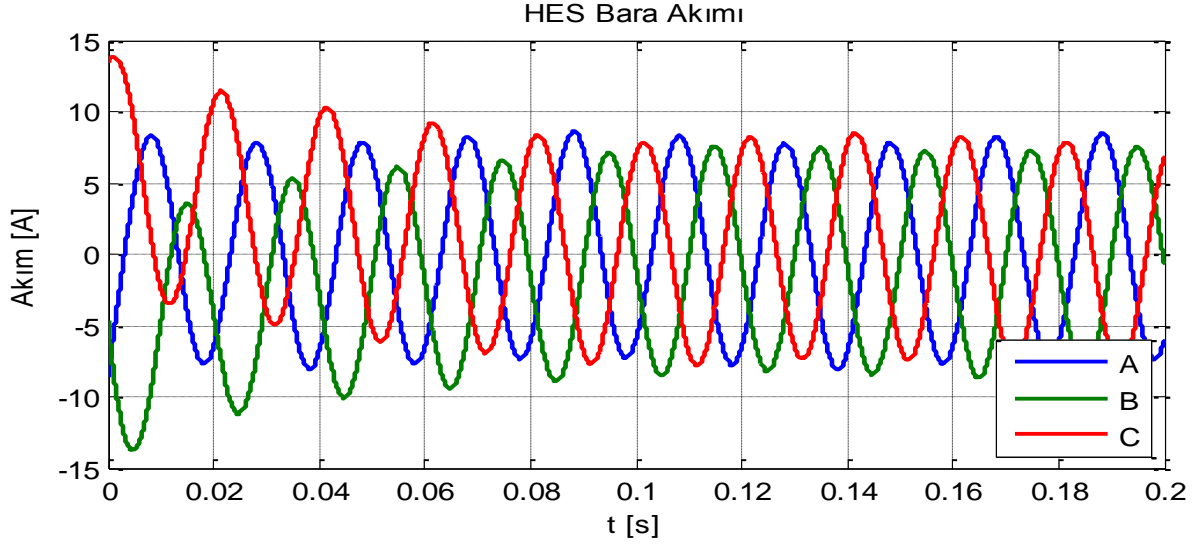
(a) Normal işletme



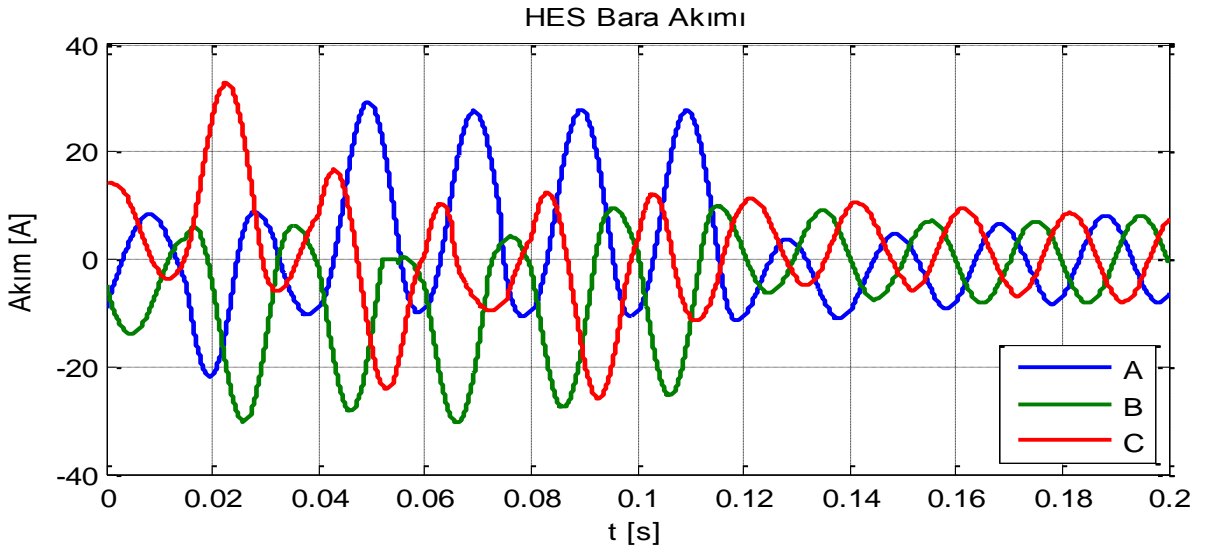
(b) Arıza durumu

Şekil 5.16. Hat geriliminin (a) normal işletme, (b) arıza durumu grafikleri

Mikro şebekenin en büyük kaynağı olan mikro HES barasına ait akım grafikleri (Şekil 5.17) incelendiğinde, arıza durumlarında hat akımı grafiğine benzer bir davranış sergilediği görülmektedir. Ancak gücü ile orantılı olarak akım sıçramalarındaki tepe değerlerin 30 A değerine ulaştığı görülmüştür.

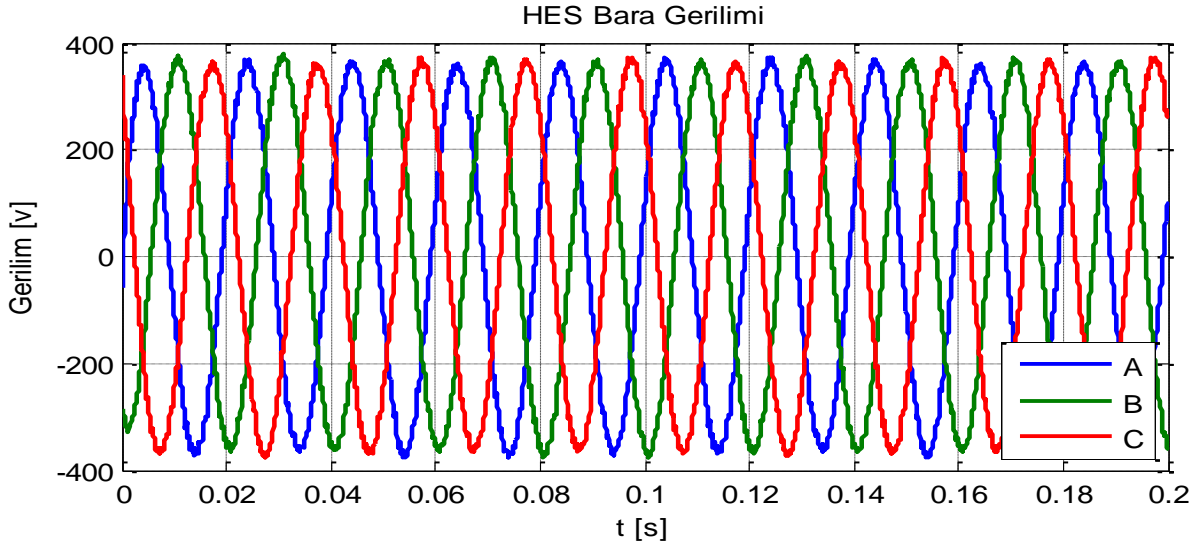


(a) Normal işletme

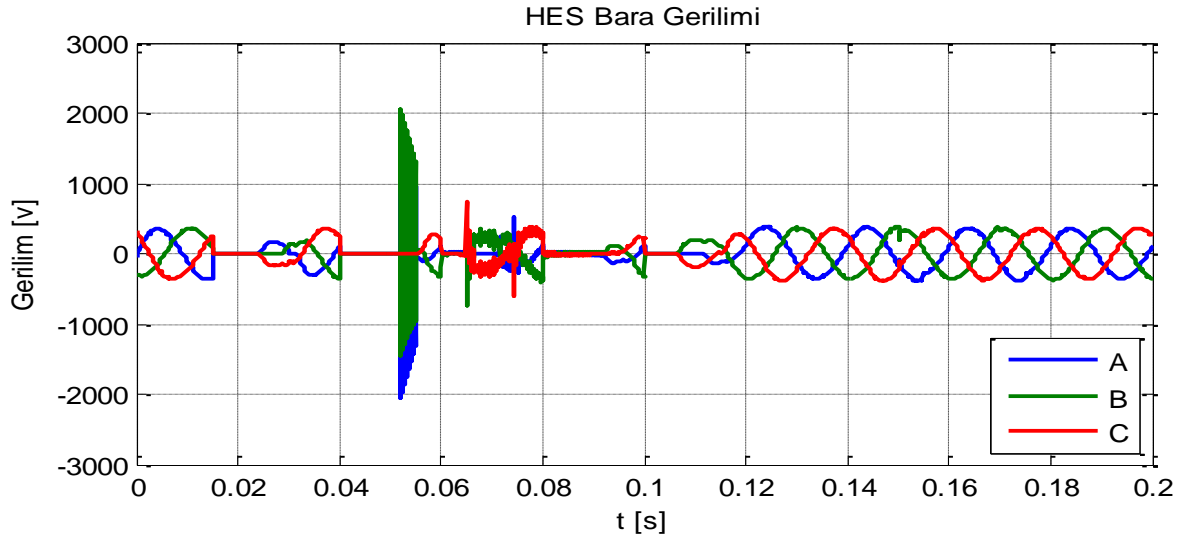


(b) Arıza durumu

Şekil 5.17. Mikro HES bara akımının (a) normal işletme, (b) arıza durumu grafikleri



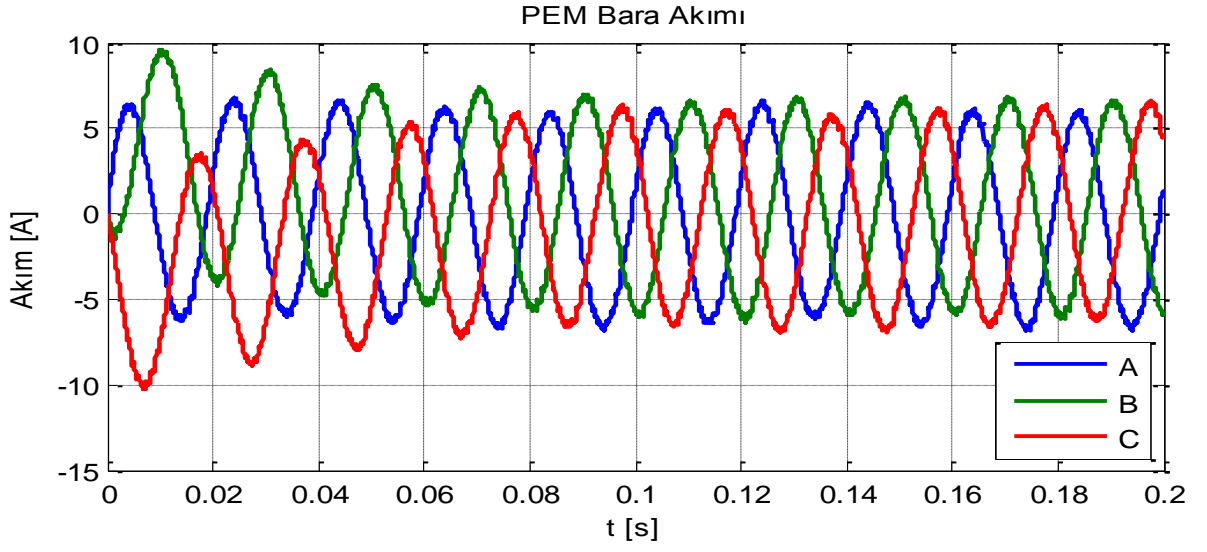
(a) Normal işletme



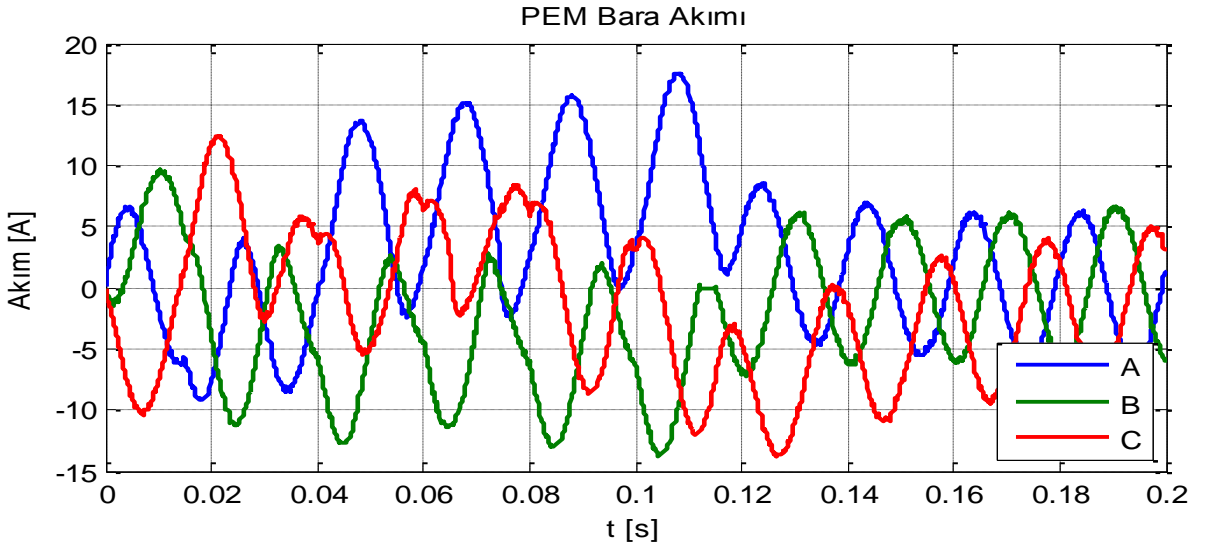
(b) Arıza durumu

**Şekil 5.18.** Mikro HES bara geriliminin (a) normal işletme, (b) arıza durumu grafikleri

Mikro HES'in arıza durumu bara gerilim grafiğinde HES barasında oluşan arıza durumunda, bara geriliminde nominal gerilimin 5 katı değerine ulaşan tepe noktaları tespit edilmiştir. Aynı zamanda yine ani yük atımı durumu sayılan yük barası kesicisinin açılıp kapanması esnasında da gerilim tepe noktasının 800 V değerine ulaştığı görülmüştür.



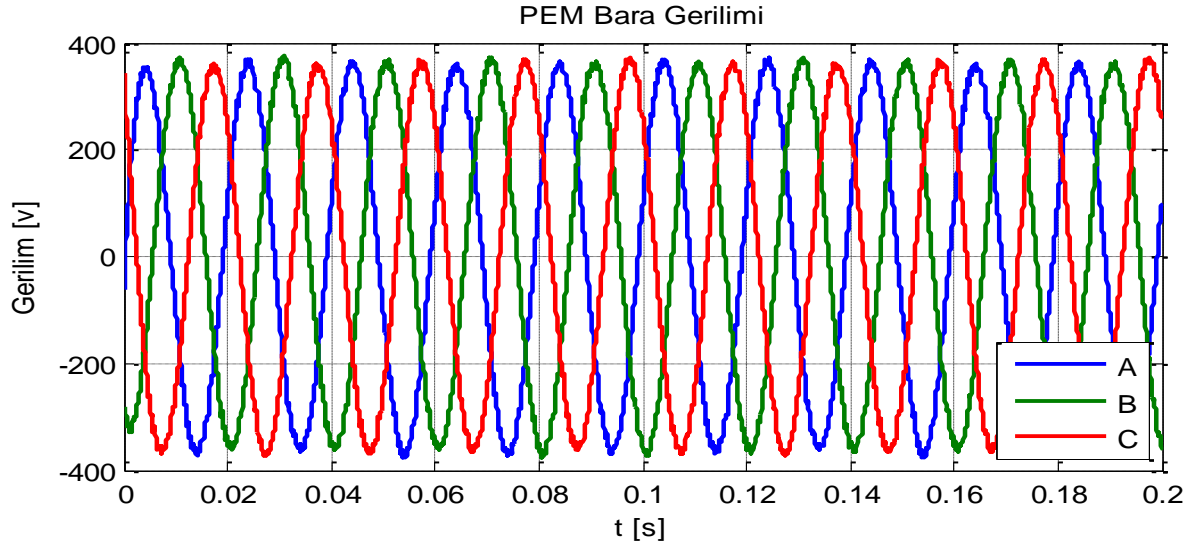
(a) Normal işletme



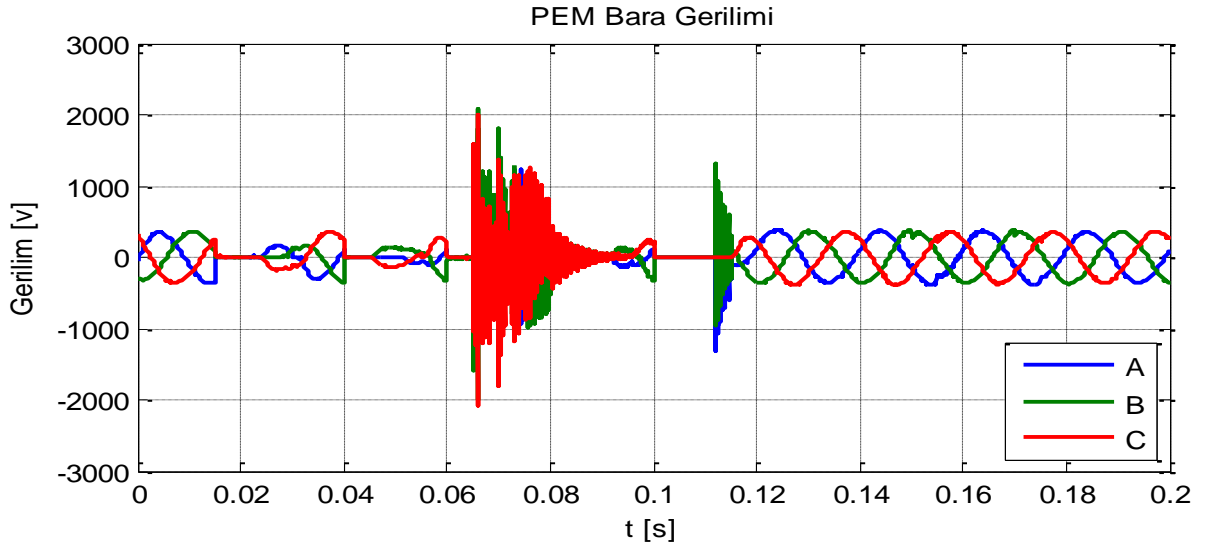
(b) Arıza durumu

Şekil 5.19. PEM YPS bara akımının (a) normal işletme, (b) arıza durumu grafikleri

Sistemin en küçük güçlü kaynağı olan yakıt pili sistemi (YPS) barasının arıza durumları için akım grafikleri incelendiğinde, bara üzerinde oluşan arıza nedeniyle akımın 15 A değerinin üstüne çıktığı, diğer arızalarda ise 15 A değerlerine yakın olduğu tespit edilmiştir.



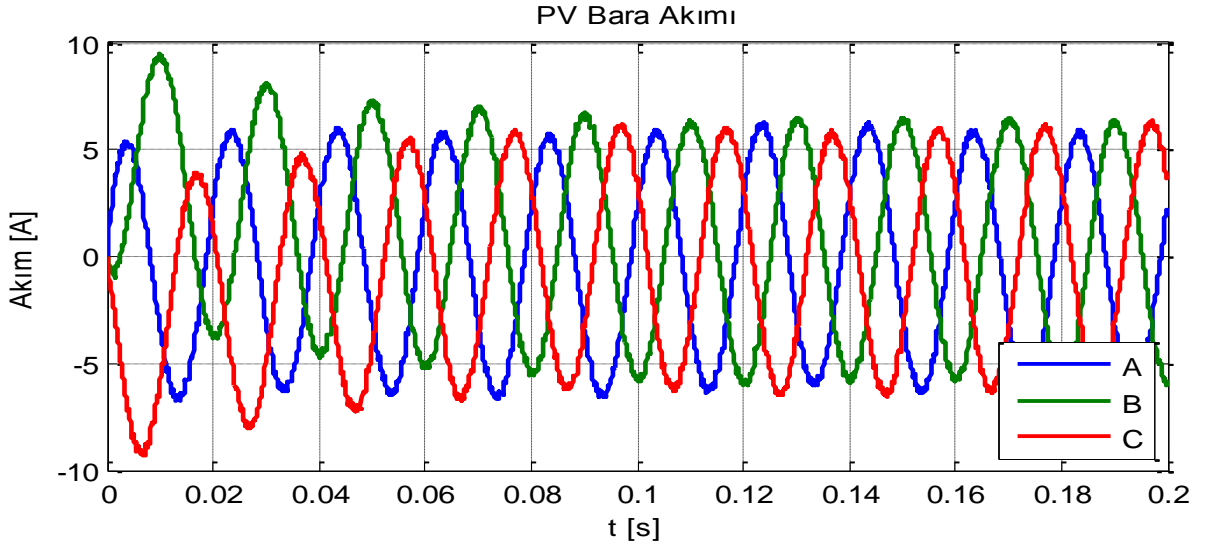
(a) Normal İşletme



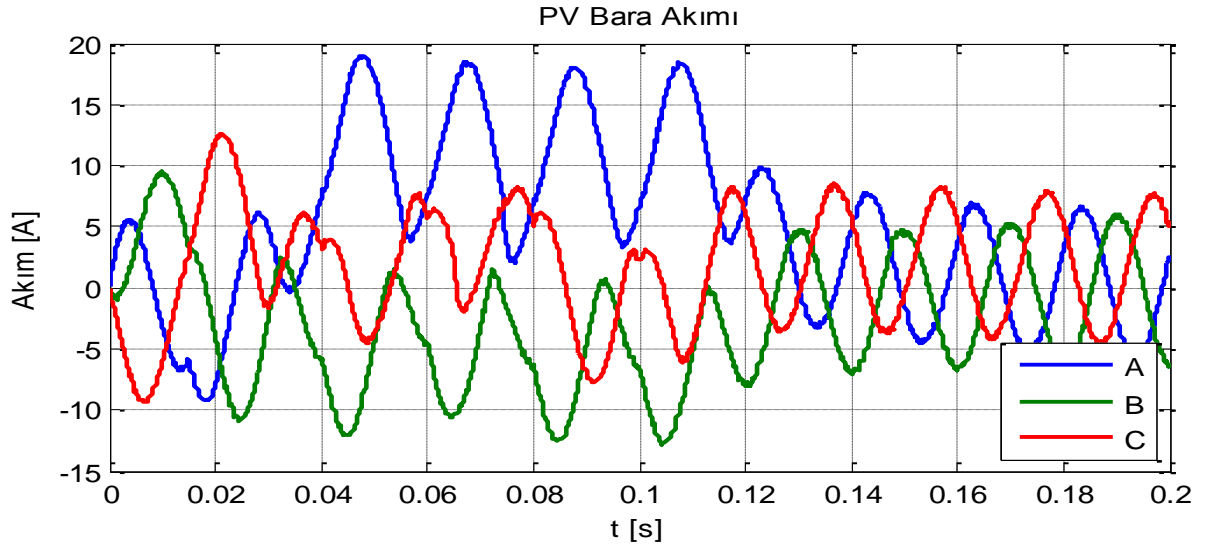
(b) Arıza durumu

Şekil 5.20. PEM YPS bara geriliminin (a) normal işletme, (b) arıza durumu grafikleri

Şekil 5.20'deki gerilim grafikleri, düşük güçlü olan YP sisteminin, meydana gelen tüm kaynak arızalarından diğer baralara göre daha çok etkilendiği sonucuna ulaşılmamasını sağlamıştır.



(a) Normal işletme

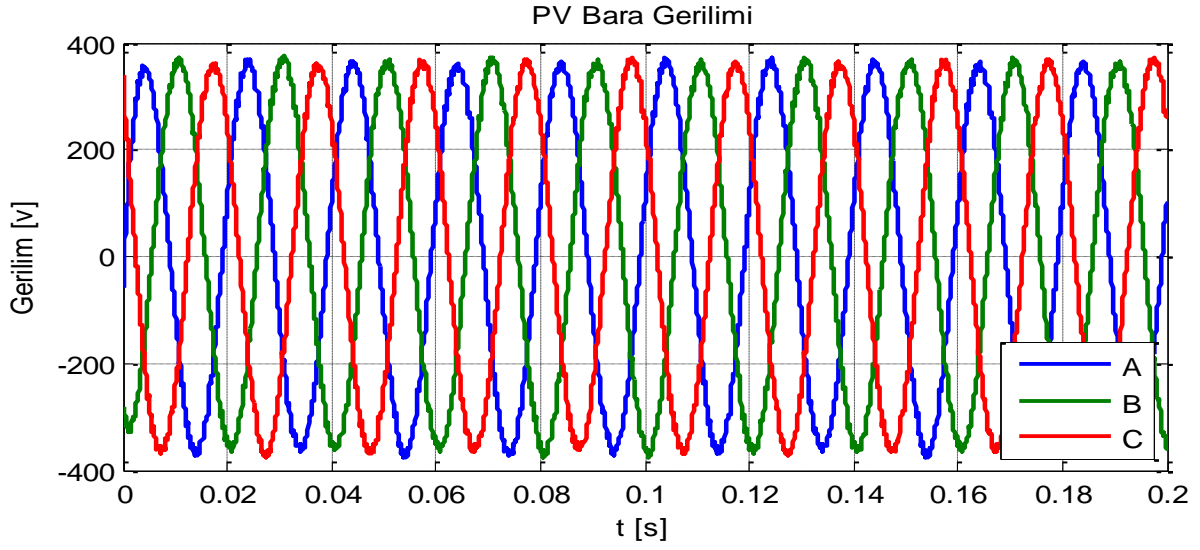


(b) Arıza durumu

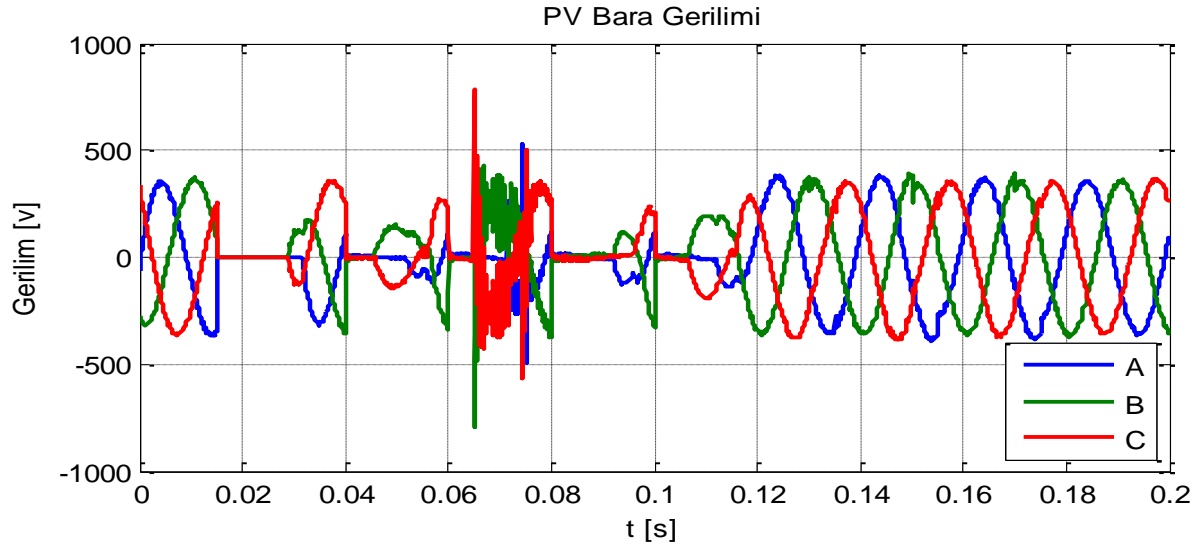
**Şekil 5.21.** PV sistem bara akımının (a) normal işletme, (b) arıza durumu grafikleri

Şekil 5.21’de verilen PV barasının akım grafiğinde, bu baranın arıza durumu tepkisinde diğer baralara göre daha kararlı bir davranış sergilediğini görülmektedir.





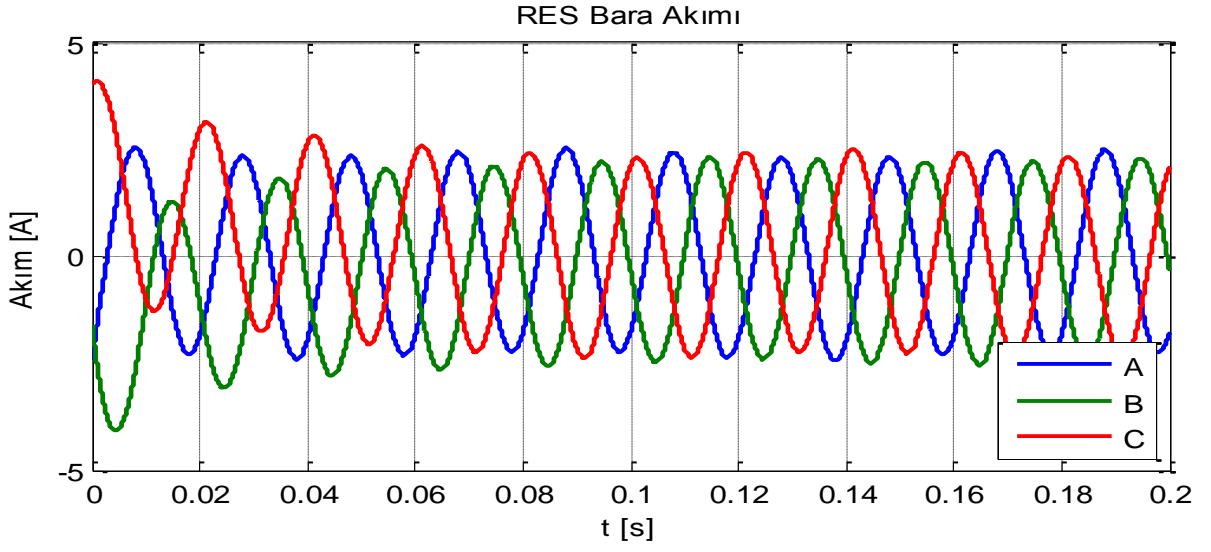
(a) Normal işletme



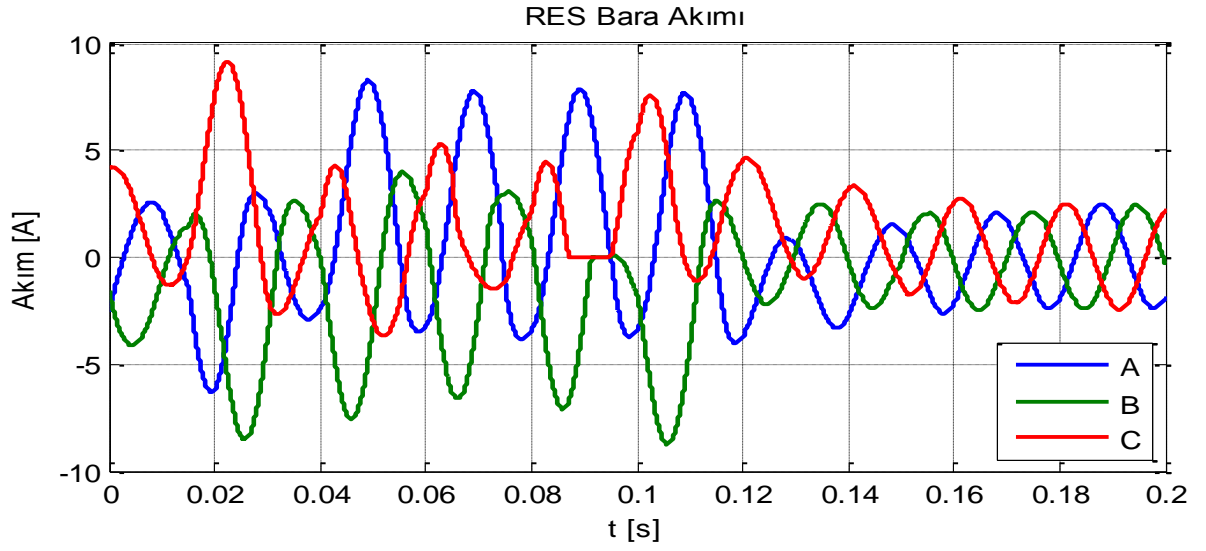
(b) Arıza durumu

Şekil 5.22. PV sistem bara geriliminin (a) normal işletme, (b) arıza durumu grafikleri

Şekil 5.22’de yine benzer şekilde, sistemdeki diğer baralardan farklı olarak gerilim tepe değeri olarak en fazla 750 V seviyesine ulaştığı görülmüştür. Bu durum PV üretim sisteminin kararlılığının fazla olduğu görüşünü doğurmaktadır.



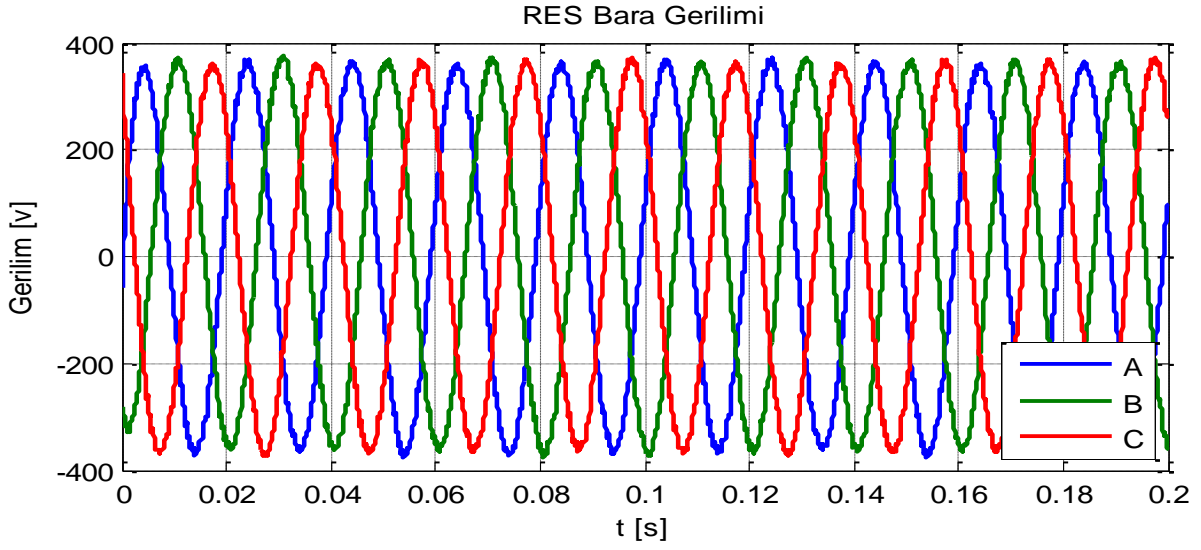
(a) Normal işletme



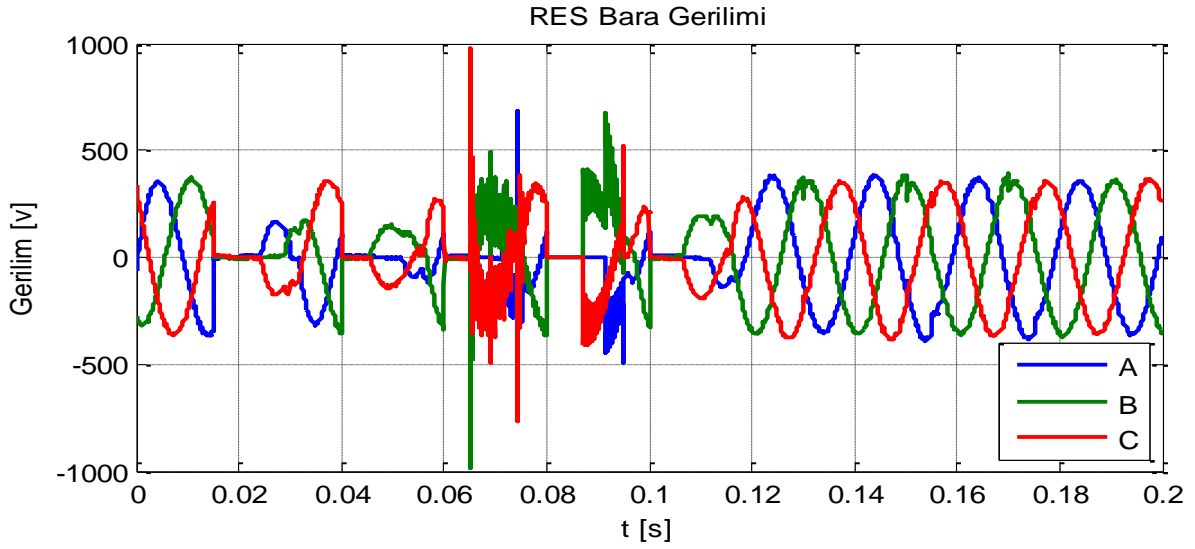
(b) Arıza durumu

Şekil 5.23. RES bara akımının (a) normal işletme, (b) arıza durumu grafikleri

PV barasının gerilim kararlılığının benzeri durum RES barasında akım kararlılığı olarak tespit edilmiştir. Bu durum Şekil 5.23'te görülebilmektedir.



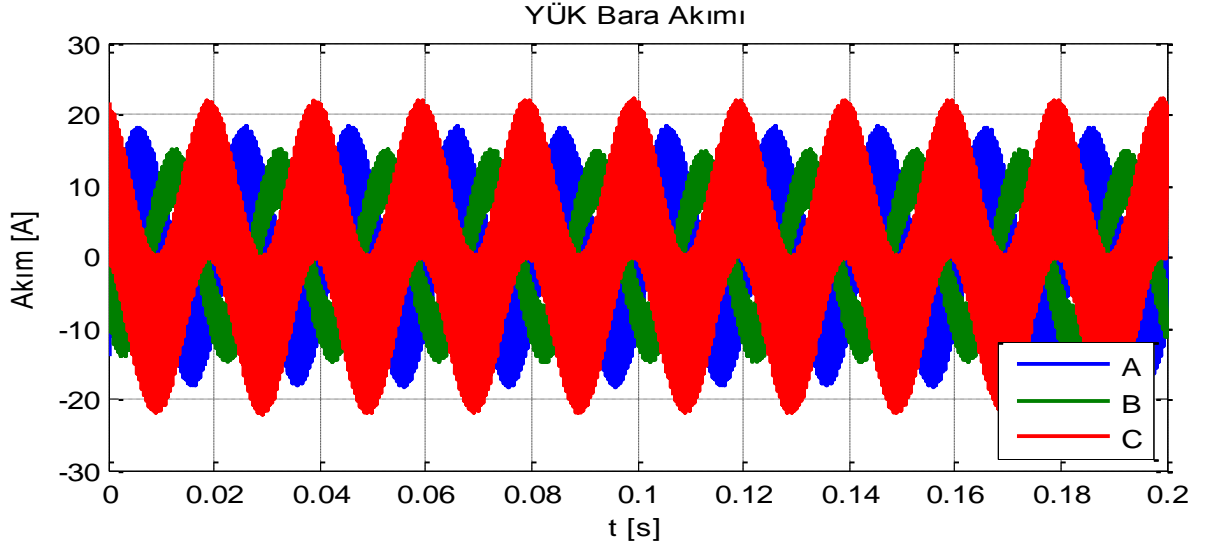
(a) Normal işletme



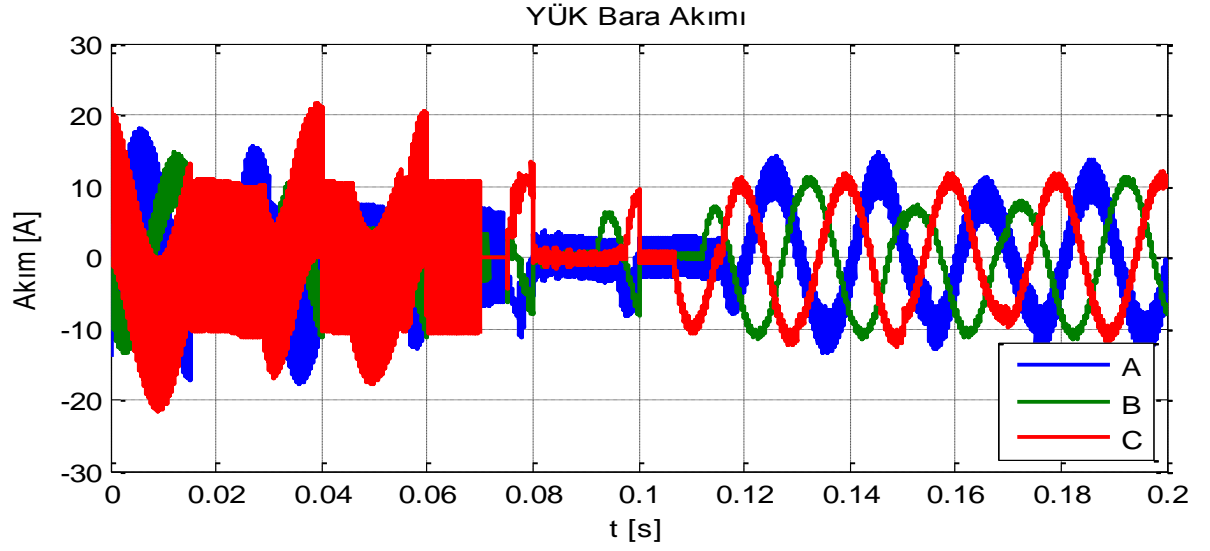
(b) Arıza durumu

**Şekil 5.24.** RES bara geriliminin (a) normal işletme, (b) arıza durumu grafikleri

RES barası akım kararlılığı, gerilim değerinde sağlanamamıştır. Özellikle ani yük atılması esnasında bara geriliminin nominal gerilimin 2.5 katı değerlerine ulaştığı görülmüştür. Dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta, hat arızası durumunun RES barasına yakın olması nedeniyle bara geriliminin söz konusu arıza durumunda sıfır değerine yakın bir değerde seyretmesidir.



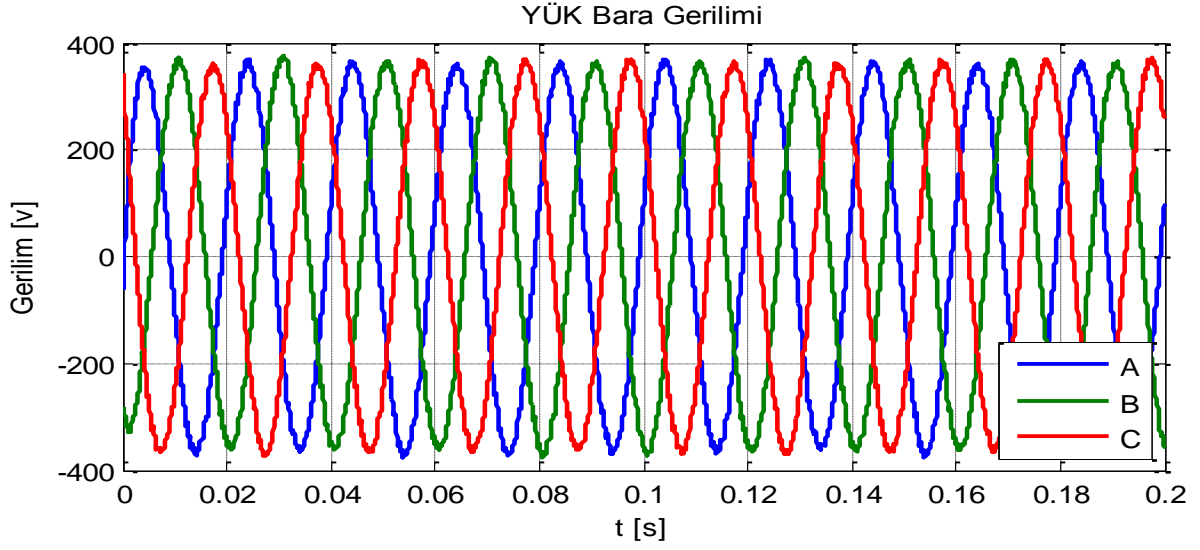
(a) Normal işletme



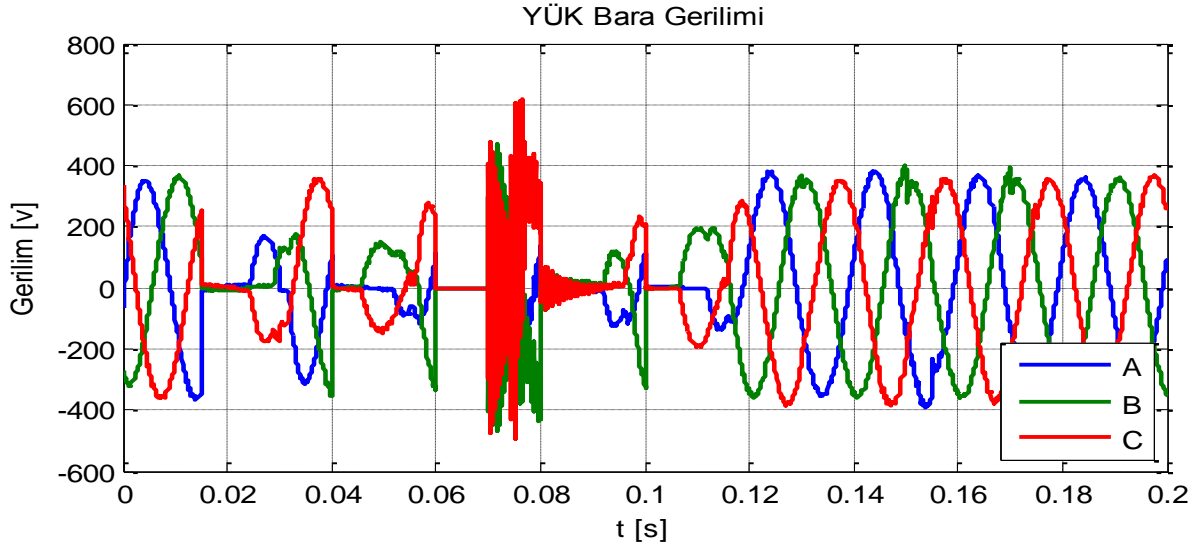
(b) Arıza durumu

Şekil 5.25. Yük barası akımının (a) normal işletme, (b) arıza durumu grafikleri

Şekil 5.25'den de görüleceği üzere, sistemde oluşan her arızada yük barası akım değerlerinde bozulma olmaktadır. Bu durum yük barası akımlarının sistemdeki en hassas parametre olduğunu göstermektedir.



(a) Normal işletme

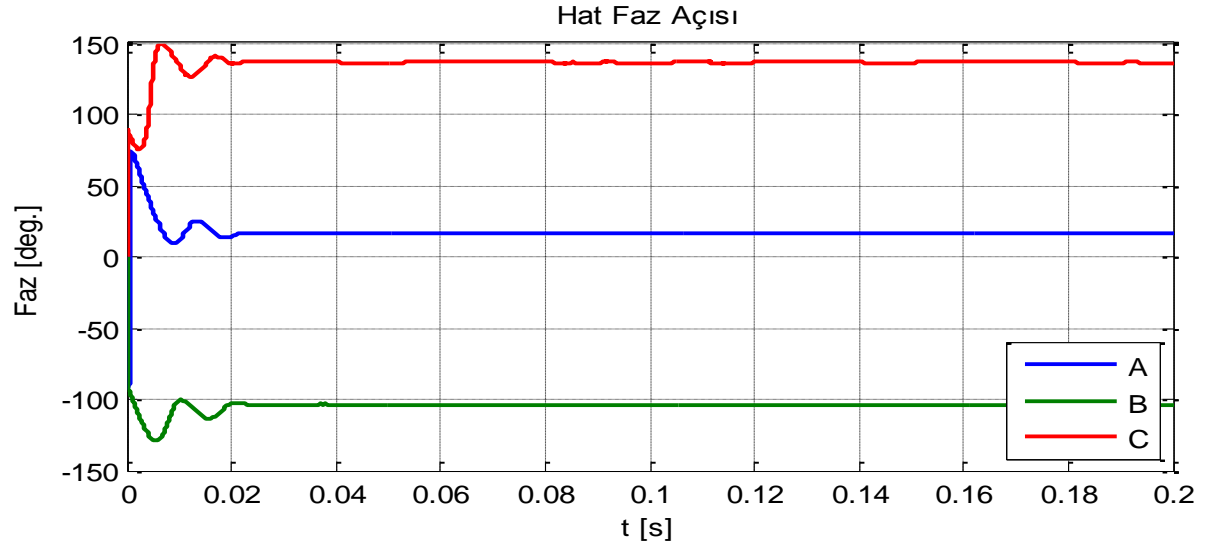


(b) Arıza durumu

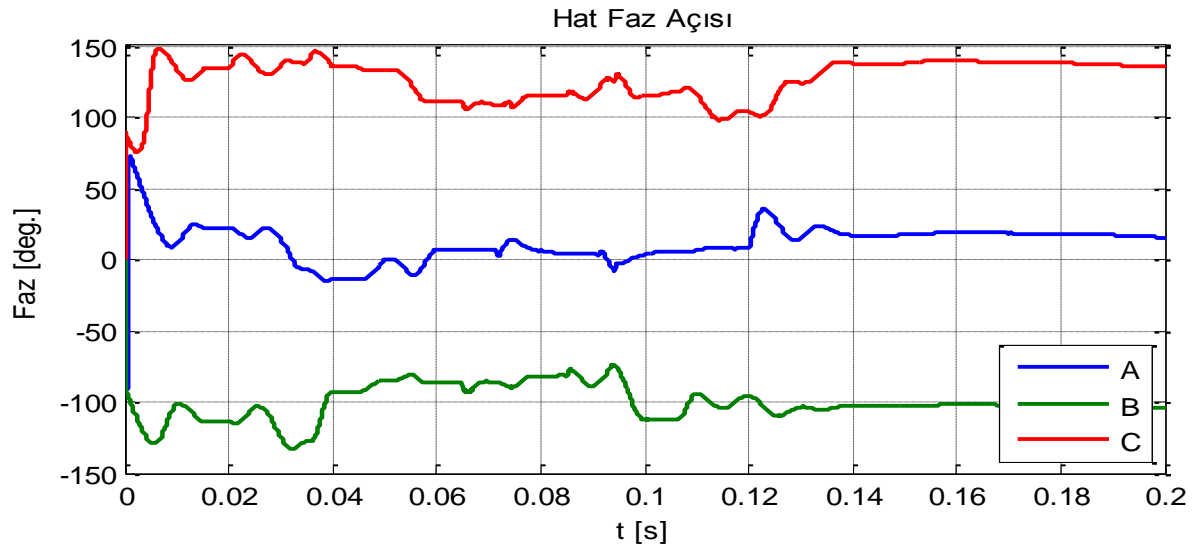
Şekil 5.26. Yük barası geriliminin (a) normal işletme, (b) arıza durumu grafikleri

Şekil 5.26'da verilen yük barasının gerilim grafiklerinde ise, yük barasının arızası ve daha sonra kesicisinin açılıp kapanması sırasında bara geriliminin 600 V değerinin üstüne çıktığı ancak diğer arıza durumlarında bara geriliminde sıçramalar olmadığı tespit edilmiştir.

Şekil 5.27'deki hat faz açısı ve Şekil 5.28'deki hat gerilim genliği grafikleri, arıza durumlarında bu iki parametrenin kararsız duruma geçtiklerini göstermektedir.

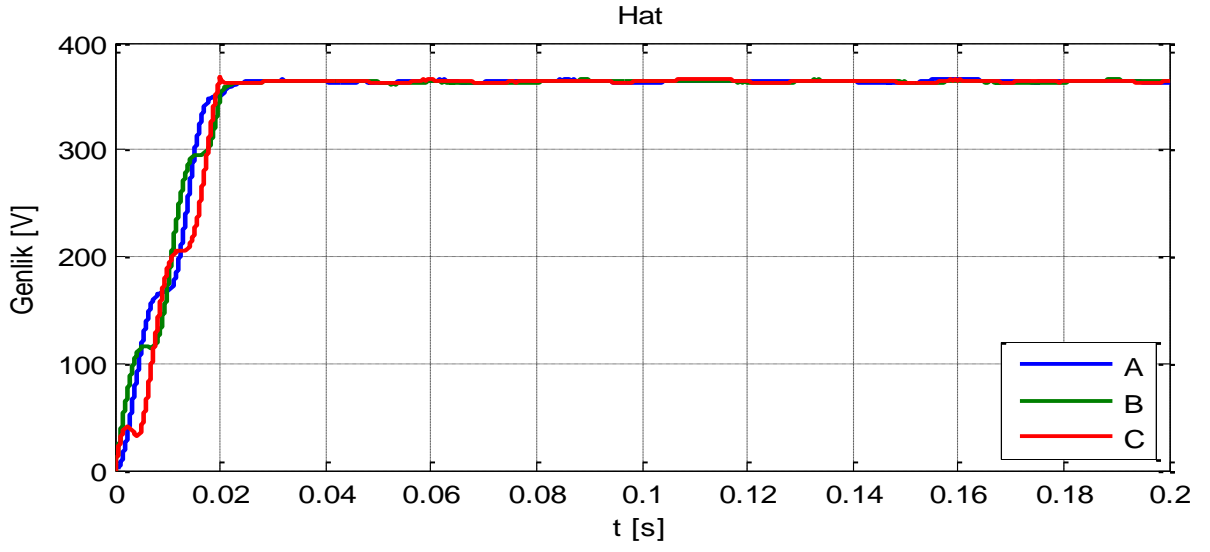


(a) Normal işletme

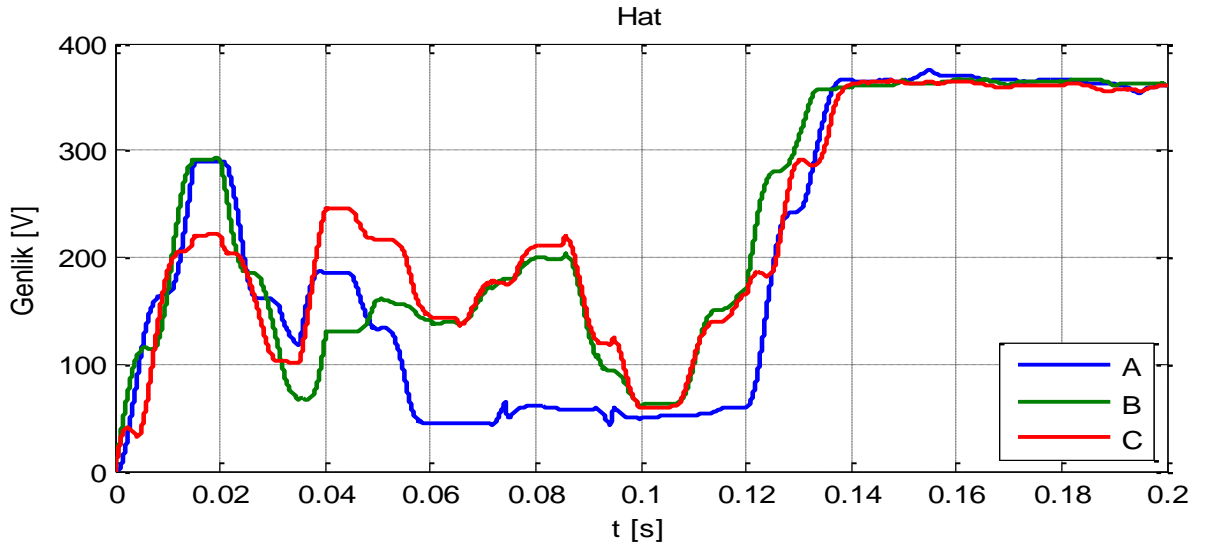


(b) Arıza durumu

Şekil 5.27. Hat faz açısının (a) normal işletme, (b) arıza durumu grafikleri



(a) Normal işletme

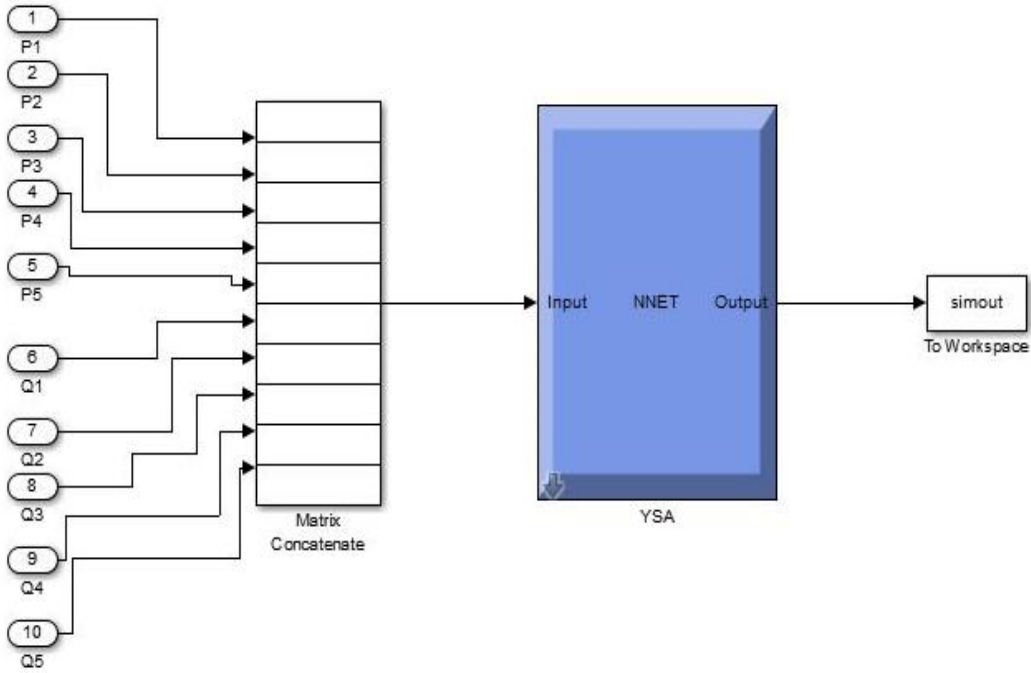


(b) Arıza durumu

Şekil 5.28. Hat gerilimi genliğinin (a) normal işletme, (b) arıza durumu grafikleri

### 5.3.1. Tekil Arıza Durumunda Online Güç Akış Analizi

Sistem adalanmış durumda çalışırken yük barasının 0.03 ile 0.08'inci saniyeler arasında devre dışı kaldığı varsayılmış, yük barasının devre dışı kaldığı durumda tasarlanan YSA ile yapılan güç akış analizi sonucu tabloda verilen değerlere ulaşılmıştır. Sistemden alınan veriler YSA'ya online olarak verilmiş ve bunun sonucunda anlık sonuçlar alınmıştır. Veri sayısındaki fazlalık nedeniyle arıza oluştuğu anda, arızanın ortasında ve arızanın sonundaki değerler tabloda verilmiştir. Online çalışma yapılırken Şekil 5.29'da blok yapısı verilen YSA mikro şebekeye eklenmiş ve verilerin anlık olarak YSA'ya aktarılması sağlanmıştır.



Şekil 5.29. Online çalışma için oluşturulan YSA bloğu

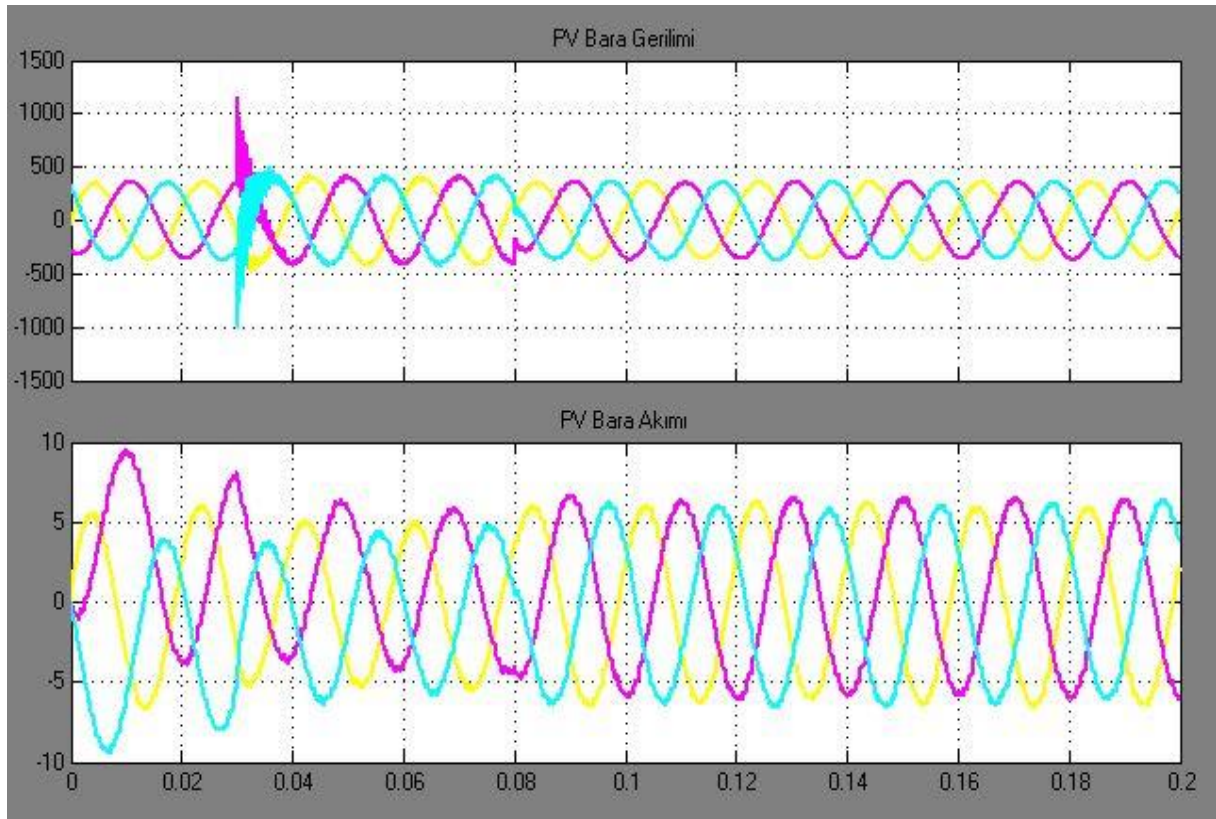
Bu şekilde P parametreleri her bir baranın aktif gücünü, Q parametreleri ise reaktif gücünü temsil etmektedir. Buna göre güç akış analizi sonuçları Tablo 5.7'de verildiği şekilde olacaktır. YSA ile güç akış analizinde, daha önce de belirtildiği üzere salınım barası belirleme ihtiyacı olmadığından tüm baralara ait analiz sonuçları elde edilebilmektedir.



**Tablo 5.7.** Yük barası arızası durumunda YSA ile elde edilen güç akış analizi sonuçları

	Arıza Başlangıcı		Arıza Ortası		Arıza Sonu	
	Gerilim	Açı	Gerilim	Açı	Gerilim	Açı
<b>PV</b>	1.3122	-3.462	0.9813	-0.2105	0.9493	-1.1726
<b>Mikro HES</b>	1.3312	-2.216	0.9826	-0.1912	0.9501	-1.1832
<b>PEM</b>	1.2703	-2.897	0.9816	-0.2034	0.9608	-1.2103
<b>RES</b>	1.3233	-3.0154	0.9809	-0.1989	0.9496	-1.1912
<b>Yük</b>	1.4373	-0.1847	0	0	0.9619	-1.2462

Örnek olarak PV barasının gerilim ve akım grafikleri Şekil 5.30’da verilmiştir.



**Şekil 5.30.** Yük barası arızasında PV barasının akım ve gerilim grafikleri

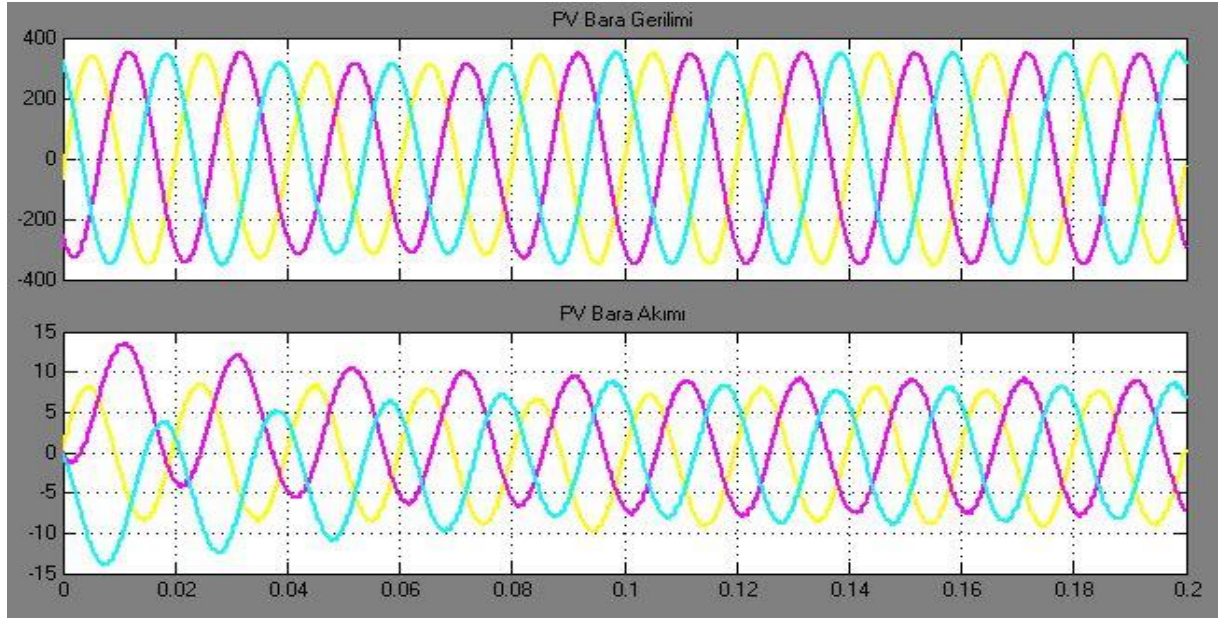
### 5.3.2. Şebeke Bağlantılı Durumda Güç Akış Analizi

Şebeke bağlantılı durum için Tablo 5.8’de gösterilen bileşen büyüklükleri dikkate alınarak analizler gerçekleştirilmiştir.

**Tablo 5.8.** Şebeke bağlantılı durum için kaynaklar ve yüklerin özellikleri

Sistem Bileşeni	Bağlı Olduğu Bara	Gücü
Şebeke	PEM Barası	35000 VA
PV Sistem	PV Barası	2000 W
Rüzgâr Enerjisi Sistemi	RES Barası	3000 VA
Yakıt Pili Sistemi	PEM Barası	500 W
Mikro HES	HES Barası	10000 W
Yük 1	PV Barası	2000 W, 600 VAR
Yük 2	HES Barası	12000 W
Yük 3	RES Barası	6000 W
Yük 4	Yük Barası	12000 W
Yük 5	Yük Barası	8000 W
Yük 6	Yük Barası	10000 W

Sistem şebeke bağlantılı durumda çalışırken Mikro HES barasının 0.03 ile 0.08'inci saniyeler arasında devre dışı kaldığı varsayılmış, yük barasının devre dışı kaldığı durumda tasarlanan YSA ile yapılan güç akış analizi sonucu Tablo 5.9'da verilen değerlere ulaşılmıştır. Bu analizde benzer şekilde sistemden alınan veriler YSA'ya online olarak verilmiş ve anlık sonuçlar alınmıştır. Toplam üretimin yaklaşık %20'sini oluşturan HES barasındaki arıza sonucunda PV barasının akım ve gerilim grafikleri şekilde verilmiştir.



**Şekil 5.31.** HES barası arızasında PV barasının akım ve gerilim grafikleri

Yük barası arızasından farklı olarak, Mikro HES bir üretim kaynağı olduğundan baradan çekilen akım sıfır olmakla birlikte bara üzerinde gerilim mevcut olacaktır. Bu nedenle kesintinin başında, ortasında ve sonunda, analiz sonucunda Mikro HES barasında gerilim değeri okunabilecektir.

**Tablo 5.9.** HES barası arızası durumunda YSA ile elde edilen güç akış analizi sonuçları

	Kesinti Başlangıcı		Kesinti Ortası		Kesinti Sonu	
	Gerilim	Açı	Gerilim	Açı	Gerilim	Açı
<b>PV</b>	0.9388	-1.1462	0.9313	-1.1210	0.9463	-1.1613
<b>Mikro HES</b>	1.3619	-2.2216	1.3626	-2.2193	0.9401	-1.1723
<b>PEM</b>	0.9407	-1.1397	0.9379	-1.1334	0.9408	-1.1381
<b>RES</b>	0.9495	-1.1154	0.9486	-1.1124	0.9496	-1.1143
<b>Yük</b>	0.9554	-1.1847	0.9532	-1.1798	0.9579	-1.1922

Bu sonuçlar, şebeke bağlantılı mikro şebekelerin herhangi dağıtık kaynaklarından birinde oluşabilecek arıza durumlarında şebekenin bu arızalar sonucunda oluşacak bozulmaları karşılayabileceği sonucunu ortaya koymaktadır.

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 6.1. Sonuçlar

Elektrik enerjisi ihtiyacı günden güne ivmelenerek artmaktadır. Bu artışın yanında hassas yüklerin sayısının artması, sağlanacak enerjinin kaliteli ve kesintisiz olmasını zorunlu kılmaktadır. Hassas yüklerin şebeke bağlantılı olması, şebekede oluşacak arızalardan çok fazla etkilenmelerine neden olmaktadır. Kaliteli, kesintisiz enerji sağlanabilmesi ve hassas yüklerin korunması amacıyla mikro şebekeler kurulmaya başlanmıştır. Özel bölgeler için kolayca uygulanabildikleri, kaliteli ve kesintisiz enerji sağlayabildikleri ve akıllı şebekelere geçişe alt yapı oluşturdukları için mikro şebekelerin dünyada kullanımı yaygınlaşmaktadır.

Mikro şebekeler, kritik yüklerin enterkonnekte şebekede oluşacak kesinti ve arızalardan en az düzeyde etkilenmesi amacıyla kurulmaya/kullanılmaya başlanan ve güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, hidrojen enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları ile klasik enerji üretim santrallerinin entegrasyonu sonucu oluşturulan hibrit yapılardır. Bu şebekeler yalnızca kritik yükler için değil aynı zamanda günlük hayatta kullanılan sistemlerin çalışmalarına devam edebilmeleri için alternatif bir yöntem olarak sunulabilir. Mikro şebekelerin en temel özelliklerinden biri, beklenmedik kesintiler durumunda kurulu olduğu bölgeyi enerjilendirmeye devam edebilmeleridir. Özel bölgelerin enerjilendirilmesi amacıyla kolayca uygulanabildikleri, kaliteli ve kesintisiz enerji sağlayabildikleri için mikro şebekelerin kullanımı hızla artmaktadır. Çeşitli enerji üretim kaynakları ve yükler içermesi nedeniyle bu tip sistemlerin, büyük güç sistemlerindeki gibi farklı çalışma ve yük değişimi durumlarına ilişkin analizinin yapılması zorunlu bir hal almıştır. Mikro şebekeler çok büyük güçlerde üretim kaynakları içermedikleri ve yapıları gereği sonsuz bara kavramı söz konusu olmadığından, bu tip sistemlerde güç akışı analizi, baraların güvenli çalışma aralığında tutulabilmesi açısından en önemli analizlerden biridir.

Tezin ilk bölümlerinde detaylıca bahsedildiği üzere gerek büyük güç sistemlerinde ve gerekse mikro şebekelerde güç akış analizi hesaplamaları, hedeflenen yakınsaklık değerine ulaşılan kadar çok fazla sayıda lineer ve lineer olmayan denklem takımlarının çözümünü gerektirmektedir. Lineer denklem takımlarının çözümü göreceli olarak daha kolay olmakla birlikte lineer olmayan denklemlerin çözülmesi zaman kaybına yol açmakta, ayrıca sisteme eklenen her bir kaynak ya da yük barasından sonra bu çözümlerin tekrarlanması

gerektiğinden iş gücü yoğunluğuna neden olmaktadır. Yapay sinir ağları, lineer olmayan denklemlerin çözümlerini öğrenebilen, eğitim ve öğrenme sürecinin ardından çalışma esnasında herhangi bir giriş değeri için doğru çıkış değeri verebilen akıllı sistemlerdir. Bu tez çalışmasında YSA'ların ana kullanım amacı olan lineer olmayan denklem sistemlerini çözebilme yeteneği kullanılmıştır. Literatürde büyük güç sistemlerinin çeşitli akıllı sistemlerle güç akış analizinin yapıldığı çalışmalar bulunmakla beraber çok fazla geçmiş olmayan mikro şebekeler ile ilgili YSA temelli güç akış analizi yeni bir çalışma konusudur.

Bu tez çalışmasında, bir mikro şebekenin tasarlanan yapay sinir ağı ile güç akışı analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, aynı sistemin klasik Gauss-Seidel yöntemi temelli yazılımsal çözümü ile analizi yapıldığı zaman ortaya çıkan sonuçlar ile karşılaştırılarak yapay sinir ağının başarısı incelenmiştir. Çalışmada kullanılan YSA tasarlanırken literatürde kullanılan ve araştırmacıların en çok tercih ettiği eğitim ve transfer fonksiyonu algoritmaları ayrı ayrı denenmiştir.

Transfer fonksiyonları olarak, denenen yöntemler arasında en başarılı sonucu veren tansig ve purelin fonksiyonları kullanılmıştır. Bunlardan tansig gizli katman, purelin ise çıkış katmanı için kullanılmıştır. YSA'nın eğitimi için denenen yöntemler arasında en iyi sonuca ulaşılmasını sağlayan "trainbr" eğitim algoritması kullanılmıştır.

Güç akış analizinin yanında mikro şebekenin farklı işletme koşullarındaki davranışlarını da belirlemek amacıyla sistemin çeşitli noktalarında arızalar oluşturulmuş ve kaynakların devreden çıkarılıp devreye alınması sağlanarak meydana gelen değişimler akım, gerilim, genlik ve faz açısı grafikleri üzerinden incelenmiştir. Grafiklerden mikro şebeke davranışı ile ilgili şu sonuçlara ulaşılmıştır:

- Sistemdeki büyük kaynaklarda oluşan arızalar, sistemin bütünü üzerinde kaynak gücünün büyüklüğü ile doğru orantılı olarak etki oluşturmaktadır.
- Küçük yüklerin ayrı ayrı devreden çıkması sistemi çok fazla etkilememekle beraber yük atma olarak tanımlanabilecek yük barası arızası ve sonrasında da bara kesicisinin açmasıyla diğer baralarda geçici kararsızlık durumu ortaya çıkmış ve özellikle bara gerilimleri anma geriliminin 2.5 katı kadar tepe değerlerine ulaşmıştır.

Özellikle halka şebeke yapısında tasarlanan mikro şebekede sistem bileşenleri, herhangi bir noktada oluşan arızadan doğrudan etkilenmektedir. Bu durum, ek güvenlik önlemlerinin

alınmasını zorunlu kılmaktadır. Güç sistem planlamacılarının ve araştırmacıların sistem güvenliği açısından bu durumlara uygun koruma elemanlarını kullanmaları zorunludur.

Bu tez çalışmasında önerilen yöntem kullanılarak, yenilenebilir enerji kaynaklarının oluşturduğu mikro şebekelerin tasarımında büyük öneme sahip olan güç akışı analizinin iteratif yöntemlere gerek kalmadan yapılabilmesi sağlanmıştır. Ayrıca bu çalışma, geliştirilen yöntem yardımıyla, mikro şebekelerde güç akış analizinin online yapılabileceği ve sonuçların anlık izlenebileceği de göstermiştir. Özellikle dağıtık üretim sistemleri ve fazla sayıda baradan oluşan sistemlerin analizinde bu yöntem, planlamanın çok daha çabuk yapılabilmesini sağlayacaktır. Bununla birlikte önerilen yöntemde salınım barası belirleme ihtiyacı da ortadan kalkmıştır. Bu durum başlangıç koşulları tahmininde ortaya çıkabilecek hataların engellenmesinde önemli bir rol oynayacaktır.

## 6.2. Öneriler

Bu tez çalışmasında önerilen yöntemin alışlagelmiş güç sistemlerinde uygulanması konusunda, söz konusu sistemlerin çok fazla sayıda parametre içermesi nedeniyle özellikle YSA'nın eğitimi aşamasında zorluklar ortaya çıkabilecektir. Ancak daha az sayıda kaynak ve yükler içeren mikro şebekelerde bu yöntem kolayca uygulanabilecek ve anlık güç akış analizi yapılarak bara gerilim genlik ve açıları sürekli olarak kontrol edilebilecektir.

Bu çalışmanın devamı olarak, Matlab/Simulink platformunda tasarlanan bu mikro şebekenin gerçek modelinin pratik olarak gerçekleştirilmesi önerilmektedir. Öncelikle pratik sistem davranışlarının nasıl olduğu gözlenerek, benzetim sistemi varsa olası hatalardan arındırılarak paket program halinde mikro şebeke konusunda çalışan araştırmacıların kullanımına sunulabilir. Ayrıca, YSA temelli güç akışı analizi için tasarlanan yazılım bir sayısal işaret işleme kartına yüklenerek, oluşturulan bu şebekenin gerçek zamanlı ve sürekli güç akışı analizinin yapılması sağlanabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] **Del Carpio Huayllas, T.E., Ramos, D.S. and Vasquez-Arnez, R.L.**, 2010. Microgrid Systems: Current Status and Challenges, *Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America (T&D-LA)*, Sao Paulo, 8-10 November 2010, 7-12.
- [2] **Lidula, N.W.A. and Rajapakse A.D.**, 2011. Microgrids Research: A Review of Experimental Microgrids and Test Systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **15**, 186–202.
- [3] **Köse G.**, 2010. Hibrit (Güneş +Rüzgar) Enerji Sisteminden Elektrik Üretimi: Kütahya Örneği, *Yüksek Lisans Tezi*, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- [4] **Castillo-Cagigal M., et.al**, 2011. A Semi Distributed Electric Demand-Side Management System with PV Generation for Self-Consumption Enhancement, *Energy Conversion and Management*, **52**, 2659–2666.
- [5] **Mengi O.Ö. ve Altaş D.H.**, 2008. AA ve DA Yüklerini Besleyen PV/Akü Grubunun Matlab/Simulink Ortamında Modellenmesi ve Simülasyonu, *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Müh. Sempozyumu ELECO*, Bursa, 26-30 Kasım.
- [6] **Gümüş, B., Erdoğan, H., Efe, S.B., Gümüş, R.**, 2013. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Otopark Alanının Aydınlatılmasında Kullanılan Fotovoltaik Sistemin Performans Analizi, *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, Girne, KKTC, 4-5-6 Ekim.
- [7] **Rodriguez J. R., Ruiz F., Biel D. and Guinjoan F.**, 2010. Simulation and Analysis of Distributed PV Generation in a LV Network Using Matlab-Simulink, *Proceedings of IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)*, Paris, May 30 – June 2, 2322 – 2325.
- [8] **Sağlam Ş., Ekren N. and Erdal H.**, 2010. Controlling of Grid Connected Photovoltaic Lighting System with Fuzzy Logic, *Solar Energy*, **84-2**, 256-262.
- [9] **Toprak A.**, 2011. Düşük güçlü Bir Rüzgar Enerji Sistemi İçin İnverter Uygulaması, *Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu*, Elazığ, 5-7 Ekim.
- [10] **Dursun, E. ve Binark, K.**, 2008. Rüzgar Türbinlerinde Kullanılan Generatörler, *7.Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu UTES'2008*, İstanbul, 17-19 Aralık.
- [11] **Hussein, M., Orabi, M., Amed, M. and Sayed, M.**, 2010. Simple Sensorless Control Technique of Magnet Synchronous Generator Wind Turbine, *IEEE International Conference On Power And Energy (PECon 2010)*, Malaysia, Nov 29 Dec 1.
- [12] **Li, S., Timothy, A. and Xu, L.**, 2010. Conventional and Novel Control Designs for Direct Driven Permanent Magnet Synchronous Generator Wind Turbines, *Electric Power Systems Research*, **80**, 328-338.

- [13] **Longatt, F., Terzija, V.**, 2011. A Simplified Model for Dynamic Behavior of Permanent Magnet Synchronous Generator for Direct Drive Wind Turbines, *IEEE Trondheim PowerTech*, Trondheim, June 19-23, 1-7.
- [14] **Kim, H., Kim, S. and Ko, H.**, 2010. Modelling and Control of Permanent Magnet Synchronous Generator Based Variable-Speed Wind Turbine, *Electric Power Systems Research*, **80**, 46-52.
- [15] **Gao, W., Zheglov, V., Wang, G. and Mahajan, S.M.**, 2009. PV - Wind - Fuel Cell - Electrolyzer Micro-Grid Modeling and Control in Real Time Digital Simulator, *IEEE International Conference on Clean Electrical Power*, Capri, June 9-11, 29-34.
- [16] **Kamalasadan, S. and Tanton, C.M.**, 2010. Modeling and Simulation of PEM Fuel Cell Generator as a Micro Grid, *IEEE Industry Applications Society Annual Meeting (IAS)*, Houston, USA, October 3-7, 1-8.
- [17] **M.Y. El-Sharkh, A. Rahman, M.S. Alam, A.A. Sakla, P.C. Byrne and T. Thomas**, 2004. Analysis of Active and Reactive Power Control of a Stand-alone PEM Fuel Cell Power Plant, *IEEE Transactions on Power Systems*, **19-4**, 2022-2028.
- [18] **M. A. Laughton**, 2002. Fuel cells, *Power Eng. J.*, **16-1**, 37-47.
- [19] **Um S., Wang C.Y., Chen K. S.**, 2000. Computational Fluid Dynamics Modeling of Proton Exchange Membrane Fuel Cell, *Journal of Power Electrochemical Society*, **147-12**, 4485-4493.
- [20] **Uzunoglu M. and Alam M.S.**, 2006. Dynamic Modeling, Design, and Simulation of a Combined PEM Fuel Cell and Ultracapacitor System for Stand-alone Residential Applications, *IEEE Trans. on Energy Conv.*, **21-3**, 767-775.
- [21] **El-Sharkh M.Y., Rahman A. and Alam M.S.**, 2004. Neutral Network-based Control of Active and Reactive Power of a Stand-alone PEM Fuel Cell Power Plant, *Journal of Power Sources*, **135**, 88-94.
- [22] **Da Costa V.M. and Rosa A.L.S.**, 2008. A Comparative Analysis of Different Power Flow Methodologies, *Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America*, Bogota, August 13-15.
- [23] **Li, Y., Luo Y., Zhang B., Mao C.**, 2011. A Modified Newton-Raphson Power Flow Method Considering Wind Power, *Power and Energy Engineering Conference (APPEEC)*, Wuhan, March 25-28.
- [24] **Li X., Pei J., Zhang S.**, 2010. A Probabilistic Wind Farm Model for Probabilistic Load Flow Calculation, *Power and Energy Engineering Conference (APPEEC)*, Chengdu, March 28-31.
- [25] **Dou C.X., Liu B.**, 2012. Transient control for micro-grid with multiple distributed generations based on hybrid system theory, *Electrical Power and Energy Systems* **42**, 408-417.



- [26] **Abdelaziz M. M. A., et.al**, 2012. A Novel and Generalized Three-Phase PowerFlow Algorithm for Islanded Microgrids using a Newton Trust Region Method, *IEEE Transactions On Power Systems*, **28**, 190-201.
- [27] **Dilek, M., de Leon, F., Broadwater, R., Lee, S.**, 2010. A Robust Multiphase Power Flow for General Distribution Networks, *IEEE Transactions on Power Systems*, **25-2**, 760-768.
- [28] **Wu W.C. and Zhang B.M.**, 2008. A Three-Phase Power Flow Algorithm For Distribution System Power Flow Based On Loop-Analysis Method, *Electrical Power and Energy Systems*, **30**, 8-15.
- [29] **Kamel M. R., Chaouachi A., Nagasaka K.**, 2011. Detailed Analysis of Micro-Grid Stability during Islanding Mode under Different Load Conditions, *Scientific Research Engineering Journal*, **3**, 508-516.
- [30] **Liu X., Wang P., Loh P. C.**, 2010. A Hybrid AC/DC Micro-Grid, *IPEC, Singapore*, October 27-29.
- [31] **Liu Y.H., Wu Z.Q., Lin S.J., Brandon N. P.** 2009. Application of the Power Flow Calculation Method to Islanding Micro Grids, *International Conference on Sustainable Power Generation and Supply, SUPERGEN '09*, Nanjing, April 6-7.
- [32] **Yao S., Wang Y., Hang M., Liu X.**, 2010. Research on Probabilistic Power Flow of the Distribution System with Photovoltaic System Generation, *International Conference on Power System Technology*, Hangzhou, October 24-28.
- [33] **Thomson, M. and Infield, D.G.**, 2007. Network Power-Flow Analysis for a High Penetration of Distributed Generation, *IEEE Transactions On Power Systems*, **22- 3**, 1157-1162.
- [34] **Kumar, N.; Wangneo, R.; Kalra, P.K.; Srivastava, S.C.**, 1991. Application of Artificial Neural Networks to Load Flow Solutions, *IEEE Region 10 International Conference on EC3-Energy, Computer, Communication and Control Systems TENCON '91*, August 28-30.
- [35] **Jain, A.; Tripathy, S.C.; Balasubramanian, R.; Grag, K.; Kawazoe, Y.**, 2004. Neural Network Based Stochastic Load Flow Analysis, *International Conference on Power System Technology, PowerCon*, November 21-24.
- [36] **Chowdhury B.H. and Wilamowski B.M.**, 1992. Fast Power Flow With Capability of Corrective Control Using a Neural Network, *Proceedings of the 35th Midwest Symposium on Circuits and Systems*, Washington, August 9-12.

- [37] **Syafii, Nor, K.M., Abdel-Akher, M.**, 2010. Grid-Connected Photovoltaic Models for Three-Phase Load Flow Analysis, *IEEE International Conference on Power and Energy (PECon2010)*, Kuala Lumpur, November 29-December 1, 544 – 548.
- [38] **Kumar, Y., Dwivedi, K., Agnihotri, G.**, 2009. Development of ANT Algorithm for Load Flow Analysis, *IEEE/PES Power Systems Conference and Exposition*, Seattle, WA, March 15-18.
- [39] **Gajalakshmi P., Rajesh, S.**, 2007. Fuzzy modeling of Power Flow Solution, *29th International Telecommunications Energy Conference, INTELEC*, Rome, September 30- October 4.
- [40] **Obara S., El-Sayed A.G.**, 2009. Compound microgrid installation operation planning of a PEFC and photovoltaics with prediction of electricity production using GA and numerical weather information, *International Journal of Hydrogen Energy*, **34** , 8213–8222.
- [41] **Roy P. and Chakrabarti A.**, 2012. Genetic Algorithm Based Optimal Power Flow Solution for Determination of Spot Pricing of Generators in Deregulated Electricity Environment of a Developing Country, *ACTA ELECTROTEHNICA*, **53-1**, 29-34.
- [42] **Kılıç, I.M.**, 2007. Fotovoltaik Sistem Eğitimi İçin Bir Simulink Araç Kutusu Tasarım ve Uygulaması, *Yüksek Lisans Tezi*, Muğla Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla.
- [43] **Çetin, E.**, 2010. Fotovoltaik - Rüzgâr-Yakıt Pili Hibrit Güç Sistemi İçin Bir Mikro Doğru Akım Dağıtım Şebekesi Tasarlanması, Uygulanması ve Analizi, *Doktora Tezi*, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [44] **Chowdhury S., Chowdhury S.P. and Crossley P.**, 2009. Microgrids and Active Distribution Networks, The Institution of Engineering and Technology, London.
- [45] Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Enerji Raporu, Yayın No: 0021/2012, Ankara, 2012.
- [46] <http://ecee.colorado.edu/ecen2060/matlab.html> ECEN2060Matlab/Simulink materials
- [47] **Barbir, F.**, 2012. PEM Fuel Cells Theory and Practice 2nd Edition, Academic Press, New York.
- [48] **Ural, Z., Gümüş, B., ve Gençoğlu M.T.**, 2007. Bir PEM Yakıt Pili Sisteminin Matlab ile Modellenmesi, *YEKSEM'07 IV.Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, , Gaziantep, 31 Ekim – 2 Kasım, s. 106-112
- [49] **Özdemir M. T., Orhan A. ve Cebeci M.**, 2011. Çok Küçük Hidrolik Potansiyellerin Enerji Üretim Amacı ile Yerel İmkânlarla Değerlendirilmesi, *Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu*, Elazığ, 5-7 Ekim.

- [50] **Gabriele, S.H.**, 1998. Optimization of Hybrid Energy Systems Sizing and Operation Control, *PhD Thesis*, University of Kassel, Germany.
- [51] T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Faaliyet Raporu, Ankara, 2012.
- [52] <http://www.mathworks.com> Matlab/Simulink SimPowerSystems Kaynakları.
- [53] **Lynn P.**, 2005. Power System Load Flow Analysis, McGraw-Hill Press, New York.
- [54] **Ünal, S.**, 2009. Sürekli Mıknatıslı Senkron Motorlarda Yapay Sinir Ağları Kullanarak Algılayıcısız Konum Tahmini, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [55] **Ou T.C., et.al**, 2013. A Novel Power Flow Analysis for Microgrid Distribution System, *IEEE 8th conference on Industrial Electronics and Applications*, Melbourne, June 19-21, 1550 – 1555.

## EKLER

### EK 1. Yazılımlar

#### Ek 1.1. Hat Parametrelerinin Yazılıma Tanımlanması için Alt Program

```
function linedata = linedata5()

%      |Baradan| Baraya | R | X | B |
%
linedata = [ 1      2      0.01273 0.0093  0.002;
            1      4      0.01273 0.0093  0.002;
            2      3      0.01273 0.0093  0.002;
            3      5      0.02546 0.0186  0.004;
            4      5      0.00636 0.000465 0.001;
            ];
```

#### Ek 1.2. Bara Admitans ve Bara Empedans Matrislerinin Oluşturulması için Alt Program

```
function ybus = ybus()

linedata = linedata5();           %Hat verileri çağırılıyor
fb = linedata(:,1);              %Baradan
tb = linedata(:,2);              %Baraya
r = linedata(:,3);               %Rezistans, R
x = linedata(:,4);               %Reaktans, X
b = linedata(:,5);               %Yere Gore Admitans, B
z = r + 1i*x;                    %Z Matrisi
y = 1./z;                        %Her elemanın inversi alınıyor
b = 1i*b;                         %B imajiner hale getiriliyor

nbus = max(max(fb),max(tb));      %Bara sayısı
nbranch = length(fb);            %Hat sayısı
ybus = zeros(nbus,nbus);         %YBara oluşturuluyor

%Köşegen Olmayan Elemanların Oluşturulması

for k=1:nbranch
    ybus(fb(k),tb(k)) = -y(k);
    ybus(tb(k),fb(k)) = ybus(fb(k),tb(k));
end

%Köşegen Elemanların Oluşturulması

for m=1:nbus
    for n=1:nbranch
        if fb(n) == m || tb(n) == m
            ybus(m,m) = ybus(m,m) + y(n) + b(n)/2;
        end
    end
end
ybus;                               %Bara Admitans Matrisi
zbus = inv(ybus);                   %Bara Empedans Matrisi
```

### Ek 1.3. Bara Yükleme Değerlerinin Yazılıma Tanıtılması için Alt Program

```
function busdata = busdata5()
%      |Bara | Tipi | V | teta | Pbara | Qbara |
busdata = [ 1      1      1.05      0      0.1597      1.524;
            2      2      0.95      0      1.347      0.3766;
            3      2      0.95      0      0.0244      0.4564;
            4      2      0.95      0      1.383      0.1708;
            5      3      0.90      0      -1.721      -0.9936;
            ];
```

### Ek 1.4. Kutupsal – Kartezyen Dönüşümü için Alt Program

```
%Kutupsal - Kartezyen Dönüşümü
function rect = pol2rect(g,a)      %g = genlik, a = radyan cinsinden açı
rect = g*cos(a) + li*g*sin(a);
```

### Ek 1.5. Gauss – Seidel Yöntemi ile Güç Akış Analizi için Kullanılan Program

```
%Bara 1 Salınım Barası Olarak Alınmıştır
ybus = ybus();      %Bara Admitans Matrisi
busdata = busdata5();      %Bara verileri

bus = busdata(:,1);      %Bara numarası
type = busdata(:,2);      %Bara Tipi 1-Salınım, 2-PV, 3-PQ
V = busdata(:,3);      %ilk Bara Gerilimleri
th = busdata(:,4);      %ilk Bara Gerilim Açılıarı
P = busdata(:,5);      %Bara Aktif Güçleri
Q = busdata(:,6);      %Bara Reaktif Güçleri

nbus = max(bus);
Vprev = V;
toler = 1;
iteration = 1;
while (toler > 0.000001)
    for i = 2:nbus
        sumyv = 0;
        for k = 1:nbus
            if i ~= k
                sumyv = sumyv + ybus(i,k)* V(k);
            end
        end
        V(i) = (1/ybus(i,i))*((P(i)-li*Q(i))/conj(V(i)) - sumyv);
        if type(i) == 2
            V(i) = pol2rect(abs(Vprev(i)), angle(V(i)));
        end
    end
    iteration = iteration + 1;
    toler = max(abs(abs(V) - abs(Vprev)));      %Tolerans Hesaplanır
    Vprev = V;
end
iteration      %Toplam İterasyon Sayısı
V      %Kompleks formda bara gerilimleri
Vgenlik = abs(V)      %Son Bara Gerilimleri
Aci = 180/pi*angle(V)      %Derece cinsinden son bara açılıarı
```

## Ek 1.6. YSA Eğitim Algoritması

```
clear all
clc

load input
load output

x=input';
d=output';

PR=minmax(x);

n1=30;
n2=8;

net=newff(PR, [n1 n2], {'tansig' 'purelin'}, 'trainbr');
net.trainParam.epochs=5000;
net.trainParam.goal = 0.000000000000001;
net.trainParam.show = 100;
net.trainParam.lr = 0.7;
net.trainParam.time = 1000;

teta=train(net,x,d);
```

## Ek 1.7. YSA Test Algoritması

```
load input_test

a=input_test';

test=sim(teta,a);
```

## ÖZGEÇMİŞ

**Serhat Berat EFE**

[s.beratefe@gmail.com](mailto:s.beratefe@gmail.com)

(0090) 532 623 9163

1979 yılında Diyarbakır'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Diyarbakır'da tamamladıktan sonra 1998 yılında Dicle Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği bölümünü kazandı. 2003 yılında bu bölümden mezun oldu. 2007 yılında İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitimini tamamladı. Aynı yılın Temmuz ayında Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. 2013 yılı Ağustos ayında kurumlar arası geçiş ile Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Uşak İl Müdürlüğü'ne atandı. Aynı kurumdaki görevini sürdüren Serhat Berat EFE evli ve iki çocuk babasıdır.